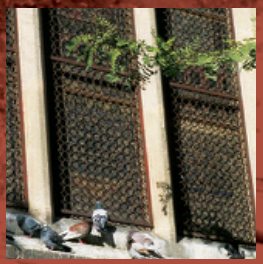
BÚSQUEDA POR TEMAS

ENTRAR EN LA OBRA



ENCICLOPEDIA BROTO
DE
PATOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN






LINKS

CONCEPTOS GENERALES Y FUNDAMENTOS

ASPECTOS GENERALES DEL DIAGNOSTICO Y RECONOCIMIENTO DE LESIONES

DEFINICIONES
(Patologías constructivas, Procesos patológicos, Lesiones, Causa, Reparación, restauración, rehabilitación y prevención)

ESTUDIO PATOLÓGICO
(Observación, Toma de datos, Análisis del proceso, Actuación)

CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LOS MATERIALES

INTRODUCCIÓN
(Factores intrínsecos, Extracción, Colocación, Factores extrínsecos)

CAUSAS FÍSICAS
(Humedades, Erosiones, Procesos biofísicos, Suciedad)

CAUSAS MECÁNICAS
(Deformaciones, Grietas y fisuras, Desprendimientos, Erosión mecánica)

CAUSAS QUÍMICAS
(Eflorescencias, Oxidación y corrosión, Erosión química, Procesos bioquímicos)

MATERIALES

MATERIALES PÉTREOS

TIPOS DE ALTERACIÓN

CAUSAS DE ALTERACIÓN
(Intrínsecas del material, Químico ambientales, Físico ambientales, Factores biológicos, Sistema de extracción y colocación)

DIAGNOSIS
(Análisis in situ, Diagnóstico de laboratorio, Evaluación de resultados)

TRATAMIENTO
(Limpieza, Consolidación, Protección, Sustitución y reposición, Reconstrucción, Mantenimiento y prevención, Evaluación del tratamiento)

MATERIALES CERÁMICOS

INTRODUCCIÓN

CAUSAS DE ALTERACIÓN
(Características intrínsecas, Errores de fabricación, Factores químico ambientales, Factores físico ambientales, Factores biológicos)

DIAGNOSIS
(Análisis del entorno, Estudio de la construcción, Características de los materiales cerámicos, Evaluación de resultados)

TRATAMIENTO
(Limpieza, Consolidación, Protección, Sustitución, Complementación, Reparación, Mantenimiento y prevención)

MADERA

NATURALEZA Y CONSTITUCIÓN DE LA MADERA

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA MADERA
(Agentes patológicos, Causas congénitas, Causas adquiridas, Agentes abióticos, Agentes bióticos)

PROTECCIÓN DE LA MADERA
(Protección y conservación, Métodos preventivos, Tratamientos, Métodos curativos)

LA DIAGNOSIS
(Equipo de inspección, Clasificaciones biológicas)

TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA
(Fases de los tratamientos, insectos xilófagos, Pudriciones)

ELEMENTOS METÁLICOS

INTRODUCCIÓN
(Estructura, Propiedades)

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN
(Corrosión, Defectos y lesiones, Fuego)

SISTEMA DE DIAGNOSIS

TRATAMIENTOS
(Contaminantes, Trabajo previo, Sistemas de protección y prevención)

HORMIGÓN

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN
(Derivadas de los componentes, Fabricación, Influencia del ambiente, Destrucción por agentes externos, Derivadas de los defectos del acero)

INVESTIGACIÓN Y DIAGNOSIS
(Observación, Estudios previos, Informe)

TRATAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN
(Protección superficial, Reparación del hormigón)

AGLOMERANTES Y CONGLOMERANTES

MATERIA PRIMA
(Aglomerantes aéreos, Cementos, Áridos, Agua, Aditivos y aditivos)

AGLOMERADOS Y CONGLOMERADOS
(Morteros, Calidad de los cementos, Arenas, Hormigón)

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN
(Yeso, Morteros, Cemento, Hormigón, Cromáticas, Agua)

SISTEMAS DE DIAGNOSIS
(Análisis de áridos, Control de calidad, Toma de muestras, Análisis de morteros antiguos)

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

CERRAMIENTOS EXTERIORES

CAUSAS

SINTOMATOLOGÍA

LESIONES MECÁNICAS
(Muros portantes, No portantes, Arcos y Bóvedas)

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES
(Humedad por capilaridad, Por filtración de agua, Por condensación, En muros de sótano)

DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL DE ACABADO
(Acabados continuos, Por elementos)

SUCIEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES
(Suciedad por depósito de partículas, Por lavado diferencial, Técnicas de limpieza, Materiales de fachada)

CERRAMIENTOS INTERIORES

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES
(Condensación superficial, Accidental)

LESIONES MECÁNICAS
(Grietas por deformación de forjados, Por movimientos higrotérmicos, Reparación de las lesiones)

LESIONES EN ACABADOS
(Desprendimiento de revocos y enfoscados, Alicatados, Pinturas)

PAVIMENTOS
(Embaldosados, De madera, Alisados, Sintéticos)

PUERTAS Y VENTANAS

DEFICIENCIAS EN MARCOS Y HOJAS DE PUERTAS Y VENTANAS
(Filtración y condensación, Defectos de diseño, De acabados, Reparación, Medidas preventivas, Puertas y ventanas de plástico, Muros cortina, Fuego, Oxidación y corrosión)

ACRISTALAMIENTO
(Fallo del acristalamiento, Suciedad, Encristalado estructural)

SELLADORES
(Tipos, Degradación y su prevención)

ELEMENTOS ESTRUCTURALES

ESTRUCTURAS PORTICADAS
(Lesiones mecánicas, Fallos debidos al material, Defectos de ejecución, Intervenciones de reparación y refuerzo)

MÉNSULAS Y ELEMENTOS EN VOLADIZO

VIGAS Y FORJADOS
(Vigas de madera, Metálicas, Hormigón armado, Cerámicos armados)

CUBIERTAS

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS

HUMEDAD PRODUCIDA POR FILTRACIÓN DE AGUA
(Por causas atmosféricas, Por discontinuidades)

LESIONES MECÁNICAS Y EROSIONES
(Deformaciones, Otros agentes, Erosiones)

DEFECTOS DE PROYECTO Y EJECUCIÓN

ALEROS Y CORNISAS
(Humedades, Grietas, Fisuras, Eflorescencias, Organismos y suciedades, Erosiones, Diagnóstico)

CIMENTACIONES

LOS FALLOS: DESCRIPCIÓN Y SINTOMATOLOGÍA

CAUSAS DE LOS FALLOS EN LAS CIMENTACIONES
(Edificios vecinos, Daños por cimentación, Los rellenos, El agua, Terreno inestable, Errores de proyecto)

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO
(Metodología, Ensayos, Sistemas de control)

CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN CIMENTACIONES
(Superficiales, Sótanos, Profundas, Sobre el terreno, Casos especiales, Reparaciones, Elementos constructivos, Prevención)

PATOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN
(Tipos de muros, Fallos: causas y lesiones, Piscinas)

ESTUDIO DE SUELOS
(Carga admisible, Clasificación, El agua, Diagnosis, Estudios geotécnicos)

CONCEPTOS GENERALES Y FUNDAMENTOS

ASPECTOS GENERALES DEL DIAGNÓSTICO Y RECONOCIMIENTO DE LESIONES

CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LOS MATERIALES



CONCEPTOS GENERALES Y FUNDAMENTOS

ASPECTOS GENERALES DEL DIAGNÓSTICO Y RECONOCIMIENTO DE LESIONES

INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES.....31
ESTUDIO PATOLÓGICO.....39

ASPECTOS GENERALES DEL DIAGNÓSTICO Y RECONOCIMIENTO DE LESIONES

INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES 31

PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Y PROCESOS PATOLÓGICOS 31

LESIONES (físicas, mecánicas y químicas) 32

CAUSA DE LA LESIÓN 35

INTERVENCIONES SOBRE LAS LESIONES 36

ESTUDIO PATOLÓGICO 39

OBSERVACIÓN 39

TOMA DE DATOS 40

IDENTIFICACIÓN DE LA LESIÓN

Ensayos sobre elementos constructivos

Ensayos ambientales y medioambientales

INSTRUMENTAL NECESARIO

ANÁLISIS DEL PROCESO 51

CAUSAS Y TÉCNICAS DE DIAGNOSIS

Tipología constructiva

Deformaciones, tensiones y desplazamientos

Medio ambiente

EVOLUCIÓN Y SEGUIMIENTO

ACTUACIÓN 59

PROPUESTAS DE REPARACIÓN

PROPUESTAS DE MANTENIMIENTO

Fichas, rutinas y planes de mantenimiento

Mantenimiento de instalaciones contra incendio

LEGISLACIÓN: NACIONAL Y AUTONÓMICA

BIBLIOGRAFÍA 75

INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

En este primer apartado se presentan y definen los conceptos generales que atañen al estudio de los fallos y lesiones en la construcción. Este punto será el comienzo para la comprensión de por qué el tema ha alcanzado el estatus de ciencia; ciencia que estudia, analiza y propone remedios y soluciones para distintas situaciones constructivas.

En primer lugar se presenta un desarrollo tipológico de fallos y lesiones, para luego adentrarse en los conceptos que involucran el proceso de estudio, diagnosis e intervención de los elementos y materiales constructivos. Finalmente, una nutrida explicación sobre normativas y reglamentos a nivel nacional cierra esta introducción.

PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Y PROCESOS PATOLÓGICOS

La palabra patología, etimológicamente hablando, procede de las raíces griegas *pathos* y *logos*, y se podría definir, en términos generales, como el estudio de las enfermedades. Por extensión la patología constructiva de la edificación es la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución.

Usaremos exclusivamente la palabra «patología» para designar la ciencia que estudia los problemas constructivos, su proceso y sus soluciones, y no en plural, como suele hacerse, para referirnos a esos problemas concretos, ya que en realidad son estos el objeto de estudio de la patología de la construcción.

Es pertinente y útil llamar la atención sobre esta diferencia ya que es un error muy extendido en el habla cotidiana de los técnicos y profesionales.

La patología preventiva consiste en considerar la funcionalidad constructiva de los elementos y unidades que componen un edificio, su durabilidad e integridad. Esto implicará una serie de medidas de diseño constructivo, de selección de material, mantenimiento y uso, así como una definición previa de las distintas actuaciones posibles.

A partir de aquí el arquitecto podrá decidir entre las medidas más apropiadas para anular el proceso patológico y poder llevar a cabo la reparación.

Para afrontar un problema constructivo debemos ante todo conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado. Este conjunto de aspectos es el que conforma el proceso patológico en cuestión y se agrupa de un modo secuencial.

En esta secuencia temporal del proceso patológico podemos distinguir tres partes diferenciadas: el origen, la evolución y el resultado final. Para el estudio del proceso patológico conviene recorrer esta secuencia de modo inverso, es decir, empezar por observar el resultado de la lesión, luego el síntoma, para, siguiendo la evolución de la misma, llegar a su origen: la causa.

Este proceso nos permitirá establecer tanto la estrategia de la reparación como la hipótesis de la prevención.

La rehabilitación de un edificio implica la recuperación de sus funciones principales por medio de distintas actuaciones sobre sus elementos que han perdido su función constructiva, sufrido un deterioro en su integridad o aspecto.

Para actuar sobre estos elementos constructivos, además de los estudios históricos previos, será fundamental considerar al edificio en cuestión como un objeto físico, compuesto por elementos con unas características geométricas, mecánicas, físicas y químicas determinadas y que pueden sufrir procesos lesivos o patológicos.

LESIONES

Las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo, es decir el síntoma final del proceso patológico.

Es de primordial importancia conocer la tipología de las lesiones porque es el punto de partida de todo estudio patológico, y de su identificación depende la elección correcta del tratamiento.

En muchas ocasiones las lesiones pueden ser origen de otras y no suelen aparecer aisladas sino confundidas entre sí. Por ello conviene hacer una distinción y aislar en primer lugar las diferentes lesiones. La «lesión primaria» es la que surge en primer lugar y la lesión o lesiones que aparecen como consecuencia de ésta se denominan «lesiones secundarias».

El conjunto de lesiones que pueden aparecer en un edificio es muy extenso debido a la diversidad de materiales y unidades constructivas que se suelen utilizar.

Pero, en líneas generales, se pueden dividir en tres grandes familias en función del carácter y la tipología del proceso patológico: físicas, mecánicas y químicas.

LESIONES FÍSICAS

LESIONES FÍSICAS: son todas aquellas en que la problemática patológica se produce a causa de fenómenos físicos como heladas, condensaciones, etc. y normalmente su evolución dependerá también de estos procesos físicos. Las causas físicas más comunes son:

HUMEDAD

Se produce cuando hay una presencia de agua en un porcentaje mayor al considerado como normal en un material o elemento constructivo.

La humedad puede llegar a producir variaciones de las características físicas de dicho material. En función de la causa podemos distinguir cinco tipos distintos de humedades:

- ***DE OBRA:*** es la generada durante el proceso constructivo, cuando no se ha propiciado la evaporación mediante un elemento de barrera.

- ***HUMEDAD CAPILAR:*** es el agua que procede del suelo y asciende por los elementos verticales.

- ***HUMEDAD DE FILTRACIÓN:*** es la procedente del exterior y que penetra en el interior del edificio a través de fachadas o cubiertas.

- ***HUMEDAD DE CONDENSACIÓN:*** es la producida por la condensación del vapor de agua desde los ambientes con mayor presión del vapor, como los interiores, hacia los de presión más baja, como los exteriores.

  Puede dividirse en tres subgrupos, dependiendo de la zona donde se halle la condensación.

- ***CONDENSACIÓN SUPERFICIAL INTERIOR***: aparece en el interior de un cerramiento.

- ***CONDENSACIÓN INTERSTICIAL:*** aparece en el interior de la masa del cerramiento o entre dos de sus capas.

- ***CONDENSACIÓN HIGROSCÓPICA:*** se produce dentro de la estructura porosa del material que contiene sales que facilitan la condensación del vapor de agua del ambiente.

- ***HUMEDAD ACCIDENTAL:*** es la producida por roturas de conducciones y cañerías y suele provocar focos muy puntuales de humedad.

EROSIÓN

Es la pérdida o transformación superficial de un material, y puede ser total o parcial.

EROSIÓN ATMOSFÉRICA: es la producida por la acción física de los agentes atmosféricos.

Generalmente se trata de la ***METEORIZACIÓN*** de materiales pétreos provocada por la succión de agua de lluvia que, si va acompañada por posteriores heladas y su consecuente dilatación, rompe láminas superficiales del material constructivo.

SUCIEDAD

Es el depósito de partículas en suspensión sobre la superficie de las fachadas.

En algunos casos puede incluso llegar a penetrar en los poros superficiales de dichas fachadas.

Podemos distinguir dos tipos diferentes de suciedad:

- ***ENSUCIAMIENTO POR DEPÓSITO:*** es el producido por la simple acción de la gravedad sobre las partículas en suspensión en la atmósfera.

- ***ENSUCIAMIENTO POR LAVADO DIFERENCIAL:*** es el producido por partículas ensuciantes que penetran en el poro superficial del material por la acción del agua de lluvia y que tiene como consecuencia más característica los churretones que se ven tan habitualmente en las fachadas urbanas.

LESIONES MECÁNICAS

Aunque las lesiones mecánicas se podrían englobar entre las lesiones físicas puesto que son consecuencia de acciones físicas, suelen considerarse un grupo aparte debido a su importancia. Definimos como lesión mecánica aquélla en la que predomina un factor mecánico que provoca movimientos, desgaste, aberturas o separaciones de materiales o elementos constructivos. Podemos dividir este tipo de lesiones en cinco apartados diferenciados:

DEFORMACIONES

Son cualquier variación en la forma del material, sufrido tanto en elementos estructurales como de cerramiento y que son consecuencia de esfuerzos mecánicos, que a su vez se pueden producir durante la ejecución de una unidad o cuando ésta entra en carga. Entre estas lesiones diferenciamos cuatro subgrupos que a su vez pueden ser origen de lesiones secundarias como fisuras, grietas y desprendimientos:

- ***FLECHAS***. Son la consecuencia directa de la flexión de elementos horizontales debida a un exceso de cargas verticales o transmitida desde otros elementos a los que los elementos horizontales se encuentran unidos por empotramiento.

- ***PANDEOS***. Se producen como consecuencia de un esfuerzo de compresión que sobrepasa la capacidad de deformación de un elemento vertical.

- ***DESPLOMES***. Son la consecuencia de empujes horizontales sobre la cabeza de elementos verticales.

- ***ALABEOS***. Son la consecuencia de la rotación de elementos debida, generalmente, a esfuerzos horizontales.

GRIETAS

Se trata de aberturas longitudinales que afectan a todo el espesor de un elemento constructivo, estructural o de cerramiento. Conviene aclarar que las aberturas que sólo afectan a la superficie o acabado superficial superpuesto de un elemento constructivo no se consideran grietas sino ***FISURAS***. Dentro de las **GRIETAS**, y en función del tipo de esfuerzos mecánicos que las originan, distinguimos dos grupos:

- ***POR EXCESO DE CARGA***. Son las grietas que afectan a elementos estructurales o de cerramiento al ser sometidos a cargas para las que no estaban diseñados. Este tipo de grietas requieren, generalmente, un refuerzo para mantener la seguridad de la unidad constructiva.

- ***POR DILATACIONES Y CONTRACCIONES HIGROTÉRMICAS***. Son las grietas que afectan sobre todo a elementos de cerramientos de fachada o cubierta, pero que también pueden afectar a las estructuras cuando no se prevén las juntas de dilatación.

FISURAS

Son aberturas longitudinales que afectan a la superficie o al acabado de un elemento constructivo. Aunque su sintomatología es similar a la de las grietas, su origen y evolución son distintos y en algunos casos se consideran una etapa previa a la aparición de las grietas. Es el caso del hormigón armado, que gracias a su armadura tiene capacidad para retener los movimientos deformantes y lograr que sean fisuras lo que en el caso de una fábrica acabaría siendo una grieta. Subdividimos las fisuras en dos grupos:

- ***REFLEJO DEL SOPORTE***. Es la fisura que se produce sobre el soporte cuando se da una discontinuidad constructiva, por una junta, por falta de adherencia o por deformación, cuando el soporte es sometido a un movimiento que no puede resistir.

- ***INHERENTE AL ACABADO***. En este caso la fisura se produce por movimientos de dilatación-contracción, en el caso de los chapados y de los alicatados, y por retracción, en el caso de morteros.

DESPRENDIMIENTO

Es la separación entre un material de acabado y el soporte al que está aplicado por falta de adherencia entre ambos, y suele producirse como consecuencia de otras lesiones previas, como humedades, deformaciones o grietas. Los desprendimientos afectan tanto a lo acabados continuos como a los acabados por elementos, a los que hay que prestar una atención especial porque representan un peligro para la seguridad del viandante.

EROSIONES MECÁNICAS

Son las pérdidas de material superficial debidas a esfuerzos mecánicos, como golpes o rozaduras. Aunque normalmente se producen en el pavimento, también pueden aparecer erosiones en las partes bajas de fachadas y tabiques, e incluso en las partes altas y cornisas, debido a las partículas que transporta el viento.

LESIONES QUÍMICAS

Son las lesiones que se producen a partir de un proceso patológico de carácter químico, y aunque éste no tiene relación alguna con los restantes procesos patológicos y sus lesiones correspondientes, su sintomatología en muchas ocasiones se confunde.

El origen de las lesiones químicas suele ser la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposiciones que afectan a la integridad del material y reducen su durabilidad. Este tipo de lesiones se subdividen en cuatro grupos diferenciados:

EFLORESCENCIAS

Se trata de un proceso patológico que suele tener como causa directa previa la aparición de humedad. Los materiales contienen sales solubles y éstas son arrastradas por el agua hacia el exterior durante su evaporación y cristalizan en la superficie del material.

Esta cristalización suele presentar formas geométricas que recuerdan a flores y que varían dependiendo del tipo de cristal. Presentan dos variantes:

- ***SALES CRISTALIZADAS QUE NO PROCEDEN DEL MATERIAL*** sobre el que se encuentra la eflorescencia sino de otros materiales situados detrás o adyacentes a él. Este tipo de eflorescencia es muy común encontrarla sobre morteros protegidos o unidos por ladrillos de los que proceden las sales.

- ***SALES CRISTALIZADAS BAJO LA SUPERFICIE DEL MATERIAL***, en oquedades, que a la larga acabarán desprendiéndose. Este tipo de eflorescencias se denomina ***CRIPTOFLORESCENCIAS***.

OXIDACIONES Y CORROSIONES

Son un conjunto de transformaciones moleculares que tiene como consecuencia la pérdida de material en la superficie de metales como el hierro y el acero. Sus procesos patológicos son químicamente diferentes, pero se consideran un solo grupo porque son prácticamente simultáneos y tienen una sintomatología muy similar.

OXIDACIÓN: es la transformación de los metales en óxido al entrar en contacto con el oxígeno. La superficie del metal puro o en aleación tiende a transformarse en óxido que es químicamente más estable, y de este modo protege al resto del metal de la acción del oxígeno.

CORROSIÓN: es la pérdida progresiva de partículas de la superficie del metal. Este proceso se debe a la acción de una pila electroquímica en la cual el metal actuará como ánodo o polo negativo y perderá electrones a favor del cátodo o polo positivo. Según el tipo de pila que encontremos, podemos diferenciar distintos tipos de corrosión:

ORGANISMOS

Tanto los organismos animales como vegetales pueden llegar a afectar a la superficie de los materiales. Su proceso patológico es fundamentalmente químico, puesto que segregan sustancias que alteran la estructura química del material donde se alojan, pero también afectan al material en su estructura física. Entre los organismos podemos diferenciar dos grupos, animales y vegetales:

- ***ANIMALES:*** suelen afectar, y en muchas ocasiones deteriorar, los materiales constructivos con, sobre todo, los insectos que a menudo se alojan en el interior del material y se alimentan de éste, pero también los considerados animales de peso, como las aves o pequeños mamíferos que causan principalmente lesiones erosivas.
- ***PLANTAS:*** entre las que pueden afectar a los materiales constructivos se encuentran las de porte, que causan lesiones debido a su peso o a la acción de sus raíces, pero también las plantas microscópicas, que causan lesiones mediante ataques químicos. Las plantas microscópicas se subdividen a su vez en: ***MOHOS*** que se encuentran, casi siempre, en los materiales porosos, donde desprenden sustancias químicas que producen cambios de color, de olor, de aspecto y a veces incluso erosiones; y en ***HONGOS***, que atacan normalmente a la madera y pueden llegar incluso a acabar destruyéndola por completo.

EROSIONES

Las de tipo químico son aquellas que, a causa de la reacción química de sus componentes con otras sustancias, producen transformaciones moleculares en la superficie de los materiales pétreos.

CAUSA DE LA LESIÓN

Si la lesión es la que origina el proceso patológico, la causa es el primer objeto de estudio porque es el verdadero ***ORIGEN*** de las lesiones. Un proceso patológico no se resolverá hasta que no sea anulada la causa. Cuando únicamente nos limitamos a resolver la lesión, descartando la causa, la lesión acabará apareciendo de nuevo.

Una lesión puede tener una o varias causas por lo que es imprescindible su identificación y un estudio tipológico de las mismas. Las causas se dividen en dos grandes grupos:

- ***DIRECTAS***, cuando son el origen inmediato del proceso patológico, como los esfuerzos mecánicos, agentes atmosféricos, contaminación, etc.
- ***INDIRECTAS***, cuando se trata de errores y defectos de diseño o ejecución. Son las que primero se deben tener en cuenta a la hora de prevenir.

INTERVENCIONES SOBRE LAS LESIONES

REPARACIÓN

La reparación es un conjunto de actuaciones, como demoliciones, saneamientos y aplicación de nuevos materiales, destinado a recuperar el estado constructivo y devolver a la unidad lesionada su funcionalidad arquitectónica original. Sólo comenzaremos el proceso de reparación una vez descrito el proceso patológico, con su origen o causa y la evolución de la lesión.

Si el proceso patológico se ha descubierto a tiempo, bastará la simple aplicación de productos con una misión protectora, pero en algunas ocasiones la reparación implicará la demolición o sustitución total o parcial de la unidad constructiva en la que se encuentra el foco de la lesión.

En cualquier caso la reparación se compone siempre de dos fases claramente diferenciadas: primero se debe actuar sobre la causa o causas origen del proceso, y una vez detectadas y solucionadas éstas, se actuará sobre las lesiones. No se puede invertir el orden de la actuación ni actuar sólo sobre la lesión, porque de este modo la causa seguirá actuando y no podremos evitar que la lesión vuelva a aparecer.

Para aplicar las técnicas reparadoras adecuadas es imprescindible tener en cuenta no solo lo comentado anteriormente, sino también que un elemento constructivo dañado no es individual ,sino que forma parte de todo el conjunto constructivo del edificio y que una actuación sobre este elemento afectará en mayor o menor medida a toda la unidad constructiva. Otra cuestión importante a considerar es la compatibilidad entre los materiales existentes en el edificio y el comportamiento de lo nuevos materiales que se añadirán.

Para que todas estas cuestiones queden cubiertas es necesario seguir un proceso ordenado y progresivo a la hora de reparar cualquier elemento constructivo. Este procedimiento consta de tres etapas:

La primera etapa de información previa, consistirá en una toma de datos para conseguir una definición física lo más desarrollada posible del elemento a reparar. Nos va a permitir conseguir una visión general para evaluar el estado de la unidad dañada.

La segunda etapa de reconocimiento va a establecer los daños existentes, ubicación, forma, cuantificación, etc.

La tercera etapa es la de diagnóstico. Mediante el análisis de los datos obtenidos se tomará la decisión puramente técnica del nivel de actuación que se recomienda llevar a cabo.

RESTAURACIÓN

Cuando la reparación se centra en un elemento concreto o en un objeto de decoración hablamos de restauración.

La restauración entraña una gran dificultad para resultar coherente con el valor del edificio entendido como una entidad individual, tanto desde el aspecto arquitectónico, histórico y artístico, que permita la transmisión de sus valores a la posteridad.

Es por ello que, antes de intervenir en un edificio histórico, debemos tener siempre presente cinco puntos básicos: la intervención debe ser la mínima posible; debe respetar la antigüedad de los elementos constructivos; diferenciar lo existente que aún se encuentra en buen estado de las zonas degradadas y no aplicar reglas generales, sino específicas para cada intervención.

Hay que tener siempre en cuenta que la restauración no se limita a operaciones destinadas a conservar solo los aspectos formales del edificio, sino que se extiende a la conservación sustancial de las características del conjunto arquitectónico completo y todos los elementos que lo componen para definir esas características.

Para salvaguardar la conservación de estos aspectos formales es necesario la realización de un proyecto de restauración que deberá ir precedido de un exhaustivo estudio sobre el conjunto arquitectónico, elaborado desde los distintos puntos de vista relativos a la obra original así como a las posibles adiciones o modificaciones.

El proyecto se basará en una completa observación grafica y fotográfica interpretada también bajo el aspecto metrológico, de los trazados regulares y de los sistemas proporcionales, y comprenderá un cuidadoso estudio específico para la verificación de las condiciones de estabilidad.

REHABILITACIÓN

La rehabilitación comprende una serie de posibles fases: un proyecto arquitectónico para nuevos usos; un estudio patológico con diagnósticos parciales; reparaciones de las diferentes unidades constructivas dañadas, y una restauración de los distintos elementos y objetos individuales.

Tanto en la reparación como en la restauración y rehabilitación se trabajará siempre con un anteproyecto de actuación que debe ser profundo y minucioso y en el cual debe realizarse un estudio de cada uno de los elementos objeto de la intervención. Es indispensable incluir una investigación histórica y técnica, una diagnosis de daños y sus causas, y un proyecto de intervención general.

El análisis histórico y técnico nos permite estar al tanto de los distintos acontecimientos que se han producido en la vida del edificio y, sobre todo, conocer las distintas actuaciones que han tenido lugar con anterioridad a la intervención.

La diagnosis de daños y causas debe incluir un plano actual, pero apoyado en el primitivo mediante un sistema de fonometría para ubicar las distintas anomalías detectadas, comparar las propiedades de los materiales de las zonas dañadas y de las sanas, estudiar la evolución de los materiales, y analizar la influencia del clima y de los agentes contaminantes sobre los distintos materiales. Las causas que originan las lesiones se han tratado en el punto anterior, sin embargo es conveniente apuntar determinadas causas concretas que posiblemente encontraremos a la hora de restaurar monumentos históricos.

Debido al tiempo de ejecución de los monumentos, que a veces era muy extenso, los materiales empleados no siempre eran los mismos, y por lo tanto también variaban sus características físicas, lo que a la larga provocaba una degradación muy variable de unas zonas a otras del mismo monumento.

En los edificios antiguos, debido a la falta de ventilación, se produce casi siempre el problema de la condensación porque las paredes están más frías que el aire interior, y la humedad relativa suele superar el 70 %. Esta humedad se va a localizar sobre todo en zonas sin circulación de aire, como las esquinas, antepechos de ventanas y bajo los muebles y cuadros.

Los cambios y las transformaciones efectuadas a lo largo de los años en el edificio, y en general las acciones humanas, resultan agresivas para cualquier material.

Debido a las distintas necesidades de cada época, se van agregando nuevas instalaciones que generan un exceso de carga que no existía en el edificio en su origen.

PREVENCIÓN

El estudio de los procesos patológicos y , sobre todo de sus causas, nos permiten establecer un conjunto de medidas preventivas destinadas a evitar la aparición de nuevos procesos. En la prevención habrá que considerar, sobre todo, la eliminación de las causas indirectas, que afectan a la fase previa del proyecto y ejecución, así como al mantenimiento.

ESTUDIO PATOLÓGICO

La detección de un ***PROCESO PATOLÓGICO*** en el mundo profesional suele tener como objetivo su solución, que implica la reparación de la unidad constructiva dañada para devolverle su función constructivo-arquitectónica inicial.

De ahí la necesidad del ***ESTUDIO PATOLÓGICO*** previo a cualquier actuación, estudio que podríamos definir como el análisis exhaustivo del proceso patológico con el objeto de alcanzar las conclusiones que nos permitan proceder a la consiguiente reparación.

Este análisis tiene que seguir la línea inversa al proceso, yendo del efecto a la causa, pasando por los tres estadios necesarios de síntoma o efecto, evolución y origen o causa. Todos los autores coinciden en que el mencionado análisis debe ser metódico y exhaustivo, para ello debe ser preciso:

- **ADOPTAR** un método sistemático de observación y toma de datos.
- **LIMITAR** las posibles ideas preconcebidas, es decir, contener la intuición profesional.

De esta manera y a la vista de los distintos tipos de elementos estructurales que pueden componer un edificio y de los diferentes procesos patológicos que pueden afectar a su integridad, habrá que analizar las actuaciones que se pueden llevar a cabo para asegurar la permanencia de su funcionamiento constructivo. Habrá que realizar un planeamiento general para asegurar que la función constructiva del elemento estructural permanezca inalterada, y para eso se analizarán los siguientes extremos:

- **CAPACIDAD RESISTENTE**, para ver si permanece dentro de los coeficientes de seguridad admisibles.
- **INTEGRIDAD**, para ver que no sufre roturas.
- **FORMA**, que no haya sufrido alteraciones que la saquen de su directriz inicial.
- **ASPECTO**, en elementos estructurales vistos, para ver si sigue mostrando la durabilidad adecuada.

OBSERVACIÓN

Para realizar los extremos adecuados en el planeamiento analizado se hará preciso recurrir a una serie de observaciones permanentes o periódicas, unas simplemente para confirmar su aspecto (organolépticas), pero otras con toma de datos técnicos que exigen cierta instrumentación más o menos compleja. De tal manera se asegurará la permanencia de la función constructiva.

Se trata de la primera fase del proceso de estudio patológico, mediante una simple observación visual in situ, se puede obtener bastantes datos, los cuales se complementarán y ampliarán con posteriores análisis. Mediante la observación detectaremos el efecto o daño producido en el edificio.

De la lesión, o lesiones, que se manifiestan como síntoma de un proceso patológico y a partir de las cuales podemos conocerlo. Se trata, pues, de:

- ***DETECTAR LA LESIÓN***. En realidad se suele iniciar el estudio justamente porque se ha detectado alguna lesión.
- ***IDENTIFICAR LA LESIÓN*** de que se trate, para poder dar los pasos adecuados.
- ***AISLAR LESIONES*** y procesos patológicos distintos, con objeto de hacer el seguimiento adecuado para cada caso, sobre todo teniendo en cuenta su posible imbricación.

El primer trabajo fundamental cuando nos enfrentamos a un edificio que es necesario restaurar, es la realización de un estudio histórico del mismo para determinar la época de construcción, estilo arquitectónico y tipología utilizada, fases en que se ha realizado, sistemas de construcción y de cimentación utilizados, posibles restauraciones y modificaciones realizadas, materiales y dosificaciones utilizadas, origen y fuentes de dichos materiales.

Así pues, la etapa de observación del proceso patológico es la primera en la que se va desarrollando el estudio y diagnóstico del proceso de identificación de la lesión.

TOMA DE DATOS

Una vez identificada y aislada la lesión, se inicia el proceso de la ***TOMA DE DATOS***, en el que tenemos que aplicar al máximo la metodología.

Ello implicará, en ocasiones, un mínimo repetido de visitas; en otros casos la aplicación y seguimiento de una serie de instrumentos de análisis y evolución de la lesión; en ocasiones, el uso de aparatos diversos de medidas, y siempre, la utilización de fotografías que nos permitan plasmar gráficamente la lesión (el síntoma) en un momento determinado, tanto para poder seguir su evolución, como para poder continuar el análisis.

De este modo, podemos obtener una serie de datos físicos, e incluso muestras de materiales, que serán elementales para proceder al análisis posterior.

Como avanzábamos al inicio de esta sección, la patología constructiva es la ciencia que estudia los daños constructivos de los edificios o de sus partes y su evolución en el tiempo. Para abordar el estudio previo de los edificios, la metodología debe desarrollarse en fases.

Cuando hay que intervenir en un edificio, lo primero que se hace es una visita de ***INSPECCIÓN PREVIA***, en la que se recogerá el máximo de datos referentes a la propiedad, al autor del edificio y al inmueble. Se trata de deducir su estado actual de conservación y mantenimiento, con especial atención a los daños existentes y a los posibles procesos patológicos por él sufridos. Conviene realizar croquis y reportajes fotográficos.

Para recabar todos los datos históricos, administrativos, urbanísticos, etc., que podamos obtener del edificio es necesario contar con una completa ***DOCUMENTACIÓN***. En ocasiones puede ser conveniente llevar a cabo esta fase con anterioridad a esa primera visita al edificio. Con posterioridad hay que proceder al ***LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO*** del edificio incluyendo planta, alzados, secciones, detalles constructivos mapas de lesiones, etc.

En principio, los tres bloques anteriores deberían ser suficientes para elaborar un anteproyecto. En caso contrario se procederá a realizar ***INSPECCIONES TÉCNICAS***, que suponen la realización de análisis, ensayos y pruebas de carga. Para ello es imprescindible el apoyo de técnicos especializados.

- ***TOMA DE MUESTRAS.*** Esta parte es de vital importancia, ya que es necesario disponer de muestras de los diferentes materiales que existen en el edificio, así como disponer de ellos en distintas situaciones, con el fin de conocer los distintos tipos de deterioro. El procedimiento de muestreo deberá incluir las siguientes recomendaciones:

- ***PREPARACIÓN DE UN PROGRAMA DE MUESTREO ADECUADO***, teniendo en cuenta los factores antes indicados.

- ***EN EL CASO DEL MORTERO***, la cantidad de la muestra deberá ser de aproximadamente 40-50 gr, conservando la mitad como material de referencia.

- ***LAS MUESTRAS DE LADRILLO*** a extraer dependerán del tipo de análisis a realizar.

- Deberá anotarse, o marcar en plano, ***LA POSICIÓN EXACTA*** de donde ha extraído la muestra.

- Todas las muestras deben ***ETIQUETARSE***.

- ***PREPARACIÓN DE PROBETAS*** de secciones pulidas y láminas delgadas. Para la mayor parte de los ensayos sobre piedra se cuenta con probetas cúbicas, prismáticas o cilíndricas; las dimensiones de las mismas varían dependiendo de la disponibilidad del material y del tipo de ensayos y experiencias de alteración. Los ensayos sobre ladrillo se realizan sobre piezas enteras, obtenidas del edifico de estudio, o de zonas de derribo.

IDENTIFICACIÓN DE LA LESIÓN

Dentro de la fase de observación se encuentra el momento de diagnóstico o identificación de la lesión, en el que el fin fundamental es la recogida de datos sobre las lesiones producidas.

En un primer momento, y como base del Estudio Técnico-Económico del Programa inicial, es preciso obtener el máximo posible de datos estadísticos. Una vez terminada la toma de datos directa, y estando en posesión de los resultados de posibles ensayos de laboratorio, podemos iniciar la reconstrucción de los hechos, es decir, tratar de conocer cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, cuál su evolución y cuál es su estado actual.

La observación puede orientarnos sobre el grado y nivel de deterioro, y a partir de los problemas detectados podemos clasificar los siguientes defectos constructivos:

ENSAYOS SOBRE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Relativos al material o elemento afectados por la lesión indicando la existencia de documentos gráficos o escritos fiables sobre la construcción dañada. Deben contener:

- **LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN EN EL EDIFICIO**, con indicación del sistema constructivo afectado.
- **MATERIAL O MATERIALES AFECTADOS**.
- **ELEMENTO CONSTRUCTIVO DAÑADO**.
- **SISTEMA Y DETALLES CONSTRUCTIVOS.**
- **TOMA DE MUESTRAS** para ensayo.
- ***FISURAS Y GRIETAS***. En ambos casos se trata de grietas, las primeras de menos de 1 mm de anchura y las segundas, de más de 1 mm de anchura. Para determinar el posible crecimiento de la longitud de una grieta deben marcarse sus extremos con algún material de cera o con pintura.
- ***DISTORSIÓN E INCLINACIÓN.*** Son faltas de verticalidad en los elementos, bien de origen, bien por un problema de movilidad posterior. Se producen antes, durante o después de la construcción. La toma de medidas de la verticalidad presenta problemas complejos porque casi nunca existen puntos de referencia claros. En el caso de los movimientos, puede recurrirse a medir fisuras y comprobar su evolución, o recurrir a métodos topográficos.
- ***PÉRDIDA DE MATERIALES*** (de ladrillo o de mortero). Mediante la observación de la fábrica podemos determinar los puntos en los que se puede detectar falta de material, anotando su localización, profundidad de la pérdida y área afectada.
- ***DETERIORO DIFERENCIAL***. Es aquel que provoca distintos niveles de degradación dentro de un mismo material. Esta alteración se observa con frecuencia en edificios con sillería de piedra.
- ***DEPLACADO, EXPOLIACIÓN Y DESCAMACIÓN***. Se trata de la separación superficial de láminas paralelas o escamas entre sí. Esta forma de alteración se observa con frecuencia en los sillares situados en las zonas más bajas de los edificios debido a la presencia de agua.
- ***ALTERACIÓN CROMÁTICA***. Las manchas que aparecen sobre la superficie de los materiales son un indicador de la alteración de los mismos.
- ***PÁTINAS DE SUCIEDAD***. Los materiales de construcción antiguos están afectados por una pátina natural de envejecimiento, observable en cualquier corte fresco que deje ver en profundidad el color primitivo.
- ***PELÍCULA Y MOTEADO***. Capa de espesor muy reducido, de menos de 1 mm., cuyo origen suele ser biológico.
- ***ARENIZACIÓN Y DISGREGACIÓN GRANULAR***. Pérdida de cohesión entre los granos de un material, generalmente debida a la desaparición del aglomerante, que provoca que los granos queden sueltos.

- ***PULVERIZACIÓN***. Forma de alteración semejante a la anterior, en la que la disgregación reduce el material al tamaño del polvo.

- ***DEPÓSITO SUPERFICIAL***. Los depósitos superficiales se suelen acumular en las zonas que no están sometidas a lavado, y en las partes bajas de los edificios.

- ***EFLORESCENCIAS***. Esta forma de alteración nos indica la presencia de sales solubles en el material; son de color claro. Suelen manifestarse con más nitidez en primavera.

- ***ALVEOLIZACIÓN***. Los alvéolos se originan por disgregación y posterior separación de los granos de arena de la matriz de los materiales porosos, produciendo unos surcos que van progresando en extensión y profundidad.

En cuanto a las técnicas que se utilizan según el tipo de material o proceso, podemos enumerar las siguientes, que se basan en diferentes ensayos.

ENSAYOS FÍSICOS

La determinación de las características físicas permite definir y comprender mejor las propiedades de los materiales a estudiar. Nos permite determinar un conjunto de propiedades tales como, por ejemplo, la densidad aparente y real, la porosidad, dureza y color de la muestra.

- ***DENSIDAD APARENTE Y REAL***. Las muestras de ladrillo y mortero se secan hasta obtener una masa constante, se someten a vacío para eliminar todo el aire y se añade agua hasta su total inmersión. Para calcular la densidad aparente se debe obtener el cociente entre su peso y su volumen normalizado. La ISRM (International Society of Rock Mechanics) sugiere los siguientes métodos: técnicas de saturación y calibre, técnicas de flotabilidad, técnicas basadas en el desplazamiento de mercurio y gravedad específica de los granos.

- ***POROSIDAD***. Tanto la aparente como la absoluta se calculan a partir de los datos que se obtienen del ensayo de absorción de agua por inmersión. Existe una técnica especializada, que es la inyección de mercurio, mediante la cual se obtiene la distribución del tamaño de los poros y el volumen total de la muestra expresada.

- ***COLOR***. La medición del color puede realizarse por comparación con cartas o atlas de colores, o bien por la medición directa con espectrocolorímetros. En el área de estudio de los materiales el color es una propiedad física importante: hay que revisar el color de los ladrillos, morteros, piedras, y el color del conjunto del monumento. Generalmente un cambio del color del edificio refleja un proceso de alteración de los materiales.

- ***DILATACIÓN TÉRMICA***. Consiste en colocar la muestra en un dilatómetro, que transformará el desplazamiento en tensión, situándola en una cámara térmica que irá aumentando su temperatura de una forma controlada, registrando las variaciones de temperatura y deformación.

- ***CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA***. Permitirá determinar el contenido de agua e indirectamente el de las sales móviles disueltas. Para ello se requiere un voltímetro electrónico, un sistema de electrodos y una fuente de corriente alterna.

- ***ABSORCIÓN DE AGUA***. Consiste en sumergir las probetas en un recipiente con agua en las condiciones determinadas según los distintos tipos de inmersión. Las muestras se extraen y se pesan después de cada ciclo de inmersión y secado. El resultado se expresará en %.

- ***SUCCIÓN (CAPILARIDAD)***. Consiste en la medición precisa de la longitud y anchura de la muestra que va estar en contacto con la lámina del agua; se irá pesando la muestra a intervalos de tiempo para determinar la cantidad de agua absorbida.

- ***EXPANSIÓN POR HUMEDAD***. Consiste en determinar la expansión potencial por humedad en autoclave.

- ***EFLORESCENCIAS***. Consiste en determinar la capacidad de eflorescer de los ladrillos de arcilla cocida. El procedimiento consiste en colocar las piezas a ensayar en una bandeja de metal anticorrosivo con agua destilada, dejándose durante cierto tiempo.

- ***PERMEABILIDAD AL AGUA***. Cantidad de agua que fluye, por unidad de tiempo y superficie y con condiciones fijas, a través de un cuerpo de espesor determinado generalmente de superficies paralelas. Esta medida nos permite determinar la eficacia de los productos superficiales de hidrofugación para la impermeabilización de muros.

- ***DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL MURO.*** La medida porcentual de la humedad en el espesor del muro y en su altura se puede efectuar introduciendo pequeñas sondas en su interior. A partir de la medida de la constante dieléctrica es posible deducir el contenido de agua local en el material basándose en una curva de contraste.

ENSAYOS MECÁNICOS

Estos ensayos se circunscriben a los elementos que tengan como función primordial el sustento de la estructura.

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN**. Es la característica mecánica más importante a considerar en una fábrica de ladrillo.

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN** para madera, metal y hormigón principalmente.

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN**, sobre todo para madera y aceros.

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A COHESIÓN**, para hormigón, piedras, ladrillo y aglomerantes (morteros).

- **ENSAYO DE ADHERENCIA,** ladrillo-mortero, para fábricas de obra, tanto de ladrillo como de piedra.

ENSAYOS QUÍMICOS

Los principales métodos químicos que se emplean en el estudio del mortero son los siguientes:

- ***MÉTODO GENERAL.*** Se basa en la disolución de la muestra en ácido clorhídrico para la determinación de la sílice insoluble y otros componentes.

- ***MÉTODO ASTM***. Determina el contenido de aglomerante (cemento) en hormigones de cemento Pórtland.

- ***MÉTODO JEDRZEJEWSKA***. Permite realizar estudios comparativos entre diversos tipos de morteros.

- ***MÉTODO DE CLIVER***. Sirve para determinar por gravimetría los siguientes valores: fracción soluble en ácido, fracción “arena”, fracción residuo fino y contenido de cal.

- ***MÉTODO DE DUPAS***. Mediante una impregnación de la muestra con ClH se solubiliza la sílice constitutiva de los silicatos hidráulicos, que permite caracterizar los diversos tipos de cales utilizadas en la preparación de los morteros.

En el caso del ladrillo, los métodos utilizados para una buena caracterización química, son aquellos que permiten conocer, cualitativa y cuantitativamente, los componentes mayoritarios, minoritarios y las trazas existentes en el material, así como los posibles compuestos orgánicos que pudieran existir.

Este tipo de estudios persigue el objetivo de poder conocer las transformaciones químicas que sufren los materiales cerámicos con la alteración, es decir, se analizan químicamente el material sano y el alterado y se establecen los posibles procesos de alteración.

En el caso de ladrillos alterados es muy importante el análisis cuantitativo y cualitativo de las sales solubles, así como su distribución en el edificio-monumento.

Para ello se utilizan técnicas de microscopía óptica, DRX, el MEB y ensayos químicos; para el análisis de sales solubles se utilizan tanto métodos químicos (generalmente los utilizados en laboratorios químicos de análisis de aguas), métodos fisicoquímicos (espectrofotometría visible y de absorción atómica, y espectrometría de emisión de llama).

La investigación geoquímica puede permitir la localización de la fuente de la materia prima con la que se fabricó el ladrillo.

Algunos componentes químicos, en especial elementos traza y tierras raras (fluorescencia de rayos X y análisis de activación neutrónica), suelen ser clave para esta identificación. Estas técnicas son muy utilizadas en cerámica arqueológica.

Si de lo que se trata es de buscar las más altas exigencias en cuanto a resistencia mecánica, a reproductibilidad y a resistencia al envejecimiento se impone un pretratamiento químico o anódico.

La preparación de los baños de inmersión debe hacerse con sumo cuidado, no solamente porque la manipulación de productos químicos exige ciertas precauciones, sino porque además los ensamblados corren el riesgo de tener más tarde resistencias químicas inferiores a las de las juntas que no han sido pretratadas químicamente.

Además, para la preparación y los trabajos de decapado es obligatorio llevar guantes y gafas de protección.

- **ACERO INOXIDABLE**: tanto al acero al cromo y al acero al cromo-níquel, habrá que lijar con abrasivos no metálicos o proceder al chorreado de arena fina y desengrasar. Para el desengrasado del acero inoxidable la mejor solución es la que contiene: metasilicato de sodio (1,00 kg), metafosfato de sodio (0,50 kg), sosa de cáustica (0,50 kg), mojante (0,15 kg) y agua (50,00 l). La resistencia mecánica de las juntas puede ser mejorada con la siguiente solución: ácido oxálico (14,0 kg), ácido sulfúrico concentrado (peso específico 1,82) y agua (70,0 l). Se deberá sumergir las piezas 10 minutos en el baño calentado a 85-90 ºC, sacarlas, eliminar el depósito negro con un cepillo duro bajo el agua corriente fría y efectuar el embalsado inmediatamente después.

- **HIERRO FORJADO Y ACERO:** se deberá lijar con chorreado de arena, con granalla o mediante tela esmeril, desengrasar o decapar con la siguiente solución: ácido orto-fosfórico al 88 % (10 l) y alcohol metílico (5 l).

- **HIERRO FUNDIDO:** se lijará por chorreado de arena o con tela esmeril, se desengrasará. Para la fundición gris hay que seguir el desengrasado hasta que un trapo quede limpio.

El hormigón se cepilla para sacar el máximo de suciedades y la lechada del cemento, y desengrasar con cualquier detergente. Tanto para el hormigón fresco como para el viejo, hay que proceder en lo posible al pretratado según los metros que a continuación se indican:

Chorreado de arena, desempolvado, o lijado perfecto de las superficies a ensamblar y desempolvar o lijado mecánico a 1-4 mm de profundidad según la textura de la superficie del hormigón.

Decapar con una solución de ácido clorhídrico al 15 por 100, extender la solución con un cepillo de pelo duro hasta que no se formen más burbujas.

Enjuagar con agua pura y fría mediante chorro a alta presión hasta la completa eliminación del barro y hasta que la superficie y hasta que la superficie de una reacción neutra al papel de girasol y secar.

ENSAYOS MEDIOAMBIENTALES

- ***ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO.*** Se trata de un intento de reproducir la acción de los agentes de alteración naturales. En cada ensayo se seleccionan uno o varios factores ambientales de alteración para que actúen sobre las probetas de forma cíclica y normalizada.

- ***ENSAYO TERMOHÍDRICO DE LOS CICLOS DE HUMEDAD-SEQUEDAD.*** Consiste en la inmersión de las muestras en agua y su posterior secado en una estufa, observando las secuelas que el proceso cíclico ha dejado en las muestras.

- ***ENSAYO DE HELACIDAD.*** Ciclo de hielo-deshielo. Tras saturar las muestras de agua se someten a temperaturas de -15 ºC, sumergiéndose posteriormente en agua para su descongelación.

- ***CICLO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES***. Inmersión de las muestras en una solución sobresaturada de sulfato sódico hidratado.

- ***ENSAYO DE CICLOS DE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.*** Consiste en someter las muestras a la acción de la radiación ultravioleta, simulando la acción solar a largo plazo. Este ensayo es muy útil para comprobar la efectividad de un producto químico frente a la exposición a la radiación solar.

- ***ENSAYO DE NIEBLA SALINA***. Se someten las muestras a una niebla generada por una disolución de cloruro de sodio. Está diseñado fundamentalmente para materiales en ambientes marinos.

ENSAYOS BIOLÓGICOS

- ***ENSAYOS MORFOLÓGICOS Y ESTRUCTURALES.*** El estereomicroscopio proporciona una visión dimensional del material a analizar y permite individualizar e identificar mejor que a simple vista, a través del reconocimiento de estructuras morfológicas específicas.

- ***ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS.*** La elección de los grupos microbianos a investigar en función de la cantidad de muestra disponible.

- ***ENSAYOS BIOQUÍMICOS***. Permiten cuantificar los productos orgánicos del metabolismo de la microflora y obtener algunos parámetros para evaluar la entidad del proceso de deterioro. Existen diversos ensayos: determinación de adenosintrifosfato; determinación de la actividad lactatodeshidrogenasa; determinación de la DBO5; determinación de oxígeno disuelto.

- ***ENSAYO HISTOQUÍMICOS***. Son los encaminados a la determinación de ácidos nucleicos y de lípidos y mucopolisacáridos. Se realizan los siguientes ensayos: determinación de la materia cromática con hematoxilina; determinación de la actividad enzimática por la reacción TTC; determinación histoquímica de lípidos y mucopolisacáridos.

- ***ENSAYOS QUÍMICOS Y FISICOQUÍMICOS***. Permiten determinar aquellas especies químicas que son producto de la actividad microbiana. Ensayos a realizar: reconocimiento químico en caldos de cultivo de especies químicas resultantes de la actividad microbiana; determinación de etileno en caldos de cultivo; determinación de lípidos por cromatografía en capa fina; identificación de pigmentos fotosintéticos por espectrofotometría visible.

ENSAYOS DE EVALUACIÓN Y CONTROL DE LOS TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN

Los productos conservantes son aquellos productos que tienen como fin la conservación de los diferentes materiales a tratar, para ello existen ensayos tendentes a evaluar y controlar los mismos.

El protagonista de esta evaluación es el estudio del producto conservante. Para ello, es aconsejable realizar una serie de análisis fisicoquímicos de los productos conservantes comerciales, para completar y confirmar los datos obtenidos por los fabricantes. Estos análisis son los siguientes: la naturaleza química de los solventes, extracto seco a 40 y 60 % de humedad relativa, naturaleza química y concentración de los productos activos, dimensiones moleculares medias.

El grupo RILEM 59 TPM recomienda una metodología para productos hidrófugos comerciales que puede hacerse extensiva al examen de productos consolidantes. Mediante fluorescencia de rayos X es posible dividir los productos hidrófugos más utilizados en tres grupos principales: productos que contienen silicio, productos que contienen aluminio y productos que contienen titanio.

Para poder identificar químicamente los materiales utilizados en tratamientos de conservación, Witte y Tervef (1984) han propuesto un método para la identificación de siliconas en materiales pétreos.

En cuanto al estudio del sistema material-producto conservante, empezaremos por la observación. Mediante el microscopio electrónico de barrido se pueden realizar las siguientes observaciones: diferencias de aspecto de las probetas tratadas con diversos productos, adherencia producto-material (piedra, ladrillo) y distribución del producto en el material. Estas observaciones se realizan sobre superficies externas de las muestras y sobre secciones transversales.

En segundo lugar, es importante determinar la profundidad de penetración de los productos conservantes en los diferentes materiales. La apreciación de la profundidad media eficaz de tratamientos hidrófugos se efectúa por examen del comportamiento de microgotas sobre una superficie recién pulida de la probeta tratada, después de 48 horas, mediante los ensayos de ángulo de contacto de la gota y absorción capilar dinámica de la gota.

El microscopio electrónico de barrido permite determinar la profundidad de penetración de las resinas en las muestras mediante el análisis de la presencia de silicio o cloro, por ejemplo. También se puede determinar visualmente la profundidad de penetración en el caso de tratamientos hidrófugos, mojando la probeta con la solución acuosa de un colorante, coloreándose la parte impregnada.

Los ensayos más apropiados para determinar la extensión del relleno de los poros como consecuencia de un tratamiento son dos: la medida de porosidad y la medida de la permeabilidad al aire.

En tercer lugar, se debe determinar la eficacia del tratamiento y la eficacia consolidante de los productos, que podrán evidenciarse a través de los siguientes ensayos: la dureza superficial, la resistencia a la compresión y la distribución porosimétrica. En cuanto a determinar la eficacia hidrofugante, existen tres ensayos de laboratorio que la verifican, a saber: el ángulo de contacto gota de agua-material; la absorción libre de agua (inmersión); la absorción de gotas de agua.

La evolución de la eficacia en el tiempo puede seguirse mediante la realización de diversos ciclos de envejecimiento y la posterior realización de los ensayos antes citados.

Por último, deberemos analizar si existen efectos secundarios a la hora de aplicar un producto conservante sobre el material, y que éste sufra algún cambio en su aspecto, para ello existen algunos ensayos para evaluar los posibles efectos secundarios que puedan producirse, entre ellos habría que destacar los siguientes:

- **ENSAYO PARA EVALUAR EL CAMBIO DE COLOR**. Resultan mas prácticos los métodos visuales, como el propuesto por ASTM C-1729.

- **LA CONDUCTIVIDAD DEL VAPOR DE AGUA**. Se realiza comparando los resultados producidos antes y después de la hidrofugación.

- **LA VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN**. En este caso se realizarán dos ensayos, el ensayo de absorción de agua por capilaridad y el ensayo de absorción de agua por inmersión.

- **COMPORTAMIENTO FRENTE AL DESARROLLO DE MICROORGANISMOS**. Se deberá realizar una apreciación visual comparativa en condiciones higrométricas definidas, por ejemplo a 26 ºC y 85 % HR.

- **COMPORTAMIENTO FRENTE A DILATACIONES TÉRMICAS**. A causa de un tratamiento consolidante, se puede producir una gran diferencia entre la dilatación térmica del material tratado y de aquel no tratado, originándose tensiones que puedan provocar fisuras o grietas entre las zonas consolidantes y no consolidantes.

Una vez que se ha realizado cada ensayo o de la utilización de alguna técnica, se realizarán una serie de fichas de registro en las que se recogerá el tipo y cantidad de muestra analizada, su localización exacta en el monumento, fecha de análisis, propósito del mismo, la descripción detallada de cada uno de los pasos del ensayo y, los resultados y recomendaciones que del ensayo se deriven. Además, habrá que anotar el grado de exposición de la fábrica a los agentes, sobre todo el grado de insolación, la exposición al viento y a la lluvia para saber cuál, en mayor o menor medida es el principal agente del deterioro.

Toda la información que se presente en estas fichas debería cuantificarse, aplicando porcentajes o adjetivos cualitativos y cuantitativos, para una mejor valoración de los daños y para determinar la urgencia de la actuación.

Además, se realizarán fichas de resultado de los materiales sin tratar para determinar su caracterización y su estado de alteración, y de los materiales tratados para la evaluación y control de los tratamientos de conservación.

ENSAYOS AMBIENTALES

En este caso nos encontramos con los elementos ambientales que afectan a los elementos constructivos del edificio. Teniendo en cuenta estos aspectos ambientales, llegaremos a un diagnóstico más científico y exhaustivo, ya que muchas de las lesiones que se producen en los materiales que componen un edificio son debidas a las consecuencias de elementos ambientales como el viento o la lluvia. Por ello no cabe un análisis de identificación de la lesión sin tener en cuenta los efectos ambientales. Por ello deberemos atender, en primer lugar, a la situación o emplazamiento del edificio y la localización de la lesión en el mismo, de tal manera que se procedería a realizar los siguientes pasos:

- **IDENTIFICAR Y LOCALIZAR LA LESIÓN** en el edificio, con indicación del sistema constructivo afectado.

- **SITUAR LA ORIENTACIÓN DE LA FACHADA** o de la unidad constructiva donde se detecte la lesión.

- **DETERMINAR EL NIVEL DE EXPOSICIÓN** del punto de aparición del síntoma con respecto al nivel de calle y a la proximidad de otros edificios.

- **DETERMINAR EL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL ENTORNO** del edificio, en función de las medidas que se pueden tomar en la localidad o, en último extremo, en función de una apreciación personal comparativa.

INSTRUMENTAL NECESARIO

En este apartado trataremos de explicar cuál deberá ser el instrumental para poder realizar la toma de datos necesaria y suficiente para identificar lo más objetivamente posible la lesión producida.

Para la realización de la “ficha de toma de datos”, es conveniente la toma de fotografías o datos gráficos en general que sirvan para completar la información y ayuden a su estudio y posible revisión posterior.

Dichas fotografías pueden ser, en ocasiones, simples testimonios gráficos o de identificación, sin necesidad de una técnica especial en su toma, pero otras veces pueden constituir verdaderas herramientas de trabajo por lo que debe considerarse de especial importancia tener un cuidado especial en su obtención.

FOTOGRAFÍA Y ***FOTOGRAMETRÍA:*** son fundamentales para permitir reducir el tiempo de la toma de datos de campo y el número de visitas necesarias para realizar esta toma de datos. Con la información obtenida tendríamos material suficiente para realizar el análisis de los datos y, en el estudio, elaborar planimetrías y mapas de daños.

En la actualidad es imprescindible realizar un trabajo fotográfico exhaustivo del edificio por personal especializado. Se deben hacer tomas fotográficas de todos y cada uno de los detalles del edificio que se va a restaurar. En la toma de fotográficas debemos introducir un elemento que nos sirva de escala gráfica: metro de madera, mira, martillo.

La fotogrametría es el conjunto de técnicas que permite medir y estudiar la forma y dimensiones de un objeto mediante fotográfica. La ventaja de un método que incluya la fotográfica como base reside en el hecho de que cada imagen registra una superficie arquitectónica al completo, obteniendo la representación continua de líneas, así como la posibilidad de medidas sobre cualquier parte de la estructura por inaccesible que sea.

La técnica de la fotogrametría abarca otras ciencias como las matemáticas, óptica, fotografía, electrónica y análisis digital de imágenes. Los conceptos básicos en los que se fundamenta son la ***PERSPECTIVA*** y la ***ESTEREOSCOPIA***. Esta última consiste en la creación de una imagen artificial tridimensional del objeto fotografiado.

El instrumental fotográfico necesario para el trabajo de la toma de datos consiste en:

- **CÁMARAS MÉTRICAS**. Son las que tradicionalmente utilizan placas fotográficas de vidrio.

- **CÁMARAS ESTEREOMÉTRICAS**. Son dos cámaras idénticas que producen directamente fotografías “normales”.

- **CÁMARAS INDIVIDUALES**. Se utilizan cuando la dimensión del monumento es excesiva o cuando se encuentra parcialmente oculto. Se debe trabajar a mayor distancia colocándola a lo largo de una línea de sucesivos puntos.

- **PLOTTERS ESTÉREO-FOTOGRAMÉTRICOS ANALÓGICOS**. Se están desarrollando para simplificar el instrumental fotográfico “normal” y para mantener la base de las exposiciones paralela al plano de referencia del estudio.

- **RECTIFICADORES FOTOGRAMÉTRICOS Y ORTOPROYECTORES.**

A la hora de realizar fotografías de arquitectura debemos tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **FINALIDAD DE LAS FOTOGRAFÍAS**. Consideraremos diferentes posibilidades: si se trata de preparar un archivo personal, hacer un seguimiento constructivo, tomar datos concretos, recabar información complementaria, preparar un levantamiento de planos, etc.

- **TIPOLOGÍA DEL EDIFICIO**. Según las características del edificio, y en función del tipo de fotografías deseado, emplearemos un equipo y unos accesorios adecuados, que nos condicionarán las tomas preferentes.

- **UBICACIÓN DEL EDIFICIO**. La localización determinará los medios con que debemos contar para fotografiarlo, así como los problemas y dificultades que planteará este trabajo de campo.

- **DÍA Y HORA DE LA TOMA**. La hora, la posición del sol y demás condicionantes se deben tener en cuenta a la hora de realizar el reportaje fotográfico.

- **LA COMPOSICIÓN**. Este factor influye en la calidad de la fotografía y nos definirá la impresión que queremos producir.

La técnica fotográfica puede ser de gran utilidad en las diferentes fases que componen el desarrollo y ejecución de los proyectos de intervención.

- ***ESTUDIOS PREVIOS***. Permite reducir el tiempo en la toma de datos de campo y el número de visitas necesarias para realizar esta toma de datos. A partir de la información obtenida, se puede llevar a cabo el análisis de los datos obtenidos en el estudio, para después elaborar planimetrías y mapas de daños.

- ***RECONOCIMIENTO DE EDIFICIOS***. Para este tipo de trabajo se emplean preferentemente técnicas como la termografía y el análisis digital de imágenes.

- ***ESTUDIO PATOLÓGICO***. La fotografía permite que la información obtenida se pueda reproducir con suma facilidad e incorporar los resultados como documento del proyecto.

- ***EJECUCIÓN DE OBRAS***. La fotografía permite llevar un seguimiento exhaustivo del proceso de intervención que, además, posibilita justificar soluciones adaptadas a cada caso con carácter de urgencia. Permite también la redacción del informe final de intervención con imágenes gráficas ilustrativas del estado original de los elementos arquitectónicos.

- ***CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO***. En toda obra de intervención se precisa la elaboración de un plan de conservación y mantenimiento posterior. En cualquier caso deben incluirse inspecciones visuales y técnicas, realización de pruebas y ensayos, labores de limpieza y trabajos de reposición. Para estos trabajos son de gran utilidad el empleo del análisis digital de imágenes, la fotogrametría e incluso la fotografía convencional.

Hay algunas otras técnicas fotográficas que en algunos casos concretos pueden resultar de gran utilidad.

FOTOGRAFÍA POR ULTRAVIOLETAS. la radiación ultravioleta es una de las que se encuentra dentro del espectro electromagnético en una longitud de onda no visible por el ojo humano pero que sí es perceptible, en cambio, por el material sensible fotográfico. En esta técnica se aprovechan sus características técnicas para obtener mayor información de ciertos objetos.

En la fotografía utilizaremos la radiación ultravioleta de onda larga, la trasmitida por los vidrios ópticos. La aplicación de esta técnica requiere la iluminación de los objetos con este tipo de radiación. Se puede conseguir este tipo de iluminación mediante: luz solar con filtro en el objetivo, lámparas de vapor de mercurio a baja presión, lámparas de vapor de mercurio a alta presión y flash electrónico, cuya radiación depende del gas empleado en su fabricación.

FOTOGRAFÍA POR INFRARROJOS. Se basa en la realización de exposiciones con cámaras convencionales mediante películas especialmente sensibles a la longitud de onda que dentro del espectro electromagnético corresponde al infrarrojo, entre 700 y 1.200 nanómetros.

TERMOGRAFÍA. Por encima del cero absoluto, todos los cuerpos irradian energía, cuya longitud de onda varía en función de su temperatura. Si la longitud de onda se halla por encima de los 1.200 nm y hasta 1.000.000 nm, la acción sobre la emulsión fotográfica se registra electrónicamente (termografía). Se trata de un sistema óptico electrónico que permite la formación de imágenes por rayos infrarrojos transformando las variaciones de éstos en una imagen sobre una pantalla.

Es una técnica ***NO DESTRUCTIVA*** aplicable a cualquier fenómeno físico que conlleva una variación de temperatura o emisividad del cuerpo. Es imprescindible para conocer con antelación características como el conocimiento del ***COMPORTAMIENTO TÉRMICO*** de cualquier edificio; ***LOCALIZACIÓN*** de instalaciones y puntos calientes; humedades de elementos estructurales; ***DETERMINACIÓN*** de tipos de material; estado de *conservación* de materiales; y ***DESPRENDIMIENTOS*** de acabados.

RADIOGRAFÍA. Es el registro de imágenes sobre materiales fotográficos mediante exposición a longitudes de onda muy cortas, especialmente a los rayos X y rayos gamma. La radiografía se obtiene colocando un objeto entre una fuente de radiación y una emulsión fotográfica.

MICROFOTOGRAFÍA. Es la técnica de realización de fotografías con un microscopio, acoplando a éste una cámara fotográfica.

MACROFOTOGRAFÍA. Técnica que permite realizar fotografías de detalle llegando a escalas de tamaño natural en el negativo, o incluso menores. Se realiza mediante una cámara fotográfica a la que se aplica un accesorio que permite enfocar el objeto.

ENDOSCOPIO. Técnica que permite mirar y observar el interior de una cavidad. Suele llevar la iluminación incorporada y puede asociársele una cámara de vídeo con el fin de grabar las imágenes obtenidas.

ANÁLISIS DIGITAL DE IMAGEN. Parte de una imagen analógica para obtener otra digital. La imagen analógica de partida es una fotografía y la imagen digital obtenida es una matriz de puntos. El tratamiento digital de las imágenes se basa en la manipulación de las imágenes digitales para obtener datos sobre materiales y su estado de conservación. En el campo de la restauración, el análisis digital de imágenes nos permite extraer información selectiva de la imagen mediante el reconocimiento o identificación de formas, la cuantificación de parámetros o la clasificación de objetos.

Muchas de las técnicas que se utilizan tanto en el estudio y caracterización de ladrillos, como de morteros, son las mismas que se han empleado en Mineralogía, ya que ambos materiales pueden considerarse como rocas sedimentarias. La diferencia entre las distintas técnicas microscópicas reside en la naturaleza de la radiación que se hace incidir sobre la muestra. Estas técnicas microscópicas permiten la observación, identificación, cuantificación y mapeo de los componentes petrográficos.

MICROSCOPIA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN. Es una de las técnicas más utilizadas en el estudio de materiales rocosos y similares, tanto con luz trasmitida como reflejada.

MICROSCOPIA ÓPTICA DE FLUORESCENCIA. Utiliza la radiación de fluorescencia visible que emite una muestra al haber sido excitada por una radiación incidente. Es una técnica muy utilizada para la caracterización del sistema poroso de cualquier material. Se observan los componentes fluorescentes que ocupan la red de espacios vacíos sobre un fondo negro y, por tanto, la morfología y distribución de los mismos. Sólo se observará la porosidad abierta, mientras que los poros y fisuras aislados no son observables.

El estudio del sistema poroso en materiales de un monumento es de vital importancia, ya que es por estos poros y fisuras por donde penetra el agua, factor básico en los procesos de alteración, además de constituir las vías por las que se introducen los productos consolidantes e hidrofugantes al interior del material.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB). Se emplea un fino haz de electrones incidentes sobre la muestra. Cuando se utilizan electrones secundarios, se obtiene la técnica de la microscopia electrónica de barrido. Se pueden observar tanto superficies planas como irregulares.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN. Emplea electrones de haz incidente que atraviesan la muestra sin ser absorbidos. Estos electrones no son capaces de atravesar grandes espesores por lo que es necesario realizar secciones ultrafinas.

MICROSONDA ELECTRÓNICA. Se obtienen análisis químicos de zonas muy reducidas de la muestra, del orden de unas pocas micras. Lo que se consigue es la variación en el contenido de elementos, tanto superficiales como de profundidad de 1um.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X. Es la técnica más utilizada en la identificación y caracterización de minerales de arcilla y en la determinación de fases minerales.

MÉTODO DE ANÁLISIS TÉRMICOS. Constituyen una de las técnicas de análisis más antiguas. Su técnica se basa en la modificación de las propiedades físicas y químicas de los minerales al aplicarles cantidades controladas de calor.

POROSIMETRÍA POR INYECCIÓN O INTRUSIÓN DE MERCURIO. Técnica indirecta que se utiliza para la caracterización del sistema poroso de los materiales, obteniendo la distribución del volumen de poros en función del radio de acceso al poro.

ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA. Se basa en la medida de la fracción de la radiación absorbida por un material.

ANÁLISIS DEL PROCESO

Una vez finalizada la toma de datos directa, y contando ya con los resultados de los eventuales ensayos in situ y de laboratorio, se puede iniciar la "reconstrucción de los hechos", es decir, tratar de determinar cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, cuál será su evolución y cuál es su estado actual.

En definitiva, estamos ya en condiciones de iniciar lo que podemos llamar el ***ANÁLISIS DEL PROCESO PATOLÓGICO***, con el objeto de alcanzar un diagnóstico definitivo, y por tanto, llegar a unas conclusiones imprescindibles para la posterior actuación profesional que implique la reparación de las unidades afectadas.

CAUSAS

Hay que tener en cuenta que las causas posibles son muy variadas dentro de cada proceso patológico y que, por lo tanto, será una clasificación tipológica general para comprender las características distintivas de cada una de ellas.

Es importante recordar también, que las causas no son únicas en cada proceso patológico y que siempre encontraremos actuando conjuntamente unas directas y otras indirectas.

Es necesaria una descripción precisa de cada una de ellas y la especificación de la confluencia, cuando la haya, tanto de varias causas directas, como de las posibles indirectas que hayan actuado conjuntamente.

Conviene incidir tanto en la causa como en el efecto, recordando la eferencia de aquélla sobre éste, ya que de lo contrario, puede llegar a "ser peor el remedio que la enfermedad" (contemplamos continuamente grietas en las paredes que se intentan "tapar" con pinturas o morteros superficiales y que vuelven a aparecer al poco tiempo, con más expresividad si cabe, o manchas de humedad que se cubren de sucesivas capas de pintura que se desprenden periódicamente por no haber eliminado primero la causa que las produjo.

CAUSAS DIRECTAS DE LAS LESIONES

Las causas directas son las acciones que ponen en marcha los procesos patológicos iniciando la degradación de los materiales. Podemos dividir las causas directas en cuatro grupos:

MECÁNICAS

Son las acciones no previstas que aplican sobre una unidad un esfuerzo mecánico superior al que es capaz de soportar. Este tipo de causas son debidas a errores en los cálculos (sobrecargas), defectos en la ejecución, en el diseño o a un mal uso. Afectan sobre todo a los elementos estructurales, pero también pueden aparecer en cerramientos, tabiques o acabados. La transmisión de los esfuerzos mecánicos desde los elementos estructurales hasta los de cerramiento puede agravar el problema, llegándose incluso a provocar desprendimientos. En cualquier caso, las lesiones más comunes producidas por este tipo de causa son las deformaciones, grietas y fisuras.

También se incluyen entre las causas directas de origen mecánico los impactos y rozamientos que se producen en los acabados, incluso el producido por el viento.

FÍSICAS

Las causas físicas son los agentes atmosféricos que inciden sobre los edificios. La lluvia provoca humedades, ensuciamientos por lavado diferencial, etc. El cambio de temperatura provoca dilataciones y contracciones que suelen convertirse en fisuras y grietas; las heladas provocan desprendimientos y erosiones; el viento influye en la acción de la lluvia, y la contaminación atmosférica produce el ensuciamiento de las fachadas por lavado diferencial y por depósito.

QUÍMICAS

Las causas químicas se producen a partir de todo tipo de productos, tanto procedentes de organismo vivos como del uso, que provocan reacciones en el elemento constructivo. Las sales solubles que se encuentran en los ladrillos, piedras y morteros reaccionan junto con la humedad produciendo eflorescencias. Los contaminantes ambientales reaccionan con componentes mineralógicos de (generalmente) las fachadas, y provocan erosiones químicas muy variadas. Los organismos, tanto animales como vegetales, segregan ácidos que atacan los materiales.

LESIONES PREVIAS

En ocasiones, la causa directa de una lesión es otra lesión anterior. Como ejemplo, las deformaciones suelen ser la causa directa de desprendimientos, fisuras y grietas, y éstas a su vez son la causa directa de erosiones físicas, desprendimientos y humedades que, a su vez, provocan eflorescencias, erosiones físicas y químicas, corrosiones y desprendimientos.

Las corrosiones producen ensuciamientos y los organismos provocan erosiones químicas.

CAUSAS INDIRECTAS DE LAS LESIONES

Las causas indirectas son todos los factores inherentes a las unidades constructivas, como la composición química, la forma o la disposición, y que se deben casi siempre a un diseño defectuoso o a una mala selección.

Una causa indirecta no es suficiente para que se produzca un proceso patológico, en general se necesita la combinación de varias causas indirectas y de diferentes tipos. Estos tipos podrían clasificarse de la siguiente manera:

DE PROYECTO

Se deben a errores en la elección del material, la técnica, el diseño y la disposición de los distintos elementos y unidades constructivas:

La errónea elección del material o la falta de definición que conlleva un pliego de condiciones defectuoso e incompleto; la técnica y sistema constructivo inadecuado tanto en la elección del material como en la definición de la función que debe cumplir una unidad constructiva; el diseño defectuoso de un elemento constructivo, y la falta de estudio y diseño adecuados tanto de juntas como de materiales y elementos, que producirá a la larga filtraciones, desplazamientos y grietas.

DE EJECUCIÓN

Son aquellos factores que proceden de errores en la ejecución de una unidad constructiva y que no tienen relación con los errores de proyecto. Suelen, en líneas generales, ser debidos al incumplimiento de las condiciones técnicas (pliegos, especificaciones, normativas).

DE MATERIAL

Son los factores que proceden de errores durante la fabricación de un material determinado y que producen la pérdida de las características correctas de dicho material. Si un material específico no cumple las características físicas, mecánicas y químicas necesarias para la misión constructiva que le corresponde, el proceso patológico surgirá más pronto o más tarde.

DE MANTENIMIENTO

Son factores inherentes al mal uso de un edificio, por falta de un mantenimiento periódico apropiado o porque el edificio realiza funciones para las que no ha sido diseñado. En este tipo de causas en muy importante que el usuario tenga conciencia de que un correcto uso del edificio alargará su vida útil.

CAUSAS INDIRECTAS

Se podrá hacer en ocasiones actuaciones generalizadas, por lo que conviene analizar los distintos casos tipo.

Si se trata de un material defectuoso, bien por error de su elección, bien por defecto de fabricación, debemos analizar si es posible su sustitución o por el contrario, resulta más adecuado su tratamiento químico o físico para darle las propiedades que requiere.

Será pues un problema constructivo, por un lado, y económico, por otro, cuyos condicionantes habrá que sopesar. No es lo mismo cambiar un material de acabado (una pintura o un alicatado) por insuficiente resistencia a la intemperie, por ejemplo, que cambiar un ladrillo visto, constitutivo de una fachada, por excesivo contenido en sales eflorescibles, o unos pilares de hormigón armado, por baja de resistencia o compresión.

En el primer caso, resulta relativamente sencilla la sustitución, mientras que en los otros dos parece más razonable la aplicación de productos protectores de la humedad, en el ladrillo o de refuerzos metálicos superficiales, en el caso del hormigón.

Si se trata de un problema de disposición constructiva, bien por defecto de diseño de detalle, bien por error en la ejecución, se puede estudiar la posibilidad de un cambio de dicha disposición o, por el contrario, la adición de nuevos elementos constructivos que corrijan el defecto.

Un caso claro sería la omisión de colocar una barrera impermeable en la base de un muro de cerramiento para evitar la humedad capilar.

En algunos casos, cabe la posibilidad de introducir láminas metálicas o de otro tipo, bien actuando por bataches, bien clavándolas entre hiladas horizontales, según la disponibilidad del espacio de trabajo y su accesibilidad, y según las características de resistencia del material.

En otros, será más fácil aplicar barreras impermeables de masa a base de silicona.

En otros, sin embargo, no habrá más remedio que facilitar el drenaje por aireación o por sistemas electrodomésticos y, en algunos casos, cubrir los efectos con cámaras ventiladas.

Si se trata, por último, de problemas de mantenimiento, será cuestión de estudiar las correcciones oportunas, aplicando las protecciones más adecuadas.

Es el caso claro de muchas corrosiones de elementos metálicos por falta de protección anticorrosiva periódica, sobre todo en zonas de humedad relativa elevada.

En definitiva, pues, las causas indirectas son, casi siempre, susceptibles de corrección, bien por sustitución, bien por nueva disposición, bien por aplicación de nuevos materiales o nuevos elementos constructivos.

CAUSAS DIRECTAS

Suelen ser más difíciles de eliminar y más complejo actuar sobre ellas, sobre todo cuando se trata de agentes atmosféricos o contaminantes, por lo que su corrección se complica en parte.

CAUSAS MECÁNICAS: podremos actuar en los esfuerzos o cargas que sean previsibles, tratando de eliminarlos o, por lo menos, limitarlos. Se pueden eliminar, por ejemplo, las cargas permanentes innecesarias, como pavimentos muy pesados o mobiliario excesivo, y se pueden limitar las sobrecargas, en ciertos almacenes, colocando de carteles anunciadores o limitado a altura de las estanterías, con la inevitable incertidumbre sobre su cumplimiento.Por el contrario, en caso de fricciones y rozamientos en pavimentos y zócalos es prácticamente imposible de evitar, a no ser que se modifique el uso de los locales.

CAUSAS FÍSICAS: son casi imposibles de anular (lluvia, viento, temperaturas, etc.) y debemos recurrir a la protección física o química de los elementos, lo que implica, en realidad, una actuación sobre la causa indirecta (tipo de material).

CAUSAS QUÍMICAS: por último, son también poco susceptibles de actuación directa, sobre todo cuando se trata de agentes contaminantes de la atmósfera. También en estos casos habrá que recurrir a la protección del material y elemento que se traduce en una actuación sobre la causa indirecta.

Si el problema es de interacciones entre materiales, podremos resolverlo con la interposición de barreras entre ellos, pero se tratará, por lo general, de actuaciones indirectas. Lo mismo ocurrirá cuando el origen de la contaminación química proceda de animales o plantas. Entonces, además, la actuación deberá recaer sobre el mantenimiento.

En general, pues, la mayoría de las causas directas sólo se podrán resolver, bien a base de protecciones que eviten que los agentes directos (físicos, mecánicos o químicos) alcancen al material o elemento susceptible de ser lesionado, bien mediante productos y aditivos aplicados al mismo material, bien a base de cambios de uso que puedan alejar o disminuir la acción de dichos agentes.Finalmente, si la causa es una lesión previa, la reparación se encaminará claramente a anularla, siguiendo todo el proceso que estamos analizando.

TÉCNICAS DE DIAGNOSIS

Los métodos de diagnóstico pueden ser concretados en dos grandes grupos: magnetométricos o pasivos, cuando los métodos empleados nos revelan fenómenos físicos en el interior del material estudiado, y termográficos o activos, en los que el método pone de manifiesto una respuesta a un estímulo físico realizado desde el exterior.

No existe un orden prelativo entre los diferentes métodos destinados a establecer las características físicas, químicas y mecánicas de una superficie deteriorada. La elección y orden de esta metodología siempre debe estar en función de cada caso concreto y de la problemática y requerimientos de la propia degradación. La aplicación de la praxis restauradora, y por lo tanto sus diagnosis previas, queda constreñida a seis grandes grupos de características bien definidas: limpieza restauradora; consolidaciones; protecciones; uniones; juntas y sustituciones.

En un primer momento, las observaciones y medidas pueden ser convencionales. Se pueden emplear elementos como cintas métricas, un martillo y una sonda, y aparatos topográficos convencionales.

Sin embargo, estos procedimientos no son suficientes en muchos casos y precisaremos recurrir a métodos más sofisticados para obtener más información. Se trata de estudiar las técnicas aplicables que han derivado y evolucionado para poder extrapolar su uso a circunstancias especiales.

Los métodos instrumentales de investigación se clasifican en:

- **TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA**
- **DEFORMACIONES, TENSIONES Y DESPLAZAMIENTOS**
- **MEDIO AMBIENTE**

TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

Mediante la tipología constructiva analizaremos las posibles deformaciones que puedan darse en la estructura misma del edificio, para ello nos dotaremos de una serie de medios (ensayos) que tendrán como fin ofrecer un diagnóstico de las patologías encontradas. De esta manera dividiremos los ensayos en:

- **ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**. Su aplicación sobre los materiales del edificio no va a suponer ningún daño para ellos: radar, velocidad de propagación del sonido, termografía y método esclerométrico.

- **ENSAYOS DE MEDICIÓN VISUAL DIRECTA** (endoscopia). No se trata de una técnica totalmente “no destructiva”, pero el daño que supone es perfectamente subsanable.

RADAR. Se ha descubierto que las ondas de radio de alta frecuencia pueden penetrar en la tierra hasta una profundidad de 20 m, por lo que una de las aplicaciones del radar es la detección de objetos enterrados, y la localización de cavidades y de superficies geológicas. Por lo tanto se utiliza el radar para el análisis ***NO DESTRUCTIVO*** del interior de las fábricas de ladrillo y mampostería. El radar se ha empleado con buenos resultados en la investigación de la composición de la fábrica, verificando los resultados por métodos directos. Se utilizan los impulsos, mediante los cuales una antena en contacto con el suelo emite impulsos cortos de frecuencia de ondas de radio. Estas ondas reflejadas y el tiempo que tardan en volver indica la presencia y la distancia de la superficie.

Cuanto menor es la frecuencia de los impulsos transmitidos, mayor es la profundidad de penetración, aunque se hace más difícil la discriminación para tamaños reducidos. La frecuencia de transmisión se elige entre 50 MHz y 5 GHz, dependiendo de la atenuación de los materiales a ensayar.

El radar se ha empleado satisfactoriamente en la investigación de la composición de la fábrica, verificando los resultados por métodos directos.

MÉTODOS BASADOS EN LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO. El método para la determinación de la velocidad de propagación del sonido en los materiales de construcción está basado en la propagación de las ondas ultrasónicas. Estas son ondas elásticas con frecuencias por encima de los 20 KHz. La transmisión de una onda elástica a través de un material depende de la fuerza de unión entre las partículas. La medida de esta velocidad se efectúa mediante dos transductores que miden el tiempo que transcurre entre la emisión y la recepción de una señal entre dos puntos de una cierta distancia. El palpador electro-acústico emisor produce impulsos de vibraciones longitudinales, que tras atravesar una cierta longitud, se convierten en una señal eléctrica por medio de un segundo palpador y un circuito que mide el tiempo de propagación de los impulsos.

Es una técnica que no implica modificación de las características del material, es fácil de emplear y permite determinar diferencias de calidad en el material auscultado, auscultaciones completas de una obra de arte, columna o estatua, permiten descubrir las partes alteradas, frágiles o de calidad diferente.

El tiempo de propagación del impulso ultrasónico depende de la densidad del material y de la presencia de huecos, es decir, de su anisotropía. Cualquier fisura, grieta o espacio lleno de aire que esté entre los transductores, y cuya área sea mayor que la del transductor, obstruye el paso del haz ultrasónico, recorriendo éste un camino alrededor de su periferia, alargando el tiempo de propagación. Se localizarán los defectos cuando mayor sea el tiempo de trasmisión de los impulsos ultrasónicos. Existen diferentes tipos de transmisiones:

- **DIRECTA**. Los transductores se colocan en sentido opuesto sobre superficies plano-paralelas del material.

- **SEMIDIRECTA**; diagonal o en ángulo. Los palpadores se colocan sobre caras contiguas o adyacentes.

- **SUPERFICIAL O INDIRECTA**. Los palpadores se colocan sobre la cara del edificio.

La posición más recomendable es la que permite una transmisión directa al lograr que la máxima energía de los impulsos se dirija hacia el palpador receptor, obteniendo así la máxima sensibilidad. Es muy útil en el caso de probetas y pilares.

La trasmisión indirecta se utiliza sólo cuando es accesible una de las caras, mientras que la transmisión semidirecta se utiliza sólo cuando no se pueda utilizar la directa.

Por auscultación con estos métodos ***NO DESTRUCTIVOS*** es posible, sin la extracción de muestras, definir los tipos de porosidad, las calidades de los ladrillos y obtener el módulo elástico de un material.

Está técnica se ha aplicado con cierto éxito a estructuras sencillas de fábrica con acceso a ambas caras de la estructura, así como en la comprobación del buen relleno realizado en la fábrica de refuerzo. También se emplea en la evaluación de la eficacia de un tratamiento de consolidación.

TERMOGRAFÍA POR INFRARROJOS. La aplicación de la termografía a las estructuras de fábrica se basa en la idea de que todos los cuerpos emiten y absorben radiación en función de su longitud de onda. Así podemos obtener información sobre la disposición de la estructura del edificio y su historia reciente. Esta técnica se ha utilizado en fachadas para la realización de una ***CARTOGRAFÍA O MAPEO DE HUMEDADES***. También para detectar pérdidas de cohesión, ya que un área menos cohesionada emite una radiación infrarroja diferente a la de las zonas próximas.

MÉTODO ESCLEROMÉTRICO. Es un método que se ha usado sobre todo para ensayos superficiales en el estudio del hormigón. Una masa conocida golpea la superficie del material a ensayar en diversos puntos. La cantidad de energía recuperada en el rebote de la masa es un índice de la dureza de la superficie ensayada. Los aparatos que se utilizan son los martillos esclerométricos. En el caso concreto del hormigón los objetivos son los siguientes:

- **COMPROBAR** la uniformidad de la calidad del hormigón en relación con una calidad promedio y en términos de índice esclerométrico.

- **COMPARAR** un hormigón con otro de referencia.

- **ESTIMAR** la resistencia de un hormigón en probetas y su correlación con los índices esclerométricos obtenidos.

Los factores que influyen en las medidas que se obtengan sobre cualquier material son, entre otros, el estado de la superficie del mismo y el contenido de humedad de dicha superficie.

En el caso de fábricas de ladrillos este método se utiliza para determinar la diferencia de la dureza superficial de unos ladrillos respecto de otros.

Sirviéndonos del esclerómetro "Schmit" podemos realizar un número previamente determinado de mediciones de la dureza superficial sobre zonas de material degradado que, en comparación con las medidas obtenidas sobre el mismo material incólume, nos dará una gráfica de la extensión del daño producido, así como las diferentes intensidades del mismo. Especialmente dedicado para parámetros líticos, su actuación está basada en las diferencias tensionales de un punto determinado.

MÉTODO DE MEDICIÓN VISUAL DIRECTA: ENDOSCOPIA. Consiste en la observación directa mediante un endoscopio del interior de una construcción a través de un orificio, o de fisuras existentes. No se trata por lo tanto de una técnica totalmente no destructiva, aunque sólo suponga una pequeña alteración visual en la superficie. Un endoscopio es un tubo dotado de fibras ópticas con un lente y un ocular en un extremo y una entrada de luz en el otro. La lente terminal del endoscopio se coloca en el agujero, pasando la luz a iluminar el interior del mismo y viéndose la imagen en el ocular.

Constituye una herramienta fundamental para inspecciones internas, pudiéndose detectar y observar las distintas tipologías constructivas.

Los endoscopios han sido muy utilizados en la investigación de la construcción de las fábricas. Una perforación de pequeño diámetro es todo lo que se necesita para explorar y conocer el espesor de un muro, los huecos internos y separaciones entre ladrillos. El principal problema es que se requiere un plan sistemático de perforación.

MICROSCOPIA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN. Es una de las técnicas más utilizadas en el estudio de materiales rocosos y similares, tanto con luz trasmitida como reflejada.

MICROSCOPIA ÓPTICA DE FLUORESCENCIA. Utiliza la radiación de fluorescencia visible que emite una muestra al haber sido excitada por una radiación incidente. Es una técnica muy utilizada para la caracterización del sistema poroso de cualquier material. Se observan los componentes fluorescentes que ocupan la red de espacios vacíos sobre un fondo negro y, por tanto, la morfología y distribución de los mismos. Sólo se observará la porosidad abierta, mientras que los poros y fisuras aislados no son observables. El estudio del sistema poroso en materiales de un monumento es de vital importancia, ya que es por estos poros y fisuras por donde penetra el agua, factor básico en los procesos de alteración, además de constituir las vías por las que se introducen los productos consolidantes e hidrofugantes al interior del material.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB). Se emplea un fino haz de electrones incidentes sobre la muestra. Cuando se usa electrones secundarios, se obtiene la técnica de la microscopia electrónica de barrido. Se pueden observar tanto superficies planas como irregulares.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN. Emplea electrones de haz incidente que atraviesan la muestra sin ser absorbidos. Estos electrones no son capaces de atravesar grandes espesores por lo que es necesario realizar secciones ultrafinas.

MICROSONDA ELECTRÓNICA. Se obtienen análisis químicos de zonas muy reducidas de la muestra, del orden de unas pocas micras. Lo que se consigue es la variación en el contenido de elementos, tanto superficiales como de profundidad de 1um.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X. Es la técnica más utilizada en la identificación y caracterización de minerales de arcilla y en la determinación de fases minerales.

MÉTODO DE ANÁLISIS TÉRMICOS. Son una de las técnicas de análisis más antiguas. Su técnica se basa en la modificación de las propiedades físicas y químicas de los minerales al aplicarles cantidades controladas de calor.

POROSIMETRÍA POR INYECCIÓN O INTRUSIÓN DE MERCURIO. Técnica indirecta que se utiliza para la caracterización del sistema poroso de los materiales, obteniendo la distribución del volumen de poros en función del radio de acceso al poro.

ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA. Se basa en la medida de la fracción de la radiación absorbida por un material.

DEFORMACIONES, TENSIONES Y DESPLAZAMIENTOS

Para medir los efectos de las cargas de larga duración se necesitan técnicas que sean estables a largo plazo. Las medidas que detallamos a continuación se utilizan para medir los efectos de las cargas de larga duración.

MEDIDAS DE DEFORMACIONES

EXTENSÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE: consisten esencialmente en un alambre delgado sometido a tracción, con sus extremos unidos a dos partes rígidas de la estructura que se estiran electromagnéticamente con la consecuente vibración. Pueden utilizarse en superficie o embebidos en hormigón en el interior del material.

EXTENSÓMETROS MECÁNICOS: se basan en la medida de la variación de la longitud sobre una medida base "l". Como estos valores son muy pequeños, estos aparatos llevan dispositivos mecánicos para lograr la amplificación de dicha variación de longitud de base, logrando así la detección precisa por parte del aparato. Existen de varios tipos: de lectura directa; de amplificación mecánica sencilla; de amplificación múltiple y de palancas ópticas. A partir de estos procesos de medida, es posible llegar a las siguientes interpretaciones:

- **SI LAS VARIACIONES DE ESPESOR DE LAS FISURAS MUESTRAN ALTERACIONES DE CRECIMIENTO Y ACORTAMIENTO**, la interpretación se puede hacer comparando los movimientos con el estudio de las variaciones de las condiciones *in situ.*

- **SI LAS VARIACIONES DE ESPESOR CRECEN CON EL TIEMPO**, se puede tratar de un movimiento debido a un aumento de asiento del terreno.

BANDAS EXTENSOMÉTRICAS: son toda una serie de transductores de deformación basados en la variación de la resistencia eléctrica de un hilo conductor al ser sometido a una deformación. Existen dos tipos: de hilo o lámina metálica y de semiconductores.

MEDIDAS DE TENSIÓN

Cuando se realizan las mediciones en una estructura de fábrica, las medidas resultantes siempre corresponden al inicio de la medición. Para obtener la deformación total es necesario conocer las deformaciones preexistentes.

CÉLULAS DE MEDIDA: consisten en la instalación de equipos de bandas de medida en el interior de la fábrica de la estructura, registrando las deformaciones; después se extrae un testigo de la estructura, y se mide la deformación para obtener la situación libre de deformaciones.

Está indicada para materiales homogéneos, en los que debe evitarse la humedad a causa del uso de resistencias eléctricas.

CÉLULA FOTOELÁSTICA DE TENSIONES*:* es otra de las técnicas de medición de tensiones superficiales preexistentes, aunque sus resultados parecen algo inconsistentes.

GATOS PLANOS: pueden utilizarse para medir la tensión de una estructura de fábrica en una zona cercana a la superficie. El ensayo de esta técnica se realiza en dos fases:

- **MEDIDA DEL ESTADO DE TENSIÓN**. Se basa en la relajación causada por el plano de corte normal en la superficie del muro. Se coloca un gato plano especial en el lugar del corte y se aumenta gradualmente la presión hasta llegar a la medida tomada previamente.

- **SE INSTALAN VARIAS BASES DE MEDIDAS MÓVILES** en la superficie libre de la muestra, para de esta forma obtener un cuadro completo de la deformación axial y transversal de la muestra.

EMISIÓN ACÚSTICA: es un método pasivo que registra la energía elástica autogenerada como consecuencia de las tensiones internas a las que se somete un material o estructura. Esta energía se manifiesta como ondas elásticas que se captan y registran mediante un sistema de captación, un sistema de amplificación y un sistema de registro.

MEDIDAS DE DESPLAZAMIENTO

COLOCACIÓN DE TESTIGOS. Controlan el crecimiento de las grietas. Son elementos realzados con mortero de yeso en el interior de edificio, y de mortero de cemento en el exterior. Su colocación debe ser cuidadosa, humedeciendo previamente la zona y marcando después la fecha de colocación. Se colocan sobre fisuras o grietas para determinar si el movimiento del edificio ha cesado o no. Si no se rompe podemos asegurar que el problema que originó la fisura ha desaparecido; si se rompe significa que el movimiento continúa y se han de tomar medidas oportunas.

APARATOS TOPOGRÁFICOS: son los teodolitos y niveles, que permiten la determinación de los desplazamientos sufridos por una estructura entre dos estados de carga. Los teodolitos permiten detectar la medida de cualquier tipo de deslazamiento, mientras que los niveles sólo proporcionan datos de desplazamientos verticales. La precisión de estos aparatos es de 0,01 mm.

LUPAS MICROMÉTRICAS: son lupas de pocos aumentos que llevan incorporadas escalillas en décimas de milímetro, permitiendo determinar la variación de la achura de la fisura.

RELOJES COMPARADORES (FLEXÍMETROS): son sistemas mecánicos que transforman, amplificándolo, el movimiento de un vástago en el giro de una aguja sobre una escala circular graduada.

FLEXÍGRAFO LÁSER: es un aparato que mide los movimientos verticales y los desplazamientos. Se basan en la instalación de un emisor de rayos láser que puede estar ligado a un punto móvil dentro de la estructura, o a un punto fijo de referencia externo a la estructura.

FOTOGRAMETRÍA: permite la verificación de deformaciones y fisuras, pudiendo contribuir a su medición, así como también a hacer un seguimiento de su evolución.

TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO INDUCTIVO (LVDT) se basa en la variación de las características magnéticas de un circuito eléctrico en función del desplazamiento de un núcleo metálico. Además se utiliza para la medida de deformaciones, fuerzas, presiones, aceleraciones y otras magnitudes.

TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO CAPACITIVOS O SONDAS DE CAPACITANCIA: miden desplazamientos relativos y no requiere conexión física alguna entre las dos partes de la estructura a medir. Se basa en el principio de que la capacitancia entre dos superficies metálicas varía con la distancia entre ambas.

MEDIAS DE ACELERACIÓN

ACELERÓMETROS: dan la medida de la aceleración sólo indirectamente; lo que miden realmente son las fuerzas de inercia que tienen lugar en un punto de la estructura sometido a aceleraciones. Se han empleado para realizar medidas comparativas de los efectos de distintas cargas sobre una estructura, o del efecto de un tipo de carga en diferentes estructuras.

MEDIO AMBIENTE

Es fundamental conocer las condiciones ambientales del entorno de cualquier monumento sobre el que vamos a realizar un estudio de sus materiales. Se recogen datos de la estación meteorológica más cercana y del Centro de Meteorología. Así se determinarán las variaciones de temperatura, presión y humedad a que están expuestos los diferentes materiales que componen el edificio. Un caso especial es la medición de la contaminación atmosférica.

Existen varios métodos para medir la ***HUMEDAD*** que aparece en los muros de fábrica, como son:

MÉTODO QUÍMICO DEL CARBURO: un sistema preciso de medición de la humedad, que extrae una serie de testigos del muro y los mezcla con un polvo de carburo de calcio en un recipiente con una válvula que mida presiones. La cantidad de gas acetileno que se produce es directamente proporcional al contenido de humedad de la muestra.

MÉTODO GRAVIMÉTRICO: que mide mediante la pérdida de peso que experimentan los testigos al calentarlos en una estufa a 100-110 ºC, hasta un peso constante.

MÉTODO ELÉCTRICO: Existen dos tipos, los medidores de conductividad y los de capacitancia. Ambos métodos proporcionan medidas directas de contenidos de humedad.

MÉTODOS DE MEDIDA DE LA CONDENSACIÓN: es esencial la medida de la temperatura del aire, del muro a humedad relativa y la determinación del punto de rocío, por medio de los siguientes instrumentos:

Para la medida de la ***TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA***: higrómetro giratorio, higrómetro digital con sonda de aire, higrómetro de filamento, termo-higrófago y termohigrómetro.

Para la medida de la ***TEMPERATURA DEL MURO***: termómetro con una sonda de superficie.

EVOLUCIÓN Y SEGUIMIENTO

Una vez que contamos con los datos para concluir con un diagnóstico definitivo y podemos reconstruir el desarrollo del proceso patológico definiendo su origen y causas, su evolución y estado actual, atenderemos a la evolución de dichos trastornos mediante un seguimiento adecuado.

Sobretodo, habrá que atender a los tiempos, su posible periodicidad, la transformación o ramificación en nuevos procesos patológicos, etc. Para ello, serán de gran utilidad las fichas de registro realizadas después de cada toma de material. En ellas se hará constar el tipo y cantidad de muestra analizada, su localización exacta en el monumento, fecha de análisis, así como el propósito del mismo.

ACTUACIÓN

Una vez que hemos pasado por todas las fases del proceso patológico, hemos observado, tomado los datos necesarios, los hayamos analizado y estudiado su evolución, llegamos al punto en que nos toca actuar. S

e trata, puesto que ya conocemos el diagnóstico, de comenzar un tratamiento de recuperación de esos materiales que sufren el deterioro. Para ello existen una serie de propuestas de reparación, en el caso de que el objetivo sea reparar el edificio de algún daño causado, o propuestas de mantenimiento, en el caso de que el objetivo sea prevenir exactamente que se produzca el daño por estudios previos que se hayan realizado.

Así, como objetivo final, el diagnóstico del punto anterior nos permite llegar a propuestas de actuación que tendrán como misión devolver a la unidad su función constructiva. Dichas propuestas habrá que contemplarlas en dos frentes: reparación y mantenimiento.

Se trata de indicar las diferentes actuaciones de mantenimiento y mejora que conviene llevar a cabo sobre los elementos estructurales de un edificio para conseguir que conserven intacta su funcionalidad constructiva.

Los elementos estructurales son los que sufren mayores esfuerzos mecánicos y tienen, por ello, la mayor responsabilidad en la seguridad del edificio, por lo que hay que asegurarse en todo momento de su funcionalidad constructiva.

Como pasos previos, se considera conveniente llevar a cabo un breve repaso de dos tipos de relaciones. Por un lado, la de los elementos estructurales que consideramos para su mantenimiento.

Por otro lado, la de los posibles procesos patológicos que son susceptibles de sufrir cada uno de los elementos estructurales.

PROPUESTAS DE REPARACIÓN

Una vez corregida o anulada la causa, y sólo entonces, se deberá proceder a la reparación del efecto, lo que tendrá por objeto devolver al elemento o unidad constructivos su aspecto y su funcionalidad originales.

Las posibilidades de actuación son, lógicamente, muy variadas, como lo son los tipos de materiales y elementos que pueden verse afectados, y los tipos de lesiones que los pueden afectar.

HUMEDADES: una vez secas, suelen dejar mancha o aureola, que bastará con eliminar por simple limpieza o tapar con capa de pintura, según los casos.

EROSIÓN FÍSICA: (atmosférica) tendrá un tratamiento diferente según lo avanzada que se encuentre y, en consecuencia, del nivel de erosión que haya sufrido el material. En función de ello podemos proceder a:

- **SUSTITUIR EL ELEMENTO POR OTRO**
- **SANEAR Y ENDURECER**
- **TAPAR Y PROTEGER CON NUEVOS ACABADOS.**

PROYECTO DE INTERVENCIÓN: debe incluir el historial del monumento. Se trata de las vicisitudes por las que ha pasado el monumento durante el transcurso de los años.

La patología del monumento son las causas y efectos patológicos que se observan en el edificio.

En cuanto a la actuación y desarrollo, este punto se subdivide a su vez en limpieza de la superficie y consolidación de los materiales e hidrofugación.

Como existen distintos métodos de ***LIMPIEZA***, conviene señalar que es de vital importancia la correcta elección del sistema para no dañar la cara vista del edificio. Los trabajos de limpieza deben llevarse a cabo lenta y pulcramente y evitando, siempre que se pueda, los métodos abrasivos que deterioran las superficies al arrastrar los materiales y, además, aumentan la porosidad del material.

LIMPIEZA QUÍMICA: se considera por lo general la más adecuada, siempre y cuando se controle la agresividad de los productos y se garantice su posterior neutralización.

LIMPIEZA CON AGUA: (limpieza por lavado) consiste en disociar y arrastrar las partículas de suciedad mediante la aplicación de agua (excepto la marina) a determinada presión. El agua caliente es más eficaz, pero las altas temperaturas pueden producir reacciones en las sales del material. Lo mismo sucede con los dardos de vapor que, si se aplican sin un control de presión y ángulo, pueden provocar un acción demasiado agresiva. En general el lavado con agua sólo se aplica para reblandecer la suciedad para posteriormente proceder a la limpieza.

LIMPIEZA POR PROYECCIÓN DE ÁRIDOS: (chorro de arena) es un método abrasivo y, por lo tanto, debe ser desechada siempre que sea posible. Consiste en la proyección de árido de sílice mediante un compresor, lo que provoca una erosión y el consiguiente desprendimiento de la suciedad al impactar con la superficie. Este método se suele acompañar de proyecciones de agua a presión para eliminar el polvo y las partículas sueltas que genera.

LIMPIEZA POR MEDIOS MECÁNICOS: se usan herramientas de control manual eléctricas o neumáticas como bujarardas, bujarardas de agujas, trépanos, cepillos metálicos, cabezas de carborundum, etc., y se utilizan como complemento de las limpiezas antes mencionadas.

LIMPIEZA QUÍMICA: se emplea como complemento de la limpieza con agua a presión y se subdivide a su vez en limpieza ácida y limpieza alcalina. En la limpieza ácida se utilizan diluciones de ácidos como el clorhídrico o el fluorhídrico, siempre teniendo en cuenta el tipo de material que se está tratando para no provocar eflorescencias de sales. Se aplica con guantes sobre superficies humedecidas mediante brocha. En la limpieza alcalina se utiliza la sosa cáustica con aditivos que se encargan de controlar la penetración. En ninguno de estos sistemas de limpieza se deben utilizar productos químicos con un pH superior a 8 y después de su aplicación siempre se debe aclarar la superficie tratada con abundante agua.

También se suelen utilizar los denominados ***ESPESANTES***, compuestos de ***PRODUCTOS ORGÁNICOS*** como las colas o inorgánicos como la arcilla y que, aplicados en capas de no más de 10 mm., actúan como tixotrópicos y absorben la suciedad.

Los métodos más sofisticados son los basados en la técnica del ***ULTRASONIDO*** (microondas que producen vibraciones en las superficies) y en la técnica del ***LÁSER***. En ambos casos se generan elevadísimas temperaturas.

La limpieza produce un aumento de la porosidad de la superficie y por lo tanto aumenta también el riesgo de agresión y de lesión. Por ello será necesario realizar una intervención de ***CONSOLIDACIÓN*** de materiales. La consolidación es la aplicación de un producto sobre un material que lo absorbe y genera una mayor coherencia en la capa degradada. Los ***CONSOLIDANTES*** se subdividen en dos grupos: los inorgánicos y los orgánicos.

CONSOLIDANTES INORGÁNICOS: son los más tradicionales y convencionales y se deben diluir en agua para que el material al que se aplican pueda absorberlos.

LECHADAS DE CAL: son diluciones en agua de hidróxido de cal que, al evaporarse el agua, se carbonata por contacto con el anhídrido carbónico del aire, dejando un residuo de carbonato clásico resistente al agua:

SILICATOS ALCALINOS: son diluciones de dióxido de silíceo con óxido de potasio o sodio que, al evaporarse el agua y entrar en contacto con el anhídrido carbónico del aire, produce sílice o ácido silícico y carbonato sódico o potásico:

ÉSTERES DE SILICATO DE ETILO: tienen una consolidación muy superior a los silicatos alcalinos porque alcanzan una mayor profundidad y no generan eflorescencias debido a la falta de sales solubles.

FLUOSILICATOS: se utilizan para neutralizar el exceso de alcalinidad de los morteros de cal y cemento.

CONSOLIDANTES ORGÁNICOS: son los copolímeros termoplásticos, que a su vez se subdividen en cuatro familias:

POLÍMEROS VINÍLICOS: (como el acetato de polivinilo) son la unión de varios monómeros vinílicos y se aplican como un barniz transparente.

POLÍMEROS ACRÍLICOS: son composiciones de monómeros acrílicos que también se aplican como un barniz, pero son más transparentes y resistentes a la luz solar que los anteriores.

POLÍMEROS EPOXI: son polímeros termoplásticos creados por grupos epoxi. Se usan las formulaciones epoxi en funciones adhesivas o reparadoras, pero sus posibilidades son infinitas. Hay que tener en cuenta que estas resinas no son transparentes y que tienden a amarillear.

SILICONAS: reúnen tanto las propiedades de los productos orgánicos como de los inorgánicos y por ello son los polímeros más importantes. Proceden de la arena de sílice que al entrar en contacto con el cloro y el agua producen un monómero ***SILANO***. La formación de cadenas tridimensionales con estos monómeros produce las ***RESINAS SILOXÁNICAS***. Los grupos tetra-alcoxi-silanos, al reaccionar con la humedad del material, liberan un alcohol y un polímero de sílice que cementa los componentes del material en las zonas alteradas.

HIDROFUGACIÓN: consiste en la aplicación de un producto que evita la entrada de la lluvia o de la humedad en los distintos materiales constructivos. Se introduce en forma líquida en el interior del material mediante impregnación o proyección. Es importante que los productos que se apliquen dejen transpirar al material y que no formen una película para evitar que se instale una barrera estanca que impediría la transpiración. Los hidrófugos que se utilizan son de la familia de las siliconas, pero como éstas son solubles al agua, la lluvia suele arrastrarlas definitivamente al cabo de unos tres años. Las técnicas han desarrollado un siloxano anhídrido no soluble en agua y existen productos alternativos, como la resina de poliestireno clorada, el caucho clorado, el metacrilato de metilo o el siloxano de metilo.

Es imprescindible conocer las fórmulas que componen los distintos productos para evitar incompatibilidades con los materiales y evitar las aplicaciones ineficaces. Por norma, la aplicación de los hidrofobizantes se realizará sólo después de resanar el material (consolidación). Es fundamental, sobre todo, que la superficie esté perfectamente limpia y libre de cualquier tipo de sustancias. En general todos los productos hidrofobizantes han de aplicarse con temperaturas que oscilan entre los 11 y 26 ºC y una vez aplicado el tratamiento conviene proteger la superficie entre cinco y doce horas.

SUCIEDAD: se reparará, normalmente, con una simple limpieza, natural, química o mecánica.

DEFORMACIONES: suelen ser las más complicadas de reparar y, por lo general, una vez anulada la causa, se dejan con el defecto permanente. Sólo en casos extraordinarios se puede proceder a corregirlas mediante esfuerzos mecánicos contrarios a los que las han originado, con el consiguiente peligro de nuevas lesiones, por lo que estos procedimientos suelen necesitar del complemento de nuevos elementos de esfuerzo. En los casos en que su eliminación sea imprescindible, se puede optar también por la demolición y sustitución del elemento.

GRIETAS: son uno de los casos en los que la corrección de la lesión sólo es posible mediante la demolición y reposición del elemento. En efecto, un elemento agrietado se ha convertido en dos elementos que, de algún modo, actúan independientemente ante nuevas acciones físicas o mecánicas, por lo que su unión hasta conseguir que vuelvan a ser un solo elemento es casi imposible. En cualquier caso, lo que nunca podría suponer una unión definitiva sería el atado parcial de las dos mitades mediante “grapas” o la unión superficial mediante “vendas”.

En el caso de obras de fábrica (sobre todo ladrillos), se puede pensar en una sustitución de los elementos deteriorados por otros nuevos y en un rejuntado profundo de todos los elementos afectados por la grieta, una vez estabilizada la deformación de origen.

FISURAS: presentan diversas variantes que exigen su estudio antes de la reparación. Así, las de acabados por elementos obligan a la demolición y sustitución de todos los afectados. Sin embargo las de acabados continuos, en algunos casos, pueden taparse mediante nuevos acabados superficiales, aunque lo más habitual suele ser su demolición y refacción.

DESPRENDIMIENTOS: obligan siempre a la demolición y recolocación de las unidades afectadas o a la demolición total y sustitución por un acabado diferente, en función de la intensidad y extensión de la lesión.

EROSIÓN MECÁNICA: seguirá el mismo proceso de reparación indicado para la física.

EFLORESCENCIAS: son, quizás, las de reparación más simple de su efecto y pasan por una limpieza similar a la indicada para las suciedades (natural o física, mecánica o química).

OXIDACIÓN: es de reparación también sencilla que consistirá en cepillado y añadido de una nueva protección.

CORROSIÓN: ocurrirá lo mismo que con la oxidación siempre que su efecto sea escaso y no afecte a la integridad de la pieza. En caso contrario habrá que sustituirla.

ORGANISMOS: se procede siempre por su eliminación y aplicación de productos repelentes. En el caso de los xilófagos, una vez eliminados, habrá que considerar la integridad del elemento y, por tanto, su sustitución.

EROSIÓN QUÍMICA: por último, es poco susceptible de actuación directa, sobre todo cuando se trata de agentes contaminantes de la atmósfera, habrá que recurrir a la protección del material o del elemento como actuación sobre la causa indirecta.

PROPUESTAS DE MANTENIMIENTO

FICHAS, RUTINAS Y PLANES DE MANTENIMIENTO

Toda propuesta de reparación de un proceso patológico, debe ir acompañada por una propuesta de mantenimiento, que estará en función del diagnóstico alcanzado, es decir, de sus causas, de su evolución y de la propuesta de reparación de causa y efecto.

Los aspectos más importantes que toda propuesta de mantenimiento debe contemplar son:

- **REVISIONES VISUALES PERIÓDICAS DE LOS ELEMENTOS LESIONADOS Y REPARADOS**, con objeto de comprobar su estado organoléptico, comprobando la posible aparición de nuevas lesiones y, en general, su integridad.

- **REPOSICIÓN PERIÓDICA DEL MATERIAL DE ACABADO**, que estará en función de su tipo y de su nivel de exposición, y, además, de la clase de ambiente en el que esté situado. Hay que partir de la base de que los materiales de acabado tienen una vida útil limitada.

- **LIMPIEZA PERIÓDICA DE SUPERFICIES Y ELEMENTOS DRENANTES**. No hay duda de que muchos procesos patológicos tienen su origen en la acumulación de partículas de suciedad. Asimismo, muchas humedades de filtración se originan como consecuencia de obstrucciones en canalones y bajantes.

Una vez conocidas las características fisicoquímicas de los elementos estructurales y su funcionamiento estático con la toma de datos, y aplicadas las medidas correctoras o protectoras indicadas en los puntos precedentes, debemos ahora plantear las medidas adecuadas de mantenimiento, a saber: capacidad resistente, integridad, forma y aspecto.

Estas acciones de mantenimiento estarán encaminadas a los dos tipos de actuaciones que hemos mencionado: la comprobación de su estado, y la protección y refuerzo.

De esta manera podemos analizar, en función del elemento constructivo y del material, las acciones a llevar a cabo y su periodicidad.

CIMENTACIONES. En el caso de las cimentaciones, deberemos asegurarnos de su integridad mecánica (roturas) frente a posibles agresiones de los componentes del suelo, así como su integridad química frente a posibles agresiones de los componentes del suelo, en especial, nivel freático, aparición de sulfatos, rotura de conductos de saneamiento, etc. La acción fundamental será pues, la observación periódica.

CONTENCIONES. Los procesos patológicos a vigilar son muy parecidos a los anteriores y sólo cabe añadir, en relación a su integridad mecánica, la posible deformación de los muros con aparición de alabeos y desplomes. Se debe realizar una observación periódica de, al menos: protección superior (albardillas), protección superficial general, si existía (revocos, pinturas, chapados, etc), y armaduras superficiales en las de hormigón armado (reflejo).

MUROS DE CARGA, PILASTRAS, ARCOS Y BÓVEDAS. En los de obra de fábrica habrá que vigilar, sobre todo, su integridad mecánica (deformaciones y roturas) por acciones de cargas, empujes, movimientos térmicos, así como su integridad fisicoquímica superficial ante acciones meteorológicas, mecánicas por el uso y químicas por contaminación ambiental. En el hormigón armado habrá que comprobar su corrosión. En general, además, hay que considerar el estado de protecciones superficiales existentes, como revocos, pinturas, chapados, etc, y la necesidad de su reposición.

PILARES Y VIGAS. Habrá que comprobar su integridad mecánica con observación periódica de posibles deformaciones y roturas (grietas y fisuras). En cuanto a su integridad fisicoquímica, conviene considerar el tipo de material, para el hormigón armado, comprobar el estado de las protecciones existentes y la necesidad de su reposición así como las posibles afecciones meteorológicas, mecánicas y químicas de contaminantes. En las estructuras metálicas, comprobación del estado de su protección antioxidante y la necesidad de su reposición. En las estructuras de madera, comprobación de su integridad biológica, con ausencia de organismos xilófagos y, en cualquier caso, la necesidad de renovar su protección superficial contra tales organismos.

FORJADOS Y LOSAS. En general, comprobación periódica de su integridad mecánica, con observación de posibles deformaciones (flechas) y roturas (grietas y fisuras) sobre todo en vano central y en zonas de apoyo.

ESTRUCTURAS TRIANGULADAS. Su integridad mecánica se comprobará no sólo en los elementos lineales, en función de su material, sino también en los nudos, ya que de ellos depende en gran manera su funcionamiento estructural. Así pues, deberemos recurrir a comprobar periódicamente el estado funcional de dichos nudos.

MEMBRANAS TENSADAS. Su integridad mecánica dependerá, también, de anclajes y nudos en general por lo que su comprobación porcentual periódica cobra importancia. Es fundamental para su estabilidad el que su tensión se mantenga para que no aparezcan arrugas (en telas) o deflaciones en general. Por ello, será imprescindible una comprobación periódica de su estado tensional, y, si es necesario, un retensado. En cuanto a su integridad fisicoquímica, sobre todo en los casos de telas, depende básicamente de su limpieza, por lo que ésta será obligada de un modo periódico, comprobando la inocuidad del producto que se use.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A la hora de establecer el plan de mantenimiento necesario para que las características funcionales permanezcan, se debe hacer referencia a: la integridad ante acciones exteriores e interiores, incluso el fuego; el aislamiento térmico; el aislamiento y acondicionamiento acústico; el acondicionamiento luminoso; la textura y el aspecto formal.

FACHADAS.

Dentro de las fachadas existen varios elementos:

- **ZÓCALO**. Si se trata de elementos pétreos o cerámicos, deberemos vigilar cada dos años las posibles lesiones y repararlas en su caso. Si se había aplicado algún tipo de sellante de siliconas convendría renovarlo a los diez años. Asimismo, la limpieza general con productos adecuados cada 10 o 15 años según nivel de contaminación ambiental.

- **PAÑO CIEGO**. Cada dos años, se observará la aparición de posibles lesiones mecánicas, físicas y químicas, procediendo a reparación en su caso. Se deberá proceder a la limpieza cada 10 o 15 años.

- **VENTANAS, ACRISTALAMIENTOS Y PROTECCIONES**. En general, cada 2 años comprobación de lesiones posibles y consiguiente reparación de: humedades de filtración; ensuciamiento por lavado diferencial; desprendimientos; erosiones físicas y químicas; eflorescencias; oxidaciones y corrosiones; organismos. Cada 5 años, se comprobarán y renovarán los sellados de juntas constructivas, se comprobarán los mecanismos en elementos practicables y la limpieza de plataformas horizontales y rincones en general. Cada 5 años en climas secos y cada 2 años en climas húmedos, se procederá al saneado, protección y pintura de elementos de acero.

- **BALCONES Y TERRAZAS**. Con carácter general, se comprobarán cada 2 años del conjunto de lesiones posibles y su consiguiente reparación. Cada 6 meses se comprobará el sistema de drenaje, con limpieza de sumideros. Cada 5 años en climas secos y cada 2 años en climas húmedos, saneado, protección y pintura de elementos de acero. Cada 5 años, limpieza de plataformas horizontales y rincones en general.

- **IMPOSTAS Y MOLDURAS**. Cada dos años observación de posibles lesiones y su consiguiente reparación. Cada 5 años, renovado de sellados elastómeros. Cada 5 años en climas secos y cada 2 años en climas húmedos, saneado, protección y pintura de elementos de acero. Cada 5 años, limpieza de plataformas horizontales y rincones.

CUBIERTAS

- **CUBIERTAS PLANAS**. Cada 2 años comprobación de las siguientes lesiones y su reparación: deformaciones y roturas de la estructura soporte, humedades de filtración, humedades de condensación, grietas y fisuras, organismos. Cada 6 meses limpieza general de la cubierta y específica de sumideros. Cada 10años, comprobación de juntas de dilatación y posible saneado y refacción.

- **CUBIERTAS INCLINADAS**. Cada 2 años se comprobarán las posibles lesiones y su consiguiente reparación (las mismas que en el apartado anterior). Cada 6 meses limpieza general de cubierta y específica de canalones y bajantes. Cada 5 años se comprobarán la integridad de cumbreras, limatesas, limahoyas, aleros.

- **LUCERNARIOS**. Cada 2 años se comprueba el estado de oxidación de la carpintería metálica por su cara interior y su saneado, protección y pintura.

ELEMENTO	MATERIAL	PERIODICIDAD	COMPROBACION	ACCION DE REPARACION	ACCION DE MANTENIMIENTO
Cimentación	Obra de fábrica Hormigón	5 años	Asientos	Recalces	
			Grietas	Recalces	
			Lavados (erosión química)	Recalces y posible impermeabilización	
Contención	Obra de fábrica	2 años	Deformaciones (desplomes y alabeos)	Refuerzo	
			Grietas	Refuerzo y juntas de retracción	
			Estado superficial (erosión física o química)	Saneado y protección	
			Estado de protecciones, incluso albardilla		
Contención	Hormigón Armado	2 años	Deformaciones (desplomes, alabeos)	Refuerzo	
			Grietas	Refuerzo juntas de retracción	
			Estado superficial (erosión física o química) Armaduras	Saneado y Protección	
			Estado de protecciones, incluso albardilla		Reposición
Muros de carga Pilastras Arcos y Bóvedas	Obra de fábrica	2 años	Deformaciones (desplomes, alabeos, pandeos, hundimientos)	Refuerzo	
			Roturas (grietas y fisuras)	Refuerzo	
			Erosión (mecánica, física y química)	Saneado y Protección	
			Estado de la protección existente		Reposición si es necesario
Muros de carga Pilastras Arcos y bóvedas	Hormigón armado	2 años	Deformaciones (desplomes, alabeos, pandeos, hundimientos)	Refuerzo	
			Roturas (grietas y fisuras)	Refuerzo	
			Erosión (mecánica, física y química)	Saneado y reparación	
			Estado de protección existente	Saneado y reparación	Reposición si es necesario
			Estado de armaduras		

PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

ELEMENTO	MATERIAL	PERIODICIDAD	COMPROBACION	ACCION DE REPARACION	ACCION DE MANTENIMIENTO
Pilares y vigas	Hormigón armado	2 años	Deformaciones (flechas, pandeos, alabeos)	Refuerzo	
			Roturas (grietas y fisuras)	Refuerzo	
			Erosión (mecánica, física y química)	Saneado y reparación	
			Estado de las armaduras	Saneado y reparación	
			Estado de la protección superficial	Reposición si es necesario	
Pilares y Vigas	Perfiles metálicos	5 años	Deformaciones (flechas, pandeos, alabeos)	Refuerzo o sustitución	
			Oxidación y corrosión		Limpieza y protección
Pilares y Vigas	Madera	5 años	Deformaciones (flechas, pandeos y alabeos)	Refuerzo o sustitución	
			Fendas	Refuerzo	Protección
			Organismos	Refuerzo o sustitución	Limpieza y protección
			Apoyos y nudos	Refuerzo o sustitución	
			Deformaciones (flechas y alabeos)	Refuerzo	
Forjados y losas	Viguetas y bovedillas	5 años	Erosión biológica en madera	Refuerzo o sustitución	Si vistas, limpieza y protección
			Corrosión de armaduras	Saneado y reparación Refuerzo o sustitución	
			Corrosión de viguetas metálicas	Refuerzo o sustitución	Si vistas, limpieza y protección

PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

TABIQUERÍAS Y ACABADOS

- **TABIQUES**. Cada 2 años se observarán las siguientes lesiones y su reparación: deformaciones, grietas y fisuras, humedades accidentales, humedades de condensación.

- **PUERTAS**. Cada 2 años comprobar: deformaciones, humedades en su parte inferior, desprendimiento de herrajes. Cada 6 meses aplicación de lubricantes. Si están pintadas, cada 2 a 5 años en locales públicos y, cada 5 a 10 años en privados, saneado, protección y pintura o barnizado.

- **SUELOS**. Cada 2 años se comprobarán los siguientes procesos patológicos y su reparación si procediera: erosión mecánica, erosión química, grietas y fisuras, desprendimientos, humedades capilares, humedades accidentales.

- **PAREDES**. Cada 2 años se comprobarán las siguientes lesiones y su consiguiente reparación: humedades de condensación, humedades accidentales, erosión mecánica, desprendimientos, fisuras, erosión química.

- **TECHOS**. Cada 2 años comprobación de las siguientes lesiones y su reparación: desprendimientos, humedades de condensación, humedades de filtración (en áticos), humedad accidental.

En definitiva, la propuesta de mantenimiento deberá comprender todas aquellas acciones destinadas a mantener la integridad de la unidad reparada, así como de los materiales y elementos que hayamos aportado para su reparación.

No obstante, poner en marcha un proceso planificado de mantenimiento no es tan fácil ni se realiza con la periodicidad necesaria, y eso se debe a una serie de razones de tipo técnico, social y económico.

RAZONES DE TIPO TÉCNICO. Se refieren, en primer lugar, a la falta de control facultativo adecuado, a través de necesarias revisiones periódicas, para posibilitar, en todo momento, el tratamiento para conseguir las adecuadas condiciones de mantenimiento del inmueble. En segundo lugar, a la deficiente o nula organización de este tipo de servicios de mantenimiento, con el consiguiente incremento progresivo en el deterioro de los edificios, a consecuencia de: la falta o deficiencia de personal específico al cuidado del inmueble y de la inadecuada y, en muchos casos, nula respuesta al deterioro incipiente, por defectos de preparación, organización y correcto asesoramiento facultativo, por parte de los propietarios y/o comunidades de vecinos.

RAZONES DE TIPO SOCIAL Y ECONÓMICO. En primer lugar, por la falta de toma de conciencia, por parte de los usuarios, de la importancia de una serie de problemas que, no suponiendo aparentemente un daño, pueden acarrear posteriormente muy serias consecuencias para el inmueble. En segundo lugar, por el insuficiente sentido de responsabilidad social ante el hecho de la verdadera comunidad de bienes, intereses y obligaciones que representa el edificio en copropiedad, y la consecuente necesidad de su correcta conservación y mantenimiento en términos de “conjunto edificado”. En tercer lugar, la insuficiente divulgación ciudadana en torno a definir las diversas facetas del mantenimiento y conservación del conjunto edificado como una responsabilidad social. En cuarto lugar, la desvirtuación de la idea del coste de mantenimiento, vigilancia y revisión periódica como algo que, aparentemente, se efectúa a fondo perdido, ya que parece resultar innecesario. En quinto lugar, la inadecuación y falta de rentabilidad efectiva de las reparaciones en último término efectuadas, debido, en la mayoría de los casos, al desconocimiento real de las diversas condiciones exigibles en cuanto a una correcta ejecución de las obras, desde un punto de vista objetivo y cualificado.

Finalmente, por su clara incidencia en el aspecto económico global del mantenimiento y conservación de edificios, es preciso resaltar el condicionante que supone el actual marco legislativo en materia de arrendamientos urbanos, ante una posible puesta en práctica de los programas, por métodos que tienden a implicar una mayor o menor selectividad de aplicación de las cargas correspondientes, a esto se le suma, la imposibilidad material de los propietarios, en algunos casos, para hacer frente a los gastos necesarios de conservación y mantenimiento, con el consiguiente inevitable deterioro que ello representa para el patrimonio edificado y sus lamentables consecuencias sobre las condiciones de vida de las áreas afectadas.

A la hora de redactar el plan de mantenimiento de un edificio, se tendrá en cuenta que deberá contar con los siguientes extremos:

ÁMBITO DEL PROGRAMA. Se incluirán las especificaciones descriptivas de las acciones incluidas en el programa, y duración de las mismas. Dichas acciones se consideran básicamente correctivas.

OBJETO DE LA INTERVENCIÓN. Se refiere al estado del edificio en el cual se va a desarrollar el Programa, a describir, mediante el reconocimiento correspondiente y la referencia a la Documentación Técnica disponible. En el caso de que las acciones previstas afecten a elementos o instalaciones cuyo mantenimiento se encuentra regulado por Normas que exijan la actuación de empresas habilitadas.

DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES. Comprende la relación de actuaciones a realizar, con la periodicidad correspondiente y, en su caso, análisis de la vida útil de los diversos elementos e instalaciones de ciclo de duración inferior a la vida útil del edificio.

ANÁLISIS ECONÓMICO. Abarca la cuantificación inicial, referida a períodos concretos (anuales preferentemente) de aplicación del programa, desglosando sus diversos conceptos, y previendo la posible revisión de precios a partir del período inicial. En el análisis debe incluirse el coste de la Dirección del Mantenimiento, teniendo en cuenta, en su caso, las Tarifas orientativas que puedan establecerse por los Colegios Profesionales.

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS

Los incendios afectan gravemente a los edificios produciendo no sólo las consecuencias más evidentes como la combustión, explosiones o hundimientos sino también algunas otras igualmente peligrosas pero menos llamativas, como la dilatación, deformación y rotura de determinadas estructuras que someten a elementos adyacentes a esfuerzos para los que no estaban diseñados. No siempre es posible verificar las razones de los incendios, pero en líneas generales están causados por deficiencias en la instalación eléctrica o en la calefacción. Una vez iniciado el incendio su propagación e intensidad dependen de la naturaleza de los materiales que conforman un edificio, de las corrientes de aire que provocan los huecos de escaleras, ascensores, ventanas, etc, de la ceniza que acumula el calor y aviva la llama y de la transmisión del calor.

Los materiales, según su capacidad de resistencia al fuego se pueden dividir en tres categorías:

- ***INFLAMABLES***. Son aquellos que continuarán quemándose aunque se aleje la fuente de calor, como el papel, la paja, etc.

- ***DIFÍCILMENTE COMBUSTIBLES.*** Son aquellos que se apagarán por sí solos después de un tiempo una vez haya desaparecido la fuente de calor, como la madera de sección gruesa.

- ***INCOMBUSTIBLES***. Son los que, aunque alcancen una elevada temperatura, no se queman, como la piedra, el cristal, el acero, etc. Sin embargo, estos materiales tienen muy poca resistencia al fuego y pierden sus propiedades bajo la acción del calor. La resistencia al fuego admite diferentes gradaciones pero ha sido medida según un escala de referencia y definida oficialmente.

De todo esto se deduce que un edificio ha de estar siempre concebido de manera que obstaculice la transmisión de fuego. Existen algunos tratamientos o mecanismos que aseguran una protección del edificio:

- **SECCIONADO O COMPARTIMENTADO DEL EDIFICIO**. Consiste, en horizontal, en la interposición de muros cortafuegos y de cierres resistentes a lo largo de los recorridos de evacuación, y en vertical, en la protección de las comunicaciones verticales, como escaleras y ascensores y en la adopción de soleras resistentes al fuego.

ELEMENTO	MATERIAL	PERIODICIDAD	COMPROBACION	ACCION DE REPARACION	ACCION DE MANTENIMIENTO
Forjados y losas	Losas de hormigón armado	5 años	Deformaciones (flechas y alabeos)	Refuerzo	Limpieza y protección
			Corrosión de armaduras	Refuerzo o sustitución	
			Grietas y fisuras	Saneado o inyección Refuerzo	
Estructuras reticuladas	Perfiles metálicos	5 años	Deformaciones (pandeo-alabeo)	Refuerzo o sustitución	Limpieza y protección
			Oxidación y corrosión		
			Funcionamiento de nudos (20%)	Limpieza y repaso	
Estructuras reticuladas	Madera	5 años	Deformaciones (pandeo-alabeo)	Refuerzo o sustitución	
			Fendas	Refuerzo o sustitución	Protección
			Organismos		Limpieza y protección
			Nudos (20 %)	Refuerzo o sustitución	Limpieza y repaso
Membranas tensadas	Mallas de cables	5 años	Corrosión	Sustitución	Limpieza y protección
			Anclajes (100 %) y nudos (20 %)	Sustitución	Limpieza y repaso
Membranas tensada	Telas	2 años	Anclajes (100 %)	Sustitución	Limpieza y repaso
			Cables (tensión)		Retensado
			Tela (roturas)	Sustitución	Repaso
			Suciedad		Limpieza

PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

- **DISPOSITIVOS APTOS PARA REGULAR LA SALIDA DE LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN**. Consiste en crear aberturas que permitan la salida de los gases, contrarrestando la expansión de los incendios y neutralizando el tiro natural que constituyen las escaleras y ascensores.

- **SEÑALIZACIÓN AUTOMÁTICA**. Nos permite advertir los incendios al principio de su manifestación limitando así sus efectos.

- **TRATAMIENTO ANTIFUEGO Y REVESTIMIENTOS PROTECTORES**. En general, este tratamiento no evita que el material combustible se queme, sino simplemente modifica su reacción al fuego evitando que el material se convierta en un elemento propagador. El tratamiento más utilizado, tanto para la madera como para los tejidos y el papel, consiste en impregnarlos con aditivos químicos resistentes al fuego como pinturas, películas, revoques o revestimientos líquidos incombustibles.

Mantenimiento periódico de todas las instalaciones. Consta de tres facetas distintas. En la primera se revisarán los detectores y aparatos de extinción automática y demás efectivos y se hará un control del plan general de emergencia, incluyendo personal, extintores y demás elementos. La segunda faceta es el mantenimiento de los detectores, limpieza, arreglos, recolocación, etc. Y finalmente, se debe revisar si se ha añadido al edificio cualquier elemento que pueda obstaculizar la evacuación o que no esté protegido, por sus características, por el tipo de detector que protege la zona y haciéndolo completamente ineficaz.

Estudiando detenidamente estos factores pueden determinarse las medidas especiales de protección necesarias. Estas medidas constituirán el llamado plan de emergencia y que estará conformado por cuatro etapas consecutivas en el tiempo:

La primera, consiste en la detención del fuego, ya sea de modo automático mediante detectores o por medios humanos. Debido a que el crecimiento y desarrollo de un incendio suele ser de tipo exponencial, es imprescindible que esta etapa sea lo mas corta posible.

La segunda etapa es de comunicación mediante un sistema de alarma. Es recomendable no utilizar una alarma general puesto que puede provocar situaciones de pánico y en definitiva de entorpecimiento.

La tercera etapa es la de retardo. En principio, esta etapa puede parecer un contrasentido cuando anteriormente hemos comentado que el desarrollo de un incendio es exponencial. Sin embargo, esta etapa está motivada para evaluar el riesgo y decidir si la extinción se realizará manualmente o se dejará que actúe la instalación automática de extinción, en caso de haberla, también se procederá a la evacuación del personal existente, si ha lugar, antes de proceder al cierre de puertas cortafuegos, especialmente si la extinción se efectúa con anhídrido carbónico.

La última etapa es la etapa de la extinción, es decir, la acción directa contra el fuego. Todas las etapas anteriores deben ser lo mas cortas posibles con el objeto de que al llegar a esta última el incendio se apague cuando los daños producidos sean los mínimos.

La eficacia del plan de emergencia viene condicionada a la eficacia de cada una de sus etapas, pues si falla una sola de ellas la acción de las demás será totalmente inútil.

Un incendio no sólo supone un peligro para el edificio donde se sitúa su origen , si no también para todos los de su entorno al exponerlos al calor por radiación y a corrientes de convección con arrastre por el aire de tizones encendidos. Una de estas fuentes puede ser suficiente a veces para producir la ignición en algún punto de una edificación próxima. De todo esto se deduce que un edificio también debe estar concebido y construido de forma que no facilite la transmisión del fuego a los edificios vecinos, y preparado para evitar verse afectado por un incendio en las proximidades.

La medida más apropiada a adoptarse en este caso es la de la compartimentación entre edificios, es decir, hacer que la totalidad del edificio constituya un único sector de incendio con respecto a los colindantes. Las paredes corta fuegos que con tanta profusión se pusieron en Europa en los siglos XVII y XVIII, y que prácticamente habían caído en desuso en el siglo actual, vuelven a cobrar plena vigencia, aunque sea con un tratamiento estético diferente de aquellos.

LEGISLACIÓN NACIONAL Y AUTONÓMICA

La acción urbanística de los ayuntamientos ha impulsado a dictar normas encaminadas a la conservación de la propiedad. Sobre el propietario pesa directamente dicha conservación y el mantenimiento de la propiedad en un estado tal que impida que cause perjuicios a vidas y haciendas, realizando al efecto las obras y medidas pertinentes.

La legislación urbanística, desde la Ley de Régimen del Suelo y Ordenación Urbana de 12 de mayo de 1956, recopilando lo que era tradición en anteriores legislaciones, disponía la obligación de los propietarios de mantener las edificaciones en condiciones de seguridad, salubridad y ornatos públicos, dando facultades a los ayuntamientos, y en su caso, a los demás organismos competentes, para ordenar, de oficio o a instancia de cualquier interesado, la ejecución de las obras necesarias para conservar aquellas condiciones.

Esta actitud del legislador daba pie para que las ordenanzas municipales y las normas urbanísticas reflejasen todo lo comentado, cuya regulación se produjo en el texto refundido aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/92, de 26 de junio, en cuyo articulado se consagraba la obligación de los propietarios de todos los terrenos y construcciones a destinarlos al uso establecido por el planeamiento urbanístico y mantenerlos en las condiciones indicadas; y se recogía la participación económica de las entidades públicas cuando se rebasase el deber de conservación exigible a los propietarios, para obtener mejoras de interés común. Además, en cuanto a la declaración de ruina, determinaba una limitación indirecta del deber de conservación, extensible a los tres supuestos que en el articulado del mencionado decreto se contemplan.

El texto refundido ha sido derogado parcialmente por la nueva Ley del Suelo (6/98), tras haber sido anulado en gran parte por sentencias del Tribunal Constitucional y del Tribunal Supremo, pero sigue aplicándose en varias comunidades autónomas, en defecto de normativa propia. La citada Ley del Suelo 6/98, de 13 de abril, ha incluido el deber de mantenimiento de terrenos y construcciones en condiciones de seguridad, salubridad y ornato público a cargo de sus propietarios.

Analizando la legislación mencionada pueden obtenerse las siguientes definiciones de las condiciones que determinan las obligaciones antes descritas:

- **CONDICIONES DE SEGURIDAD**. Las edificaciones deberán mantenerse, en sus cerramientos y cubiertas, estancas al paso del agua, contar con protección de su estructura frente a la acción del fuego, y mantener en buen estado los elementos de protección contra caídas.

- **CONDICIONES DE SALUBRIDAD**. Deberán mantenerse el buen estado de las redes de servicio, instalaciones sanitarias, condiciones de ventilación e iluminación, de modo que se garantice su aptitud para el uso a que están destinadas y su régimen de utilización. Conservarán en buen funcionamiento los elementos de reducción y control de emisiones de humos y partículas.

- **CONDICIONES DE ORNATO**. La fachada de las construcciones deberá mantenerse adecentada, mediante limpieza, pintura, reparación o reposición de sus materiales de revestimiento.

En cuanto a las diferentes obras que se pueden realizar, se extraen de la normativa mencionada las siguientes:

- **OBRAS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**. Son aquellas cuya finalidad es la de mantener el edificio en correctas condiciones de salubridad y ornato, sin alterar su estructura y distribución. Se incluye, entre otras, el cuidado y afianzamiento de cornisas y voladizos, la limpieza o reposición de canalones o bajantes, los revocos de fachadas, la pintura, la reparación de cubiertas y el saneamiento de conducciones.

- **OBRAS DE RESTAURACIÓN**. Restitución de un edificio existente o de parte del mismo a sus condiciones o estado original. Serían las consideradas obras de consolidación, demolición parcial o acondicionamiento, sustitución puntual de elementos estructurales e instalaciones.

- **OBRAS DE CONSOLIDACIÓN O REPARACIÓN**. Afianzamiento, refuerzo o sustitución de elementos dañados, para asegurar la estabilidad del edificio y el mantenimiento de sus condiciones básicas de uso, por posibles alteraciones menores de su estructura o distribución.

- **OBRAS DE ACONDICIONAMIENTO**. Son las destinadas a mejorar las condiciones de habitabilidad de un edificio, mediante la sustitución o modernización de sus instalaciones, y también, la redistribución de su espacio interior, manteniendo las características morfológicas.

- **OBRAS DE REESTRUCTURACIÓN**. Son las que afectan a los elementos estructurales de los edificios, causando modificaciones en su morfología.

Por otra parte, la Ley 13/1995 de 18 de mayo de Contratos de las Administraciones Públicas, expresa que el sentido de la ***reforma*** abarca el conjunto de obras de ampliación, mejora, modernización, adaptación, adecuación o refuerzo de un bien inmueble ya existente, recogiendo en su articulado los siguientes extremos: "Se consideran como obras de reparación las necesarias para enmendar un menoscabo producido en un bien inmueble por causas fortuitas o accidentales. Cuando afecten fundamentalmente a la estructura resistente tendrán la calificación de gran reparación, y, en caso contrario, de reparación simple. Si el menoscabo se produce en el tiempo por el natural uso de bien, las obras necesarias para su enmienda tendrán el carácter de conservación".

En general, las medidas legislativas desarrollan frecuente y simultáneamente, previsiones tanto aplicables al mantenimiento y conservación de carácter ordinario como a la rehabilitación.

LEGISLACIÓN SOBRE CONTRATACIÓN DE LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS

En la Ley 13/1995 de Contratos de las Administraciones Públicas se define el contrato de obras, entre las diferentes administraciones y los empresarios, como aquel cuyo objeto sea la conservación de bienes que tengan naturaleza de inmuebles.

Las obras de mera conservación y mantenimiento, no susceptibles de proyecto previo, podrán ser ejecutados por la propia administración mediante sus propios servicios o a través de empresarios particulares, éstos tendrán carácter de contratos administrativos, pero no constituirán contrato de obra.

Estos contratos de mantenimiento, conservación, limpieza y reparación de bienes, tendrán el carácter de contratos de servicio y podrán efectuarse con personas físicas o jurídicas cuya finalidad o actividad tengan relación directa con el objeto del contrato, y clasificación de capacidad previa, solvencia económica, financiera y técnica.

La actividad de las administraciones públicas se amplía en cuanto a la legislación protectora de los bienes declarados de interés cultural que forman parte de Patrimonio Histórico. Estos bienes deberán ser conservados, mantenidos y custodiados por sus propietarios. La administración, ante una defectuosa conservación o su no ejercicio de aquélla, podrá ordenar la ejecución subsidiaria, conceder ayudas económicas y ejecutar las obras de modo directo, e incluso llegar a la expropiación forzosa por causa de interés social.

La legislación vigente recoge las medidas de fomento y financiación para la realización de las obras de conservación, mantenimiento y rehabilitación, que se recogen en la Ley 16/1985 de 5 de junio, del Patrimonio Histórico Español. Junto a esta legislación básica se señalan las siguientes:

- **ORDEN DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL** sobre Instrucciones para la aprobación de proyectos de obras, en poblaciones declaradas "Conjunto Histórico-Artístico".

- **DECRETO 917/67** de Normas para la Publicidad Exterior**.**

- **DECRETO 798/71 DE 1971**, sobre Regulación del uso de materiales y técnicas tradicionales en obras de restauración.

- **REAL DECRETO 2555/1982 DE 24 DE SEPTIEMBRE**, por el que se arbitran medidas para la rehabilitación integrada del patrimonio arquitectónico en centros urbanos, núcleos rurales y conjuntos histórico-artísticos.

- **ORDEN DE 24 DE NOVIEMBRE DE 1982** de desarrollo de la anterior disposición.

LEGISLACIÓN CIVIL

El deber de conservación no lo contempla solamente la legislación urbanística, sino también la legislación civil, y así, en ella se dispone que si un edificio, pared, columna o cualquier otra construcción amenazase ruina, el propietario estará obligado a su demolición, o a ejecutar las obras necesarias para evitar su caída, así como la responsabilidad del propietario en todo lo referente a las reparaciones del inmueble.

Ley de Propiedad Horizontal I.

La Ley 49/1960, de 21 de julio sobre la Propiedad Horizontal, modifica los artículos 396 y 401 del Código Civil, estableciendo el régimen de propiedad por pisos, disponiendo:

- **QUE EL PROPIETARIO DE CADA PISO PODRÁ MODIFICAR LOS ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS**, instalaciones o servicios de aquél cuando no menoscabe o altere la seguridad del edificio, su estructura general, su estado exterior, o perjudique los derechos de otro propietario, debiendo dar cuenta de tales obras a quien lo represente a la Comunidad.

- **EN EL RESTO DEL INMUEBLE NO PODRÁ REALIZAR ALTERACIÓN ALGUNA** y si advierte la necesidad de reparaciones urgentes, deberá comunicarlo sin dilación al administrador.

- **ENTRE LAS OBLIGACIONES DE CADA PROPIETARIO** se establece la de mantener en buen estado de conservación su propio edificio e instalaciones privativas.

- **EL ADMINISTRADOR DEBERÁ VELAR POR EL BUEN RÉGIMEN DE LA CASA**, y atender a su conservación, disponiendo las reparaciones ordinarias.

Arrendamientos urbanos

La legislación vigente sobre Arrendamientos Urbanos se contempla en la Ley 29/1994 de 24 de noviembre, y contiene los siguientes contratos:

CONTRATOS DE ARRENDAMIENTOS DE VIVIENDAS Y DE LOCALES DE NEGOCIOS CELEBRADOS CON ANTERIORIDAD AL 9 DE MAYO DE 1985. Aquellos que subsistan con posterioridad al 1 de enero de 1995 continuarán rigiéndose por las normas relativas al contrato de inquilinato del texto refundido de la Ley de Arrendamientos Urbanos, LAU, aprobado por Decreto 4104/1964 de 24 de diciembre, salvo la siguiente modificación con respecto a las obras de mantenimiento. El arrendador podrá repercutir en el arrendatario el importe de las obras de reparación necesarias para mantener la vivienda en estado de servir para el uso convenido, siempre que:

- **LA REPARACIÓN HAYA SIDO SOLICITADA** por el arrendatario o acordada por resolución judicial o administrativa firme.

- **DEL CAPITAL INVERTIDO** en los gastos realizados, se deducirán los auxilios o ayudas públicas percibidos por el propietario.

- **AL CAPITAL INVERTIDO** se le sumará el importe legal del dinero correspondiente a dicho capital, calculado para un período de cinco años.

- **EL ARRENDATARIO ABONARÁ** anualmente un importe equivalente al 10 % de la cantidad referida en la regla anterior, hasta su completo pago.

Contratos celebrados a partir del 9 de mayo de 1985 y que subsistan con posterioridad al 1 de enero de 1995. Sse establecen que las reparaciones necesarias para conservar la vivienda o local de negocio arrendado serán de cargo del arrendador.

Contratos celebrados con posterioridad al 1 de enero de 1995. El arrendador está obligado a realizar, sin derecho a elevar por ello la renta, todas las reparaciones que sean necesarias para conservar la vivienda o local en las condiciones de habitabilidad para servir al uso convenido, salvo cuando la reparación sea imputable al arrendatario o por las personas de su casa.

LEGISLACIÓN PARA LA DEFENSA DE CONSUMIDORES Y USUARIOS

La Ley 26/1984 también se ocupa de la conservación de los inmuebles. Está orientada hacia la defensa de los adquirentes por compraventa y a los arrendatarios de viviendas. El productor deberá entregar una garantía que, formalizada por escrito, expresará necesariamente:

- **OBJETO SOBRE EL QUE RECAIGA LA GARANTÍA**
- **GARANTE**
- **TITULAR DE LA GARANTÍA**
- **PLAZO DE DURACIÓN DE LA GARANTÍA**

Durante el período de vigencia de la garantía, el titular de la misma tendrá derecho como mínimo a la reparación totalmente gratuita de los vicios o defectos originarios y de los daños y perjuicios por ellos ocasionados.

En los supuestos en que la reparación efectuada no fuera satisfactoria y el objeto no revistiese las condiciones óptimas para cumplir el uso a que estuviese destinado, el titular de la garantía tendrá derecho a la sustitución del objeto adquirido por otro de idénticas características o a la devolución del precio pagado.

LEGISLACIÓN ESPECÍFICA EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN. NORMATIVA TÉCNICA

Normas tecnológicas de la edificación “NTE”. Dichas normas han constituido el mayor esfuerzo realizado hasta la fecha para disponer de un marco normativo integral de todo el proceso edificatorio.

Dichas normas contemplan el desarrollo técnico de los proyectos, ejecución y control de las obras, así como los trabajos de mantenimiento y seguridad.

MARCO NORMATIVO SOBRE INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Norma básica de la Edificación de condiciones de protección contra incendios NBE-CPI 96. Esta norma sustituye a la NBE-CPI 91 y constituye un texto refundido que incorpora tanto el conjunto de las modificaciones realizadas a la NBE-CPI 91, como al contenido del anejo C “condiciones particulares para uso comercial aprobado por el Real Decreto 1230/1993, de 23 de Julio. El texto refundido se ha ordenado con el objeto de hacer más cómoda su lectura integrando las condiciones particulares para cada uso que hasta ahora figuraban en una serie de anejos.

Reglamento de instalaciones de Protección contra incendios RIPCI 93. El Real Decreto 1942/1993, de 5 de Noviembre aprobó el Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios RIPCI 93 cuya entrada en vigor se produjo el 15 de marzo de 1994. Sus exigencias se aplican a as instalaciones nuevas y únicamente al mantenimiento de las existentes.

Orden de 16 Abril de 1998 sobre normas de procedimiento y desarrollo del RD 1942/1993, y por la cual se revisa el anexo 1 y los apéndices del mismo, vigente a partir del 28 de julio de 1998.

BIBLIOGRAFÍA

Algunes accions físiques i químiques sobre materials de construció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 319. Barcelona, 1979.*

Conceptos y patología en la edificación. *Manuel Muñoz Hidalgo. Manuel Muñoz Hidalgo. Sevilla, 1988.*

Curso de diseño, construcción y patología de los forjados. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1999.*

Curso de patología. *Tomo 1. AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de protección contra incendios en la edificación. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de Rehabilitación nº5. La estructura. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

El mantenimiento de los edificios. *Papers Sert. Escola Sert. U.P.C. Barcelona.*

Expertos en mantenimiento y conservación de edificaciones. *AA.VV. COAM. Madrid, 1987.*

Iniciación a las restauraciones pétreas. *Doménico Luis. Caja General de Ahorros de Granada. Granada, 1991.*

La rehabilitación de edificios urbanos. *A. Baglioni-G. Guarnerio. Gustavo Gili. Barcelona. 1988.*

Manual de mantenimiento de edificios. *AA.VV. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.*

Restauración de edificios monumentales. *CEDEX. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas, Inspección y Medio Ambiente. Madrid, 1994.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 2: Metodología de la restauración y de la rehabilitación. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

Informes de la Construcción Nº 454. *Recomendaciones técnicas para la reducción de patologías en el terrazo Bautista Carrascosa-Martín de la Morena-Mieres Royo. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Materiales de Construcción Nº 235. *Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Grossi-Esbert. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

Materiales de Construcción Nº 259. *La torre inclinada de Pisa. Estructuras, materiales de construcción e intervenciones de refuerz. Veniale. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

.

Materiales de Construcción Nº 260. *Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción. Rincón-Romero. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Hormigón Preparado Nº 31. *Refuerzo de estructuras con materiales compuestos con fibra de carbono. Sistema SIKA CARBODUR. Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.*

Hormigón y Acero Nº 210. *Refuerzo de estructuras de hormigón con materiales compuestos con fibras de carbono. Asociación Técnica Española del Pretensado Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.*

Cuadernos INTEMAC Nº5. *Tecnología moderna de durabilidad. INTEMAC.*

Cuadernos INTEMAC Nº30. *Estrucutras dañadas por corrosión.*

Cuadernos INTEMAC Nº38.



CONCEPTOS GENERALES Y FUNDAMENTOS

CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LOS MATERIALES

INTRODUCCIÓN.....81
CAUSAS FÍSICAS.....87
CAUSAS MECÁNICAS.....131
CAUSAS QUÍMICAS.....163

CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LOS MATERIALES

INTRODUCCIÓN 81

FACTORES INTRÍNSECOS 81

FACTORES DEBIDOS A EXTRACCIÓN

FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN 82

FACTORES EXTRÍNSECOS 84

CAUSAS FÍSICAS 87

HUMEDADES 87

DEFINICIONES

TIPOLOGÍA DE LAS HUMEDADES

de obra, capilar, de filtración,

de condensación, accidental 106

EROSIONES

TIPOLOGÍA DE LAS EROSIONES 111

PROCESOS BIOFÍSICOS 114

SUCIEDAD

FACTORES QUE INTERVIENEN

partículas contaminantes, viento,

agua, porosidad y textura superficial

de la fachada, geometría de la

fachada, color

TIPOLOGÍA DE LAS SUCIEDADES

ensuciamiento por depósito,

ensuciamiento por lavado diferencial

CAUSAS MECÁNICAS 131

DEFORMACIONES 131

deformaciones mecánicas,

deformaciones por movimientos

generalizados

GRIETAS Y FISURAS 135

según material,

según la causa

DESPRENDIMIENTOS 146

TIPOS DE ACABADO

TIPOLOGÍA DE LOS DESPRENDIMIENTOS

según la causa,

según el sistema

EROSIÓN MECÁNICA 159

CAUSAS QUÍMICAS 163

EFLORESCENCIAS 163

TIPOLOGÍA DE LAS EFLORESCENCIAS

SALES EFLORESCIBLES

MATERIALES Y ELEMENTOS

CONSTRUCTIVOS EFLORESCIBLES

ORIGEN DE LAS SALES

OXIDACIÓN Y CORROSIÓN 177

TIPOLOGÍAS DE LA CORROSIÓN

por oxidación, por par galvánico,

por aireación diferencial,

intergranular, por inmersión

EROSIÓN QUÍMICA 182

PROCESOS BIOQUÍMICOS 186

BIBLIOGRAFÍA 189

INTRODUCCIÓN

En este capítulo, así como en otras partes de este libro, se analizarán detenidamente las diferentes causas de alteración de la durabilidad de los materiales, pero a modo de introducción es conveniente describir breve y globalmente los principales factores que provocan esa alteración.

FACTORES INTRÍNSECOS

Los materiales constructivos son elementos a los que les atribuimos ciertas cualidades, como pueden ser la resistencia, el aislamiento, la calidad, el color, etc.

Aunque la mayor parte de las veces la degradación de un material se debe a factores externos, no son pocos los casos en que las causas de la degradación están vinculadas principalmente a las cualidades propias del material. En general, estas cualidades suelen dividirse en:

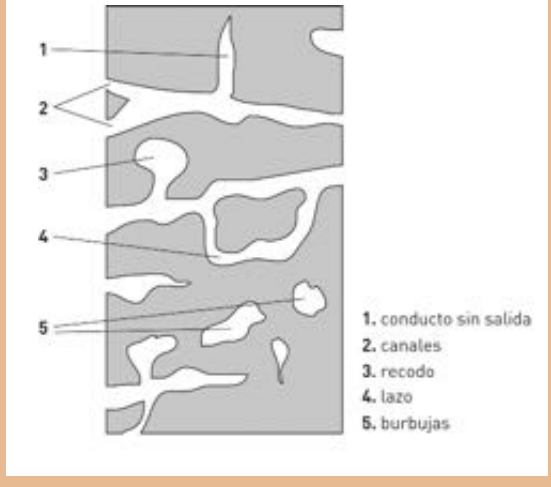
- ***ESENCIALES***: son las que posee el material en todo momento; por ser propias del mismo suelen llamarse ***PROPIEDADES*** y entre ellas están, por ejemplo, la composición química del material, su estructura cristalina, la forma, etc.

- ***CIRCUNSTANCIALES***: sólo se manifiestan ante estímulos externos. Puesto que definen el 'comportamiento', suelen denominarse ***CARACTERÍSTICAS*** y algunas son la resistencia mecánica o al fuego y la durabilidad, definida precisamente como la cualidad de un material de conservar un comportamiento y una apariencia satisfactorios ante los agentes generadores de alteraciones.

Es bien sabido que la materia se caracteriza por tener masa, es decir que ocupa un espacio, tiene un volumen y necesita una fuerza para moverse.

También sabemos que está compuesta por unas unidades estructurales (átomos, moléculas o iones) unidas entre ellas por unas tensiones o fuerzas, la intensidad de las cuales determina que la materia pueda manifestarse en tres estados: sólido, líquido o gaseoso. Evidentemente, cuando hablamos de materiales constructivos estamos hablando de materia en estado sólido, lo cual significa que, en condiciones normales, mantienen el volumen y la forma que les son propios.

Esto se debe a que las unidades estructurales que acabamos de mencionar permanecen dentro de sus límites y relativamente inmóviles. Sin embargo, existen una serie de fuerzas exteriores, como por ejemplo la temperatura y la presión, que pueden llegar a mover o alterar las unidades estructurales internas del material y, por tanto, el volumen y la forma del mismo. Según el grado de resistencia que ofrezcan a esas fuerzas exteriores que tienden a mover sus unidades internas, los materiales pueden clasificarse en elásticos, plásticos y frágiles.



Esquema de la porosidad de un material donde se ven los distintos poros y conductos.

- **ELÁSTICOS**: son los que después de haberse deformado por la acción de una fuerza exterior, recuperan su forma y volumen cuando la fuerza desaparece.

  Sin embargo, existe un límite en la intensidad de la fuerza que si se sobrepasa provoca que el material no recupere su forma y su volumen originales, sino que adquiera una deformación permanente. El acero es un ejemplo de material elástico.

- **PLÁSTICOS**: son los que conservan indefinidamente las deformaciones provocadas por la acción de una fuerza exterior. Los materiales elásticos que han sufrido la acción de una fuerza superior al límite al que nos hemos referido en el apartado anterior, se convierten en plásticos. La arcilla húmeda es un material plástico.

- **FRÁGILES**: cuando sufren la acción de una fuerza exterior no se convierten en plásticos sino que se rompen. El vidrio es un material frágil. En algunos casos, la fragilidad de un material puede aumentar a causa del uso o de la exposición al ambiente exterior. Es lo que sucede con el fibrocemento.

POROSIDAD: de un material, es decir los agujeros o espacios llenos de aire que contiene en su interior, resulta muy importante en la construcción, ya que es una característica fundamental en relación al comportamiento de cada material, sobre todo por lo que respecta a la acción del agua.

Un material poroso es el que tiene muchos espacios vacíos en su interior, mientras que uno no poroso contiene muy pocos.

Los primeros absorben y permiten la penetración del agua con relativa facilidad, mientras que, en general, los segundos, si no tienen defectos, son impermeables al agua.

Sin embargo, el comportamiento de los materiales porosos puede ser muy distinto en función de la disposición y la forma de los poros interiores.

Por ejemplo, los de la madera tienen una forma bastante regular y suelen estar dispuestos como si fuesen una estructura celular, mientras que la céramica y el hormigón contienen poros irregulares tanto en lo que se refiere a la forma, a la medida y al número. La formación de poros en el interior de un material puede tener orígenes muy diversos, pero en general está asociada con el proceso de secado del agua necesaria para su elaboración (para fabricar cerámica, por ejemplo, la arcilla cruda necesita una cantidad variable de agua).

FACTORES DEBIDOS A EXTRACCIÓN, FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN

Independientemente de las cualidades de un material, la durabilidad de éste puede verse alterada por errores cometidos durante las distintas etapas del proceso de fabricación del material, así como durante la ejecución de la obra en la que se va a utilizar.

De manera sucinta, este tipo de factores de alteración de la durabilidad de los materiales puede clasificarse en cuatro grupos: derivados de la fabricación del material, del proyecto constructivo, de la ejecución del mismo y del mantenimiento.

FALLOS EN LA FABRICACIÓN DEL MATERIAL

Cualquier material o elemento constructivo debe llegar a la obra en su estado “correcto”, es decir de manera que posea todas las características físicas, mecánicas y químicas que se le presuponen, ya que éstas serán absolutamente necesarias para que cumpla perfectamente la misión que se le va a asignar en el edificio.

De no ser así, o sea si por algún defecto de fabricación alguna de las características propias del material no es “perfecta”, resultará mucho más fácil que aparezca alguna lesión o fallo y que, por tanto, la durabilidad del material sea menor.

Los posibles defectos de fabricación son muy numerosos y no tiene sentido realizar aquí una exhaustiva clasificación. A modo de ejemplo, bastará exponer muy brevemente algunos de los errores que se pueden cometer durante la fabricación del ladrillo de arcilla cocida:

PREPARACIÓN Y MOLDEO:

- **CALICHE**: La presencia de óxido cálcico en la masa arcillosa hace que, al hidratarse, se produzca un aumento de volumen. Cuando el contenido de cal es alto, el ladrillo puede quedar gravemente dañado. Este fenómeno es consecuencia de una falta de molienda fina de la materia prima y se manifiesta a los 3 o 4 meses de la fabricación del material.

- **DEFORMACIONES**: en general, se producen por la existencia de un desequilibrio en la boquilla de la máquina de extrusión, por un desajuste del carro cortador o por un contenido demasiado bajo de arena.

- **EXFOLIACIONES Y LAMINACIONES**: pueden originarse por utilizar arcillas muy plásticas.

PROCESO DE SECADO:

- **FISURACIONES**: si el secado ha sido demasiado rápido o si los ladrillos se introducen en el horno antes de que se hayan secado totalmente.

- **DEFORMACIONES**: si el proceso de secado no es uniforme en las distintas partes del ladrillo.

COCCIÓN:

- **RESISTENCIA MECÁNICA INADECUADA**: se produce si la cocción del ladrillo no se realiza a la temperatura adecuada o si, a dicha temperatura, no se cuece el tiempo suficiente.

FALLOS DE PROYECTO

Algunos errores cometidos durante la realización del proyecto del edificio también pueden afectar a la durabilidad de los materiales. Los más habituales son los siguientes:

- **ERRÓNEA ELECCIÓN DEL MATERIAL:** sus características físicas, mecánicas y químicas no son las adecuadas para la función que se le encomienda.

- **TÉCNICA CONSTRUCTIVA INADECUADA.** Si por su función constructiva, un material es obligado a realizar esfuerzos superiores a los que sea capaz de soportar, se provocará la aparición de deformaciones, fisuras o grietas.

- **DISEÑO DEFECTUOSO DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO,** que, por tanto, carecerá de la forma o la dimensión necesaria. Es frecuente, por ejemplo, la aparición de grietas en el paño ciego entre el dintel de un balcón y el vuelo del hueco superior debidas a que el dintel ha sido diseñado y construido con poco canto.

- **INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES**. En ocasiones, el deterioro de un material se debe a su encuentro con otro material debido a que las propiedades y características de ambos, al entrar en contacto, provocan reacciones nocivas. Es algo que debe tenerse en cuenta en el proyecto del edificio.

FALLOS DE EJECUCIÓN

Considerando que no se hayan cometido incorrecciones en el proyecto de un edificio, los errores de ejecución son los que se producen durante la construcción del mismo. Normalmente consistirán en la falta de cumplimiento de las condiciones técnicas y las especificaciones indicadas en el proyecto o de las normas aceptadas como de “buena práctica”.

Los errores de ejecución también pueden ser muy numerosos, por lo que sólo mencionaremos aquí algunos de los más habituales: defectuosa colocación de armaduras en pilares y vigas, mal vibrado y curado de hormigones y morteros, alicatado de paramentos exteriores sin juntas de retracción, unión de tablero horizontal y peto de terrazas con la membrana impermeable o el uso de morteros muy ricos para revocos.

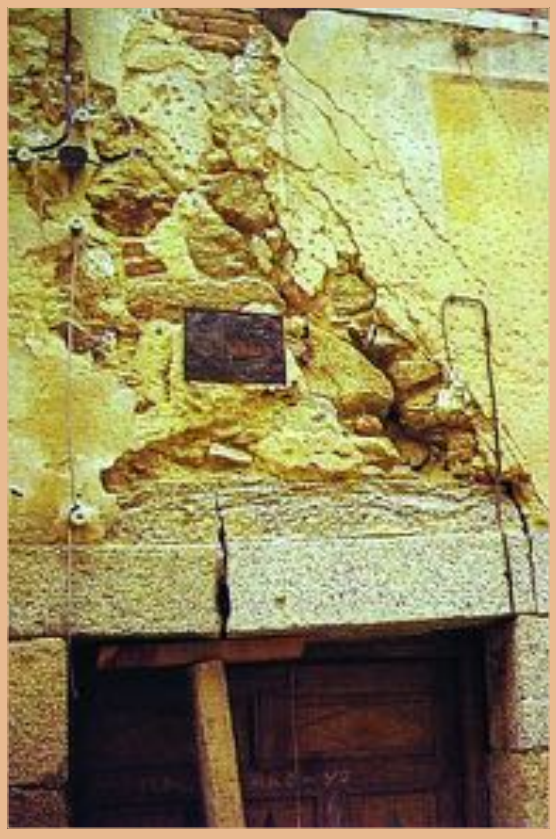
FALTA DE MANTENIMIENTO

Ciertos materiales, unidades o elementos constructivos, por ejemplo acabados e instalaciones, requieren un mantenimiento periódico para que el uso del edificio no afecte a su durabilidad. En este sentido, es bastante corriente el ensuciamiento de las fachadas por ausencia de limpiezas periódicas o la aparición de corrosiones en elementos metálicos de las mismas por falta de limpieza y pintura.

Por otro lado, también se puede considerar como un error de mantenimiento el hecho de que a un edificio se le de un uso para el que no había sido diseñado. Desde luego, no son pocos los fallos estructurales que aparecen, por ejemplo, en edificios proyectados para uso residencial pero que luego se utilizan para oficinas o comercios. Ciertamente, este "mal uso" afectará a la durabilidad de los materiales.

FACTORES EXTRÍNSECOS

Cualquier material, a lo largo de su vida útil en un edificio, se ve sometido a diferentes agresiones 'externas' que, incidiendo sobre él, provocan alguna reacción y pueden afectar a su durabilidad. De estos factores extrínsecos, sobre todo los agentes atmosféricos y la acción humana, se hablará a lo largo de esta obra, por lo que en esta introducción nos limitaremos a reseñarlos brevemente. Entre los agentes atmosféricos, el agua, que se manifiesta en forma de humedades, es uno de los que más afecta a la durabilidad de los materiales. El agua puede llegar y atacar a los elementos de un edificio de distintas maneras:



Por falta de mantenimiento las conducciones rotas dentro de este muro no han sido reparadas provocando, con el tiempo, a la destrucción del mismo.

- **AGUA DE LLUVIA**. Es causa de numerosas humedades, sobre todo cuando cae sobre materiales muy porosos o de alto grado de absorción. También es causa de ensuciamiento de la fachada.

- **AGUA ABSORBIDA POR CAPILARIDAD**. Asciende desde el terreno en el que se halla construido el edificio por el fenómeno de la capilaridad, es decir a través de los poros internos de los materiales.

- **AGUA DE CONDENSACIÓN EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO**. Al igual que en los dos casos anteriores, también da lugar a humedades, que aparecen a causa de la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del edificio.

También la helada del agua infiltrada y, los cambios de temperatura pueden mermar la durabilidad de los materiales, ya que provocan dilataciones y contracciones que originan todo tipo de erosiones, fisuras o desprendimientos.

Otro factor extrínseco es la acción del viento que, además de su actuación como agente mecánico, también determina la fuerza de impacto del agua de lluvia en las fachadas y contribuye al depósito de particulas ensuciantes sobre las mismas, especialmente de las partículas producidas por la contaminación atmosférica, que es otro factor extrínseco que puede ser devastador. Las principales fuentes de emisión de estos contaminantes son los grandes procesos industriales de elaboración de productos semimanufacturados o de materias primas, la combustión de calefacciones domésticas e industriales y la combustión de los motores de explosión y reacción, mientras que los dos principales agentes contaminantes son el dióxido de azufre y el dióxido de carbono. Este es un problema que se intensifica en las grandes urbes y que prácticamente es inexistente en pueblos pequeños y aislados.

La acción humana provoca un grave deterioro en los materiales constructivos. Además de los importantes daños que pueden originar los cambios en las condiciones del subsuelo, los incendios o los actos de vandalismo provocados por la mano del hombre, la durabilidad de los materiales también se ve afectada por el uso diario de los edificios. Un ejemplo son los impactos y rozamientos sobre materiales de acabados, (suelos y bajos de paredes) que acaban en erosiones y desprendimientos.



Bordes de piezas graníticas desgastados por el ejercicio de “skaters” sobre ella. La piedra fue ganando en porosidad y por lo tanto retiene mayor suciedad que el resto de las parte no afectadas.



El cuidado de una “mitad” del edificio no evitará que la otra mitad siga absorviendo humedad y la traspase a sus partes adyacentes. El mantenimiento debe ser integral.



El escaso asoleamiento de estas fachadas en calles estrechas no colabora a siminuir la humedad de los muros. Requieren un mantenimiento cuidado y periódico.



Decisiones de este tipo no sólo contribuyen al desmerecimiento estético del edificio sino que además, en este caso, alientan el anidamiento de aves cuyas deposiciones afectan a los revocos de los muros.



La falta de mantenimiento ha favorecido al crecimiento de estos vegetales. Si bien el daño no es grande, favorecen la acumulación de humedad y suciedad.



La falta de mantenimiento en el rovoco de estos muros deja expuestos los ladrillos con el riesgo que ello supone en cuestión de humedad y erosiones.

CAUSAS FÍSICAS

Los cambios o alteraciones físicos de un material son los que se manifiestan mientras se mantiene la causa que los ha originado.

Implican una alteración de la distribución interna de su estructura de átomos, moléculas y iones y, normalmente, provocan únicamente una modificación de la forma o de la apariencia.

En definitiva, una de las principales características de las alteraciones físicas es que, cuando desaparezca o se corrija la causa que las ha motivado, el material recuperará su forma original.

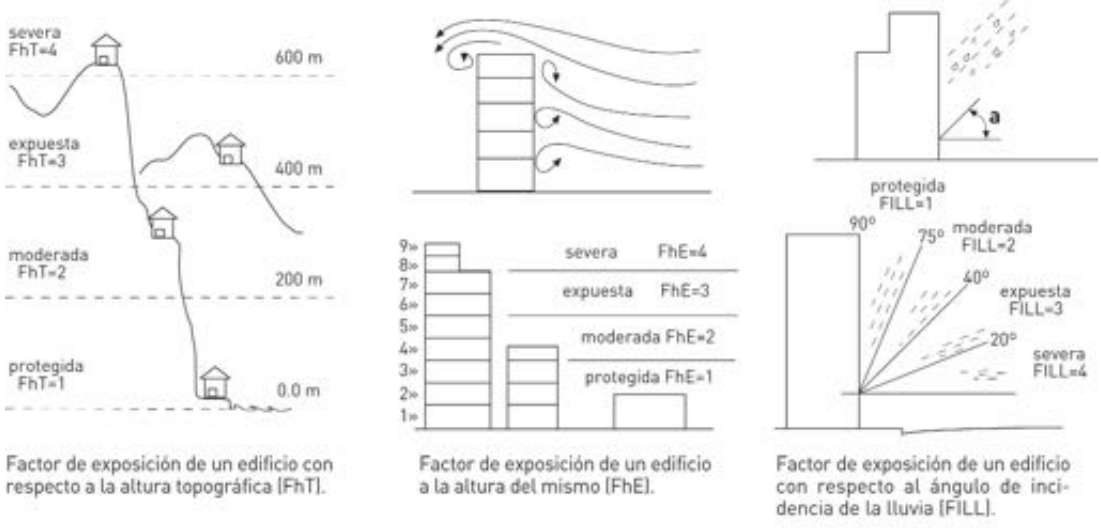
En este apartado estudiaremos las causas físicas que con más frecuencia provocan el deterioro de los materiales constructivos, es decir, las humedades, las erosiones, los procesos biofísicos y la suciedad.

HUMEDADES

DEFINICIONES

La humedad se puede definir como la presencia no deseada de agua en estado líquido en lugares o períodos de tiempo variables. Por tanto, cuando el agua se presenta en estado gaseoso no puede hablarse propiamente de humedad. Por varias razones que no son difíciles de entender, la presencia de agua, y por tanto la posible aparición de humedades, es algo inherente a una obra o a un edificio ya construido.

En primer lugar, está claro que las condiciones climatológicas tienen un importante papel en esta cuestión, ya que, por ejemplo, el agua de lluvia, a través de procesos físicos, puede generar la aparición de humedades. Además, el agua es un elemento indispensable en muchos procesos constructivos y, por otro lado, bastantes materiales contienen agua en su composición sin que ello signifique que están en mal estado.



Factores de exposición de un edificio.



La inserción de estos equipos de aire acondicionado no fueros pensados en sus respectivas posiciones y producen manchas de suciedad discontinuas que desnerecen el aspecto general de edificio.





Las pintadas urbanas o grafitis afectan más cuanto más poroso sea el material base. Su remoción es complicada y nunca sin un perjuicio para el soporte.

No hay que olvidar que para que un material encuentre su armonía funcional debe mantener su humedad de equilibrio, de la que se hablará más adelante; por ejemplo, la madera contiene un 10-20 % de humedad, pero no por ello está considerada como un material húmedo.

La aparición de humedad provoca patologías bien conocidas, como descomposiciones o disgregaciones de los materiales sobre los que se forma, efectos antiestéticos o desagradables (olores, manchas, cambios de color, etc.) o ambientes perjudiciales para la salud, pero en muchas ocasiones las humedades son también el origen de lesiones constructivas más graves que pueden llegar a implicar un elevado riesgo.

Por ello es conveniente conocer bien algunas propiedades y características del agua y los distintos tipos de humedades que pueden afectar a un edificio.

INESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA

Ciertas propiedades del agua obligan a considerarla una sustancia inestable. En primer lugar, es la única sustancia que puede presentarse en los tres estados, sólido, líquido y gaseoso, y, además, posee una gran facilidad para cambiar de un estado a otro a temperaturas y presiones relativamente normales. De hecho, esta variación de estado es constante en la naturaleza.

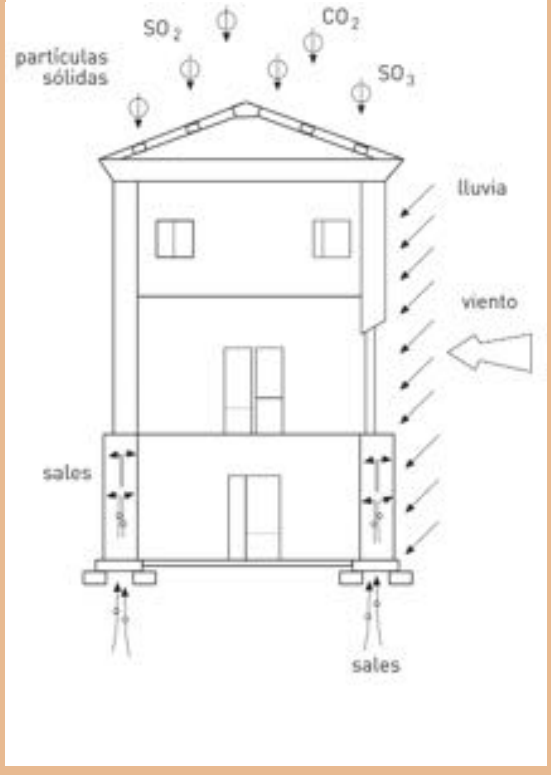
Su inestabilidad física produce importantes efectos que pueden afectar a los materiales y elementos constructivos; por ejemplo, la conversión de agua líquida en hielo, con el incremento de volumen y la disminución de densidad que implica este fenómeno, puede causar graves daños en los materiales e incluso su destrucción. Evidentemente, estos efectos tendrán más o menos importancia en función del clima del lugar en el que se halle el edificio y de la porosidad del material constructivo.

Por otro lado, el agua también es inestable químicamente, ya que su capacidad para disolver muchas y diferentes sustancias es muy grande, más que la de cualquier otro fluido. Esta particularidad, debida al carácter altamente polar de su molécula, hace que sea muy difícil encontrarla en estado puro y la convierte en vehículo de todo tipo de sustancias –sólidas, líquidas y gaseosas– que también pueden llegar a atacar la superficie o el interior de los materiales.

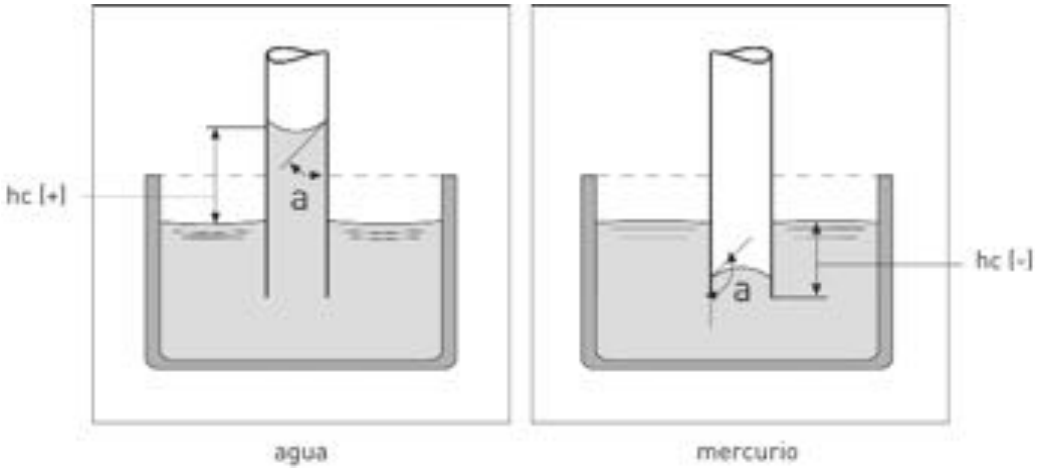
Además, algunos óxidos presentes en la atmósfera pueden combinarse con el agua y producir ácidos que actúan en la degradación de ciertos materiales.

Como consecuencia de esta inestabilidad física y química, el agua posee un gran poder de penetración. En este sentido se debe mencionar el caso del agua de lluvia, que además de purificar la atmósfera arrastrando las partículas sólidas, así como el anhídrido carbónico procedente de la combustión de los vehículos y los sulfuros y sulfatos de las atmósferas contaminadas, de forma aislada o con la contribución del viento es capaz de penetrar a través de los muros exteriores de un edificio y generar distintos tipos de humedades. Impulsada por la acción del viento, también puede llegar a erosionar los ladrillos y los morteros de los muros e incluso redondear los cantos de las calizas y graníticas.

Por otro lado, el agua del subsuelo puede penetrar en un edificio, a través de sus cimientos, y atacar a los paramentos del mismo. Desde luego, todos estos fenómenos serán analizados con más detalle a lo largo de este capítulo.



Algunos agentes físicos agresores de los edificios.



Tensión superficial.

TENSIÓN SUPERFICIAL

La tensión superficial del agua es más grande que la de cualquier otro líquido y ello tiene importantes consecuencias en la capilaridad de los materiales. En pocas palabras, por tensión superficial, que es un fenómeno molecular propio de los líquidos, se entiende el campo de fuerzas libres existente sobre la capa superficial de cualquier fluido. También suele definirse como la capacidad de la capa externa de un líquido para adoptar la mínima superficie.

Entre otras variables, la tensión superficial está en función de la viscosidad del fluido y de su temperatura, pero su comportamiento sobre un medio sólido es también función de la calidad de la superficie a la cual se adhiere.

Además, debido a la tensión superficial, el agua pueda bañar superficies y desplazarse hasta lugares muchas veces inimaginables, incluso, sin desprenderse, por la cara inferior de un objeto inclinado.

En construcción, y en particular en lo que se refiere a las humedades capilares, la tensión superficial del agua está estrechamente relacionada con la altura que pueden alcanzar este tipo de humedades en los muros del edificio.

FORMAS DE ENCONTRARSE EN UN MATERIAL

El agua, en forma de humedad, es parte constituyente de cualquier material. En algunos de ellos es un elemento que podríamos definir como “propio”, ya que se halla combinada químicamente en sus partículas sólidas. Es el caso de la madera o del hormigón; en concreto, el agua necesaria para el fraguado de este último material se convierte en elemento permanente de él.

Como hemos dicho, esta agua puede definirse como “propia”, pero, además, la mayoría de los materiales (entre ellos, la madera, la cerámica, la piedra o el hormigón, por citar algunos de los más habituales) son susceptibles de recibir agua externa. En general, la penetración de agua en un material se produce por absorción, fenómeno que se desarrolla cuando el vapor de agua, de forma natural, entra en contacto con él provocando una atracción intermolecular debida a la cual las moleculas del vapor se depositan en el interior de los poros del material. En función de la densidad de éste, es decir de la cantidad de poros que contenga en su interior, el agua quedará retenida en el material más rápida y fácilmente.

Evidentemente, el agua también puede penetrar en un material por presión. En este caso, lo hará en función del espesor y la densidad del material y de la intensidad de la presión.

Como es sabido, la densidad de un material es la relación entre su masa y su volumen. Si la densidad es muy baja, significa que el material posee muchos poros en su interior, mientras que, por el contrario, a una densidad alta corresponde pocos espacios libres en el material, es decir, pocos poros. La cerámica, por ejemplo, es un material de alta densidad y, por ello, puede absorber agua con facilidad, pero el poliestireno extrusionado, de densidad mucho menor, es casi imposible de humedecer. En este sentido, hay que decir que no es sólo la cantidad de poros la que permite una más rápida absorción del agua, sino también la propia estructura porosa del material, que puede ser de poros abiertos y conectados entre sí o de poros cerrados y sin conexión.

Otro factor muy importante para que el agua pueda penetrar y quedar contenida en un material es la calidad de su superficie, ya que algunas son muy fáciles de mojar y otras casi imposible. Así, debido a las características de su superficie, el hormigón absorbe el agua con mucha más facilidad que el mármol o el vidrio, en cuyo interior es casi imposible que penetre el agua. Por otro lado, en los materiales no coherentes, como las arenas y las gravas, además del agua que puede contener el material en su interior, hay o puede haber una cantidad de agua retenida en la superficie del mismo. La razón es la adherencia que se establece entre el agua y el material a causa de la tensión superficial. Una prueba de ello la encontramos en el transporte de la arena en camión, durante el cual se produce una pérdida de agua debida a que, entre otras cosas, la vibración rompe ese juego de fuerzas adherentes.

En definitiva, puesto que los edificios se encuentran siempre en ambientes más o menos húmedos y la presencia del agua es inevitable, ésta tiene una notable incidencia en la durabilidad de los materiales constructivos, muchos de los cuales conservarían indefinidamente sus características si se pudiesen mantener completamente secos.

TIPOLOGÍA DE LAS HUMEDADES

En la construcción de un edificio se utiliza una gran variedad de materiales, cada uno con características y capacidades de absorción de agua muy distintas. En función de la procedencia o de la manera de extenderse del agua se pueden distinguir los siguientes tipos de humedades:

- ***DE OBRA**:* debida al contenido residual del agua utilizada en los procesos constructivos y que no se haya evaporado, así como al agua que contienen los propios materiales.

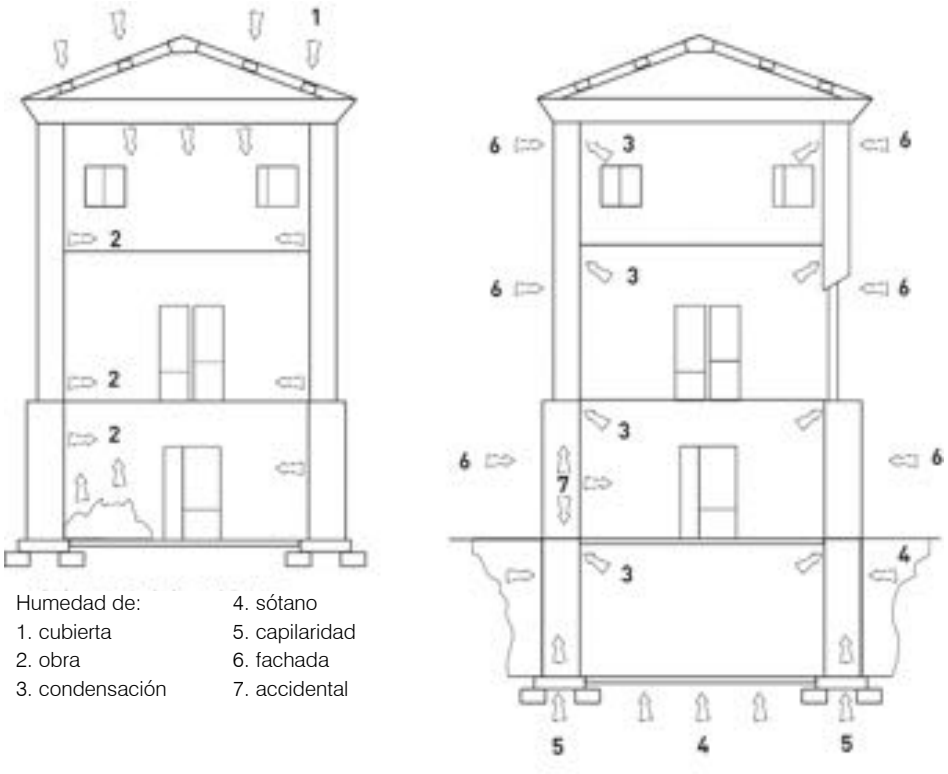
- ***CAPILAR**:* el agua procede del terreno sobre el que se encuentra el edificio y, por capilaridad, asciende por los elementos que están en contacto con el terreno.

- ***DE FILTRACIÓN**:* causada por la acción de la lluvia y el viento. El agua penetra a través de elementos constructivos.

- ***DE CONDENSACIÓN:*** la condensación del aire puede dar lugar a la formación de gotitas que cuando se van agregando llegan a formar núcleos húmedos. Este fenómeno se puede producir tanto en el exterior como en el interior del edificio.

- ***ACCIDENTAL:*** la falta de mantenimiento de las instalaciones del edificio, el mal uso de las mismas o algún fallo puntual también pueden provocar humedades.

Hay que recordar que un problema de humedad casi nunca se debe a una única causa, sino que varias causas actúan a la vez. Por ejemplo, no resulta infrecuente que una humedad por capilaridad, que introduce una cierta cantidad de agua evaporada de muros y suelos, provoque en zonas poco ventiladas una humedad por condensación. Según un estudio del Departamento de Medio Ambiente de la *Building Research Establishment* (Reino Unido), el 38 % de las lesiones se deben a problemas de humedad. El origen, o causa, de estas humedades era el siguiente:



Humedad de:
1. cubierta
2. obra
3. condensación
4. sótano
5. capilaridad
6. fachada
7. accidental

Humedades más habituales en un edificio.

HUMEDAD DE OBRA

El agua, en forma de humedad, está presente en casi todos los elementos y materiales constructivos y, además, en muchos procesos que se realizan durante la edificación de una fábrica se usan notables cantidades de agua.

Por tanto, se definen humedades de obra, o de ejecución, las provocadas por el agua contenida en los materiales usados en la obra y por la que se instala en ésta durante la construcción. Más específicamente, el agua que provoca las humedades de obra puede tener su origen en:

- **EL AGUA RETENIDA O ADHERIDA EN EL EXTERIOR DE ALGUNOS MATERIALES**. El caso más común es el de la arena. Es el agua menos permanente y puede separarse a través de un proceso de secado.

- **EL AGUA CONTENIDA INTERIORMENTE POR CIERTOS MATERIALES**, como por ejemplo, la existente en el interior de la madera. En este sentido, hay que recordar que algunos materiales pueden haber absorbido agua incluso antes de llegar a la obra. No es infrecuente que esto suceda con el yeso o con los ladrillos, cuya estructura de poros abiertos los hace permeables al agua y al vapor de agua.

- **EL AGUA USADA PARA ELABORAR ALGUNOS SEMIPRODUCTOS**, como la que se emplea amasada con cemento y arena para confeccionar los morteros.

- **EL AGUA NECESARIA PARA LA REALIZACIÓN DE CIERTOS PROCESOS**. Es el caso del fraguado del hormigón, proceso tras el que una cierta parte del agua utilizada quedará retenida definitivamente en el material y no se perderá ni en el período de endurecimiento ni en el de secado, del curado de la capa de compresión de los forjados, para lo que se emplean de ocho a diez litros de agua por metro cuadrado y día, o del pulimento de los terrazos.

- **EL AGUA DE LLUVIA** que recibe el edificio desde que se inicia su construcción hasta que se colocan la cubierta y los cerramientos. En ocasiones, por ejemplo, se han producido humedades debidas a la penetración del agua de lluvia caída antes de la colocación del acristalado.

En definitiva, se puede decir que casi todos los materiales utilizados en una obra contienen una cierta cantidad de agua y que, durante la construcción de un edificio, se utilizan e introducen también grandes cantidades de agua. Lógicamente, la mayor parte de esta agua se eliminará por evaporación durante la duración de la obra, pero una parte importante será retenida por los materiales y otra deberá evaporarse en un período más o menos largo una vez que el edificio ya esté terminado.

El problema de las humedades de obra es relativamente reciente, ya que los edificios antiguos se construían a un ritmo mucho más lento que en la actualidad y ello favorecía la evaporación del agua. Es bien sabido que la coloración de los materiales, la fabricación de pastas y morteros o el curado de los hormigones requieren un proceso de secado muy lento, algo que no concuerda con la velocidad con la que se efectúan las obras hoy en día.

TIPO	%
Humedades de condensación	44
Humedades capilares	33
Humedades por filtración (fallos de las juntas en fachadas y cubiertas)	19
Humedades accidentales	4

PORCENTAJE DE APARICIÓN DE LAS HUMEDADES SEGÚN SU TIPO.

MATERIAL	%
Madera	15,0-18,0
Mortero de cal	5,0-6,0
Mortero de cal/cemento	4,0-4,5
Mortero cemento (1:3)	3,6-4,2
Mortero cemento (1:4)	3,2-4,0
Mortero cemento (1:6)	3,0-3,6
Ladrillo cerámico	1,8-2,1
Yeso	0,9-1,15

HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE DISTINTOS MATERIALES REFERIDA EN PORCENTAJE SEGÚN SU PESO.

Si un edificio recién construido es ocupado sin que haya concluido el secado, la finalización del mismo será difícil y lenta, ya que la producción de vapor del uso de la vivienda y, la aplicación de revestimientos decorativos impermeables, obstaculizarán la evaporación del agua retenida por los materiales utilizados. No resulta raro que, en los primeros meses, y a veces años, de vida de un edificio aparezcan manchas o zonas húmedas, en las partes inferiores de forjados y alféizares.

HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LOS MATERIALES

Para comprender perfectamente el concepto de humedad de equilibrio de un material, es necesario referirse antes a la humedad de transferencia para recordar que todo material posee un cierto poder higroscópico, es decir que es capaz de intercambiar agua con el aire que tiene a su alrededor. En otras palabras, los materiales van cediendo a la atmósfera buena parte del agua que han adquirido durante la construcción del edificio.

La velocidad de evaporación del agua contenida en los materiales pasa por dos fases:

- **EVAPORACIÓN O SECADO SUPERFICIAL**. La velocidad es elevada y uniforme y el contenido de humedad disminuye rápidamente.

- **SECADO DE LOS POROS INTERNOS**. La velocidad de evaporación disminuye con rapidez hasta anularse. El contenido de humedad sigue disminuyendo, pero de manera mucho más lenta, ya que el agua interior ha de llegar a la superficie por capilaridad o en forma de vapor.

Así pues, definiremos como humedad de equilibrio de un material a la humedad contenida en ese material cuando termina la transferencia de agua a la atmósfera, es decir, cuando la velocidad de evaporación es nula.

Es evidente que el valor de la humedad de equilibrio depende de la temperatura y de la humedad relativa del aire en el que se halla inmerso el material. En la siguiente tabla, tomada de Ortega Andrade, se muestran las humedades de equilibrio de algunos materiales utilizados en la construcción de edificios.

Si desciende la temperatura o aumenta la humedad de la atmósfera, la humedad de equilibrio se altera debido a que el material absorbe humedad del aire. También se rompe el equilibrio si aumenta la temperatura y disminuye la humedad del aire, pero en este caso porque es el material el que cede humedad a la atmósfera. En el primer caso se suele decir que el material está saturado, mientras que en el segundo, que está seco.

Conocer esta problemática es importante porque la alteración de la humedad de equilibrio de los materiales es una frecuente causa de aparición de humedades de obra, algo que en la práctica puede ocurrir si, por ejemplo, se pinta un muro antes de que los yesos se hayan secado, es decir, antes de que hayan alcanzado su humedad de equilibrio. Lo mismo sucede con la colocación del parquet si antes no se han secado la madera y la losa, con la membrana y el soporte de la cubierta, etc.

DESARROLLO DE LAS HUMEDADES DE OBRA

Como se acaba de decir, la humedad absorbida por los materiales durante el período de construcción de un edificio se va transfiriendo progresivamente a la atmósfera hasta que se alcanza una situación de equilibrio. Sin embargo, si este proceso de secado se interrumpe antes de que los materiales hayan establecido su humedad de equilibrio, entonces aparecerán las humedades de obra.

En concreto, el agua queda atrapada y, en un período de tiempo más o menos largo, se manifiesta en forma de humedad pudiendo provocar las siguientes lesiones:

En las cubiertas:

- **EMBOLSAMIENTOS, DESPEGUES Y ROTURAS DE LA MEMBRANA** debido a la presión del vapor.

- **MANCHAS EN EL INTRADÓS DE LA LOSA** situada bajo la cubierta.

- **DISMINUCIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO** (cuando se han utilizado hormigones aligerados).

En los paramentos verticales:

- **EFLORESCENCIAS** que se manifiestan por encima del rodapié a causa del agua retenida por los forjados y que, por capilaridad, asciende por los tabiques.
- **CONDENSACIONES Y MANCHAS DE HONGOS,** en la misma zona.
- **DESPEGUE DE PINTURAS** o de otros revestimientos por falta de adherencia.
- **DESPRENDIMIENTOS DE LOS APLACADOS** de fachada por dilatación potencial.

En la losa:

- **OXIDACIÓN DE LAS ARMADURAS**.
- **MOVIMIENTOS DE LOS PARQUETS** por el cambio de contenido en agua.
- **PUDRICIONES EN LA MADERA** si la humedad es superior al 25 %.

HUMEDAD CAPILAR

Las humedades de capilaridad son las provocadas por la ascensión del agua del terreno a través de los cimientos y los muros del edificio que están en contacto con el suelo.

Los efectos derivados de la capilaridad se basan en la circulación del agua a través de tubos o poros muy finos que se hallan en el interior de un material, y pueden describirse así: el agua procedente del subsuelo asciende por esta red de capilares, en contra de la ley de la gravedad, y penetra por muros columnas, etc. hasta alcanzar zonas situadas por encima de la rasante, en las que se manifiesta y se hace visible en forma de humedad.

Este fenómeno no es propiamente de ascensión, sino de difusión, ya que se puede expandir en todas las direcciones.

FUENTES Y GRADOS DE ABSORCIÓN

Para entender el fenómeno de la capilaridad hay que recordar que en todo suelo existe una capa de agua profunda (capa freática), cuyo nivel superior corresponde al nivel del agua de los pozos. Este agua, debido a las fuerzas capilares, tiene la capacidad de subir hacia la superficie para ser absorbida por las raíces de árboles y plantas.

Este hecho, junto con la evaporación al contacto con el aire y la acción de los rayos solares, es el que hace que el contenido de agua de la zona más superficial del suelo pueda ser bastante débil. En contrapartida, la humedad de esta capa más superficial del terreno puede aumentar por la acción de la lluvia, la nieve, el regado, etc.

Para conocer la posibilidad de aparición de las humedades capilares, es importante saber si la parte de obra sumergida en el terreno alcanza el nivel freático o si permanece por encima de él. En el primer caso, el agua actúa con gran presión y todos los muros o materiales que estén en contacto con el suelo serán susceptibles de padecer humedades. La fuerza de penetración del agua será más intensa cuanto más por debajo del nivel freático se hallen los cimientos del edificio. En el segundo caso, la absorción de agua, y por tanto de humedad, se produce a través de la estructura porosa de los materiales.

En concreto, la posible absorción de humedad de un muro de fábrica depende del material que predomine en la misma, de la anchura de las juntas (o de la presencia de otros sistemas de protección contra el agua del suelo) y de la cantidad de mortero que se haya utilizado en la construcción de los muros. En materiales más impermeables, como el granito no alterado o el ladrillo vitrificado, la única vía de penetración del agua es a través del mortero, que suele tener una absorción baja, mientras que en materiales más permeables, como las calizas porosas y los ladrillos normales, la humedad tiende a penetrar con mayor rapidez.

En definitiva, al considerar los materiales, es muy importante saber el número de capilares que tienen y su diámetro, ya que es bien sabido que la velocidad de absorción de agua por los capilares es directamente proporcional al diámetro de los mismos e inversamente proporcional a la ascensión por ellos.

Por ejemplo, cuando el diámetro capilar está por debajo de 0,01 micra, la ascensión es prácticamente nula (es el caso del hormigón con relación agua/cemento de 0,5).

ALTURA DE LAS HUMEDADES CAPILARES

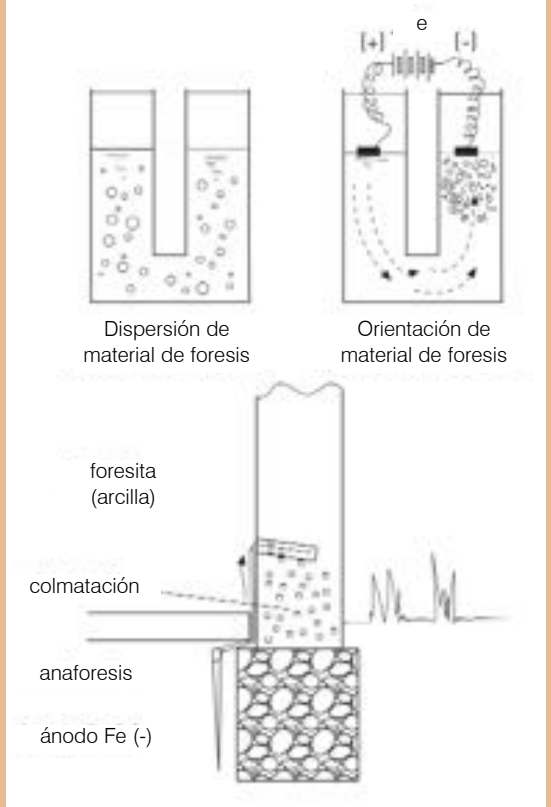
La altura que puede alcanzar una humedad por capilaridad depende de las propiedades del material (en concreto, del diámetro de sus capilares), del espesor del muro, de las características del líquido (sobre todo, de su viscosidad), de la presencia de sales disueltas y de la temperatura.

Normalmente, la altura en la que se produce un equilibrio, es decir en la que la cantidad de agua que asciende por capilaridad es igual a la que se evapora, oscila entre 1,5 y 2 metros y, en general, cuanto más grueso sea el muro, mayor altura alcanzará la humedad, ya que necesitará una superficie más grande para evaporarse.

En otras palabras, podemos decir que la altura capilar es inversamente proporcional al grado de aireación de la pared del muro.

Las áreas que quedan por debajo de la línea de mayor altura alcanzada por la humedad ascendente se convierten en superficies de aireación sin desecación que evaporan agua al exterior, generándose así un flujo en el interior del muro que tiene su origen en la cimentación.

También influyen en la altura capilar otras variables como la orientación del edificio, la temperatura ambiental, las propiedades del material del muro o, incluso, las variaciones estacionales, ya que son factores que pueden hacer que el agua generadora de la humedad se evapore con mayor o menor facilidad. Por ejemplo, se ha comprobado que en las fachadas orientadas al norte la altura capilar suele ser mayor debido al menor grado de evaporación de aquellas. Por otro lado, si la superficie que sufre de humedad capilar tiene adosado algún tipo de obstáculo que impida la aireación normal, la altura capilar también será mayor, ya que el agua ascenderá hasta disponer de la superficie necesaria para equilibrar el flujo de la evaporación. Es el caso de las escaleras adosadas a un muro que sufre de humedad ascendente, en el que la línea de la altura de la humedad es inclinada y dibuja en la pared el perfil de la escalera.



Electroforesis. La acción de un campo eléctrico orienta las partículas coloidales administradas (foresita) en el líquido, haciendo que fluya hacia el ánodo (anaforesis) o hacia el cátodo (cataforesis) y taponando el flujo de humedad ascendente.

El fenómeno de la capilaridad implica la formación de depósitos cristalizados en la superficie del muro, puesto que en las zonas en las que el agua se evapora, las sales que ésta contiene, en muchos casos de origen orgánico, quedan fuertemente adheridas al edificio. Los sulfatos se manifiestan en forma de eflorescencias salinas, mientras que cloruros y nitratos pueden dar lugar a manchas de humedad. Por tanto, la sintomatología de la humedad capilar no sólo se manifiesta con la aparición de una banda húmeda y oscurecida localizada en las zonas bajas de la edificación, aunque desde luego esto es lo más habitual, sino también con la presencia de un deterioro o levantamiento de los revestimientos de los muros por la acción eflorescente de las sales cristalizadas y transportadas hasta allí por el agua capilar.

En laboratorio, Jurin desarrolló la fórmula para hallar la ascensión capilar máxima (hc):

$hc = 2\ Ts \cos a / g \cdot r$ siendo
Ts = tensión superficial
a = influencia de la superficie a la que moja el líquido (es decir, calidad o tipo de material del muro o elemento constructivo)
r = radio del capilar.

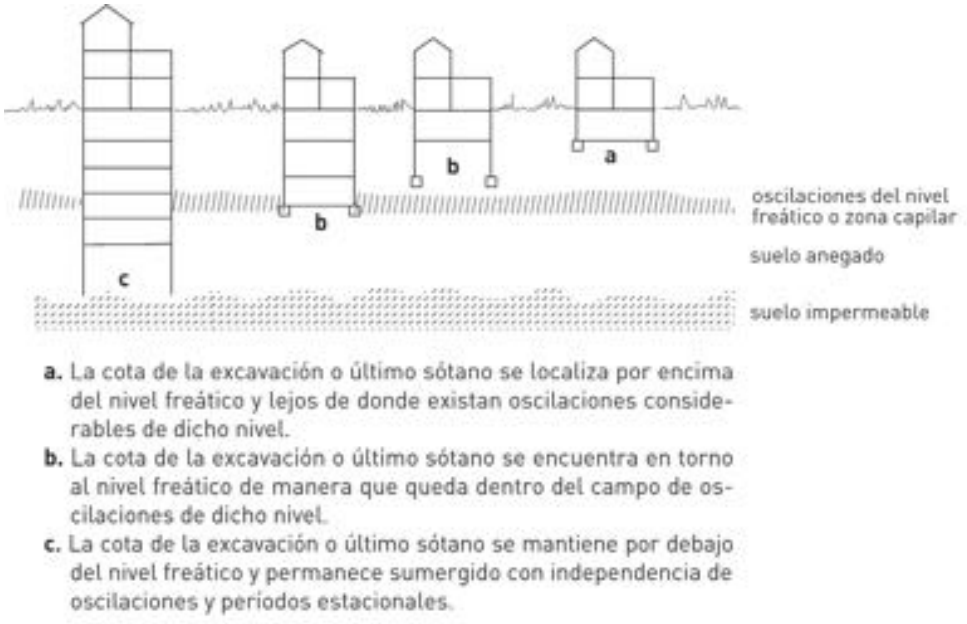
De la llamada ***LEY DE JURIN*** se pueden deducir algunas importantes consideraciones relacionadas con las causas de aparición de la humedad capilar:

- **LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS CON ESTRUCTURA POROSA** y con gran comunicación entre los poros facilitan una ascensión capilar bastante acentuada;

- **LA ALTURA QUE ALCANZA LA HUMEDAD POR CAPILARIDAD** está relacionada con la temperatura a través de la tensión superficial, ya que ésta depende de la viscosidad del líquido, que disminuye al aumentar la temperatura del mismo;

- **LA CAPILARIDAD** no es, exclusivamente, un fenómeno de ascensión vertical, sino que el agua y la humedad se extienden también en sentido horizontal (en concreto, se extenderán en cualquier dirección en la que encuentren succión o actividad capilar);

- **NO ES NECESARIO QUE HAYA GRAN CANTIDAD DE AGUA** debajo de la cimentación de los muros del edificio para que se produzca una situación de humedad capilar.



Decisiones en cuanto a la profundidad de ubicación de los cimientos de un edificio y la influencia de la napa freática.

RELACIÓN ENTRE VISCOSIDAD Y HUMEDAD CAPILAR

Como hemos visto, en la aparición y el desarrollo de la humedad capilar influyen muchas variables y una de ellas, que también debe tenerse en cuenta, es la viscosidad del agua.

En física se define como viscosidad de un fluido, o ángulo de rozamiento interno, a la resistencia que oponen las distintas capas de un líquido en movimiento. La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura del fluido.

Bajo la perspectiva de las humedades capilares, la viscosidad es un factor determinante en la altura máxima de la humedad y, además, la mayor viscosidad del agua, que implica un mayor contenido de sales, provoca un grave deterioro en los revestimientos del muro por la aparición de eflorescencias.

HUMEDAD DE FILTRACIÓN

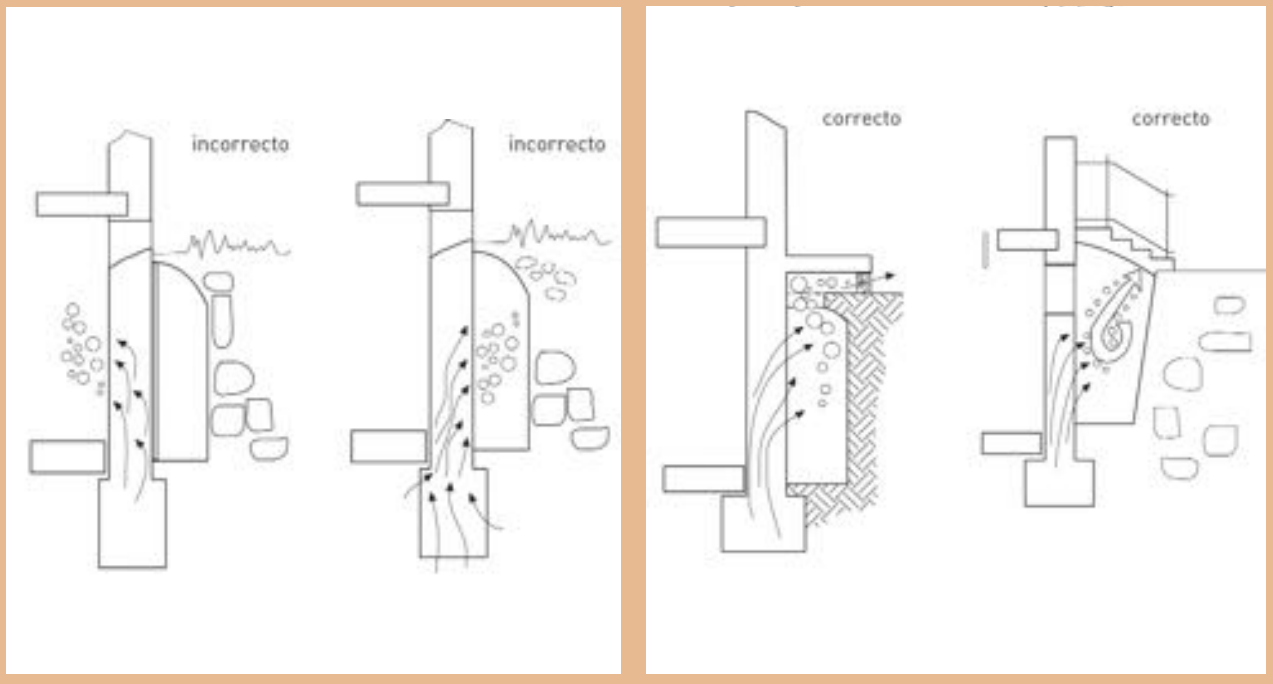
Se define como humedad de filtración a la provocada por el agua que llega desde el exterior y penetra en el interior del edificio a través de sus cerramientos (fachadas o cubierta).

Lógicamente, aunque no es la única causante, el agua de lluvia es el principal agente de las humedades de filtración, que, en general, se suelen dividir en tres grupos: las provocadas por la absorción, por la infiltración o por la penetración propiamente dicha del agua exterior. A continuación las analizaremos por separado.

HUMEDAD DE ABSORCIÓN

Es la debida a la absorción del agua exterior a través de los poros del material con el que se ha construido la fachada. Se produce porque el agua de lluvia que baña el cerramiento, y sobre todo si es empujada con relativa fuerza por el viento, es tomada por capilaridad por el material del muro.

No nos extenderemos aquí sobre la acción capilar del agua, ya que ha sido analizada con anterioridad, pero conviene recordar que las consecuencias de la presencia de agua en la estructura porosa de los materiales que conforman la fachada pueden llegar a favorecer la disgregación de los morteros, a facilitar la aparición de eflorescencias, a pudrir las cabezas de vigas metálicas o de madera, a reducir el poder aislante térmico del cerramiento o, incluso, a impedir la difusión del vapor interior.



Soluciones correctas e incorrectas para facilitar la evaporación de la humedad ascendente de un muro de sótano.



La permanencia de humedad en los muros favorece la aprición y proliferación de hongos, musgos y vegetales, cuyas raíces acaban por detriorar gravemente las obras de fábrica.



Distintas consecuencias de la retención de humedad excesiva en muros: manchas, eflorescencias, pérdida de rovoque, desconchamiento de ladrillos, expansión y pudrición de puertas y ventanas de madera.

En las fachadas tradicionales, compuestas de citara, cámara y tabique, el agua que entra desde el exterior por absorción capilar llega hasta la superficie interior de la cámara y, desde allí, baja por gravedad hasta el forjado inferior empapando la parte baja de la propia cámara y todos los elementos que la interrumpan, como por ejemplo, un cajetín de la cinta de una persiana, la parte oculta de un alféizar o las entregas del dintel. Desde estos lugares, el agua puede pasar al tabique y prrovocar la aparición de manchas localizadas de humedad.

La filtración de agua por absorción capilar es más frecuente cuando los materiales han envejecido. En efecto, en los edificios antiguos los morteros de los muros suelen estar muy disgregados y, por tanto, se vuelven más porosos.

HUMEDAD DE INFILTRACIÓN

Se manifiesta cuando el agua de lluvia llega al interior del edificio por posibles aberturas en la fachada, como grietas y fisuras mecánicas o juntas constructivas, de dilatación y practicables. En el primer caso, además de las grietas y fisuras provocadas por alguna lesión del material, hay que tener en cuenta que en los edificios con fábricas vistas, a causa de la retracción de los morteros, bajo cada ladrillo queda una fisura horizontal y que una mala ejecución provoca que las juntas verticales tengan una insuficiente cantidad de mortero. Por lo que respecta a las juntas, no hay que olvidar que en la construcción se realizan numerosos encuentros de materiales distintos, entre ellos, el de la fábrica con alféizares, dinteles, forjados, pilares o carpintería, y se abren huecos en las fachadas, por ejemplo para instalar una barandilla o una antena. Una mala ejecución o un sellado incorrecto de estos encuentros puede provocar, por efecto del fenómeno de tensión superficial, que el agua de lluvia sobrepase la cámara aislante y de lugar a manchas de humedad en el interior del edificio. Es frecuente que suceda debajo de las ventanas o en lo tabiques, en su unión vertical con los pilares.

Las principales causas de aparición de la humedad por infiltración son la falta de acabado de las esquinas y rincones, la fisuración debida a la dilatación térmica y la falta de sellado de los encuentros de materiales por medio de masillas elastoméricas impermeables.

HUMEDAD DE PENETRACIÓN

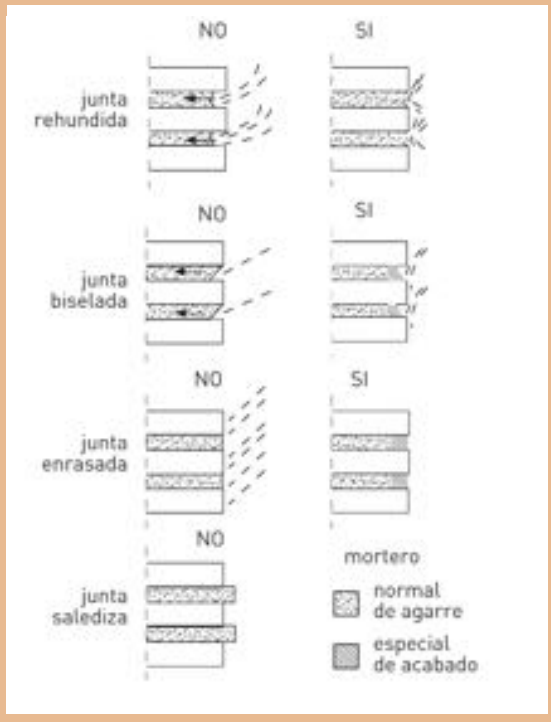
Es la humedad provocada por la entrada de agua en el edificio sin que sean necesarios los fenómenos de absorción por capilaridad o de infiltración que se acaban de describir. Evidentemente, esta penetración del agua se produce a través de huecos ocasionados por el deterioro del material o de algún elemento constructivo, como por ejemplo por el desplazamiento de algunas tejas o la rotura de un cristal.

Aunque esta patología está muy relacionada con los edificios antiguos y semiabandonados, la aparición de goteras como medio de penetración del agua no es un fenómeno infrecuente en los edificios modernos. Aunque en la gran mayoría de casos las humedades de penetración no pueden considerarse un verdadero fenómeno patológico, sino que deben atribuirse a la dejadez, al abandono y a la no reparación o restauración de otras lesiones, sus consecuencias pueden llegar a ser irreversibles.

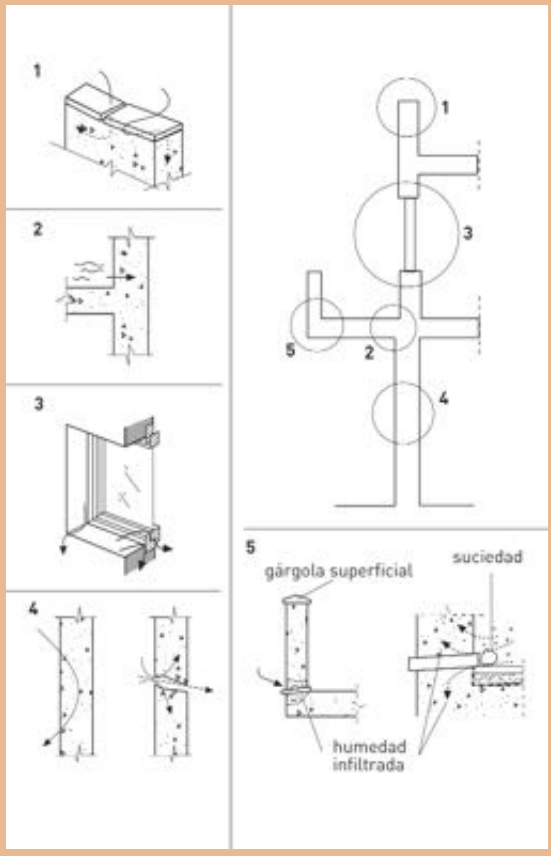
PRESIÓN DEL AGUA FILTRADA

Hasta ahora nos hemos referido únicamente a la acción del agua de lluvia sobre los cerramientos del edificio, pero la filtración de agua a través de las fachadas también se puede producir por pérdidas en ciertas conducciones. Lógicamente, en estos casos las zonas afectadas serán las partes bajas de las edificaciones y los daños que se ocasionen estarán en función de la presión con la que el agua impacta en el cerramiento, que puede ser alta (redes potables, riegos, etc.) o baja (piscinas, depósitos, etc.).

Desde luego, el agua de lluvia también puede bañar una fachada con diferente presión. En una situación de lluvia suave sobre un cerramiento construido con material de baja tensión superficial, es decir, fácilmente mojable, se producirá una absorción capilar sin presión, pero cuando la acción de la lluvia se ve complementada con la de un fuerte viento pueden originarse al mismo tiempo fenómenos de absorción capilar, infiltración y penetración de agua. La acción conjunta de agua de lluvia y viento tiene una importante incidencia en la durabilidad de los materiales de los cerramientos y, por ejemplo, se ha comprobado que en algunas zonas geográficas definidas como de 'altas precipitaciones' aparecen en las fachadas patologías por agua de lluvia menos graves que en las de otras áreas consideradas como 'secas', pero en las que se producen pocas pero intensas precipitaciones con viento.



Juntas de mortero de agarre en un muro de ladrillo a la vista y su comportamiento frente a la acción de la lluvia.



Humedades de filtración en fachadas.

Así mismo, se ha verificado que en bastantes ocasiones los chubascos ventosos provocan que el agua recogida sobre un plano vertical (y, por tanto, sobre una fachada) sea superior a la recogida en el plano horizontal (es decir, en la cubierta). En concreto, se ha demostrado que para vientos con velocidades superiores a 5m/s (18 km/h), la recogida de agua vertical es mayor que la horizontal.

Para concluir recordaremos que Marvin y Emswile desarrollaron sendas fórmulas en las que se relaciona la velocidad del viento y la presión que éste ejerce sobre un cerramiento. Son las siguientes:

$p = v^2/10$ (Marvin)

$p = v^2/16$ (Emswile)
siendo
p = presión en kg/m^2

v = velocidad en m/s.

LA CUBIERTA Y LAS HUMEDADES DE FILTRACIÓN

En bastantes ocasiones se ha dicho que la cubierta es la quinta fachada de un edificio, pero ello no deja de ser un simple tópico, ya que, dejando a un lado que son cerramientos de la edificación, poco más tienen en común, y menos en lo que respecta al problema de las humedades. En primer lugar, porque la inclinación de la fachada será siempre un plano vertical, mientras que la cubierta puede adoptar distintos planos de inclinación.

Históricamente, las exigencias funcionales de la cubierta eran la impermeabilidad, la estabilidad, la movilidad y la belleza, pero en la actualidad a la hora de construir una cubierta hay que hacer frente también a los problemas del paso del vapor, del aislamiento térmico y acústico, de la resistencia al fuego, de la durabilidad y, sobre todo, de la economía. Una de las consecuencias de este aumento de exigencias ha sido la pérdida de pendiente de las azoteas, que puede facilitar la aparición de humedades en el interior del edificio al provocar una acumulación y retención de agua de lluvia.

En general, las cubiertas suelen clasificarse en tejados y azoteas y, en los primeros, los problemas de humedad están íntimamente ligados con los mecánicos. En efecto, cualquier defecto mecánico en las uniones de los elementos lineales del soporte puede producir un movimiento de las piezas del tejado, que permitirá la filtración del agua y repercutirá en el comportamiento de la cubierta frente a la humedad.

Por ejemplo, la pérdida de capacidad mecánica del tirante o del nudillo origina un descenso de la cumbrera y, de este modo, provocar el levantamiento o deslizamiento de las tejas que, sin duda, facilitará la penetración de la humedad.

En definitiva, podemos decir que un tejado bien diseñado para evitar la filtración de humedad provocada por el agua de lluvia debe cuidar la pendiente, el solape de la tejas y la anchura mínima de la canal entre dos tejas paralelas.

En cuanto a las azoteas, hay que decir que hoy día, en general, los problemas de humedad debida a filtración de agua de lluvia se deben sobre todo a una mala ejecución de las cubiertas planas.

En concreto, de las uniones y solapes de las láminas, de los refuerzos de limas, canales y cazoletas, de las juntas de dilatación de la cubierta y de la solería, de los encuentros con las medianeras, etc.

Otros problemas de ejecución a los que normalmente no se les concede demasiada importancia, pero que pueden facilitar la filtración del agua y por tanto la aparición de humedades, son los ocasionados por el agarre de los mástiles de las antenas, de barandillas metálicas o, incluso de tendederos.

Estas estructuras, al ser movidas por el viento pueden crear aberturas o huecos en sus anclajes permitiendo la penetración de la humedad.

HUMEDAD DE CONDENSACIÓN

Antes de analizar el fenómeno de la condensación, es conveniente describir algunas peculiaridades de la humedad atmosférica, ya que están íntimamente relacionados. Lo primero que nos interesa saber es que el aire de cualquier ambiente contiene siempre una cierta cantidad de vapor de agua y que, por otro lado, esa cantidad de humedad varía en función de la temperatura del aire. Así, a 10 ºC el aire puede contener como máximo 9,39 g de vapor de agua por cada metro cúbico, mientras que si la temperatura es de 15 ºC, la cantidad máxima de vapor es de 12,82 g.

Cuando a una determinada temperatura el aire de un ambiente contiene la máxima cantidad de vapor de agua, o humedad, posible se dice que ese aire está saturado de humedad.

El grado de humedad de la atmósfera puede expresarse mediante varios parámetros, pero los más utilizados son:

- **HUMEDAD ABSOLUTA**. Es la cantidad de vapor de agua, expresada en gramos, que hay en un m³ de un aire determinado.
- **HUMEDAD RELATIVA O GRADO HIGROMÉTRICO**: es la relación entre la humedad absoluta y la humedad de saturación. La relación se expresa en tanto por ciento.

Esto significa que en un aire a la temperatura de 15 ºC y que contenga 11,54 gramos de vapor de agua por metro cúbico tendremos:

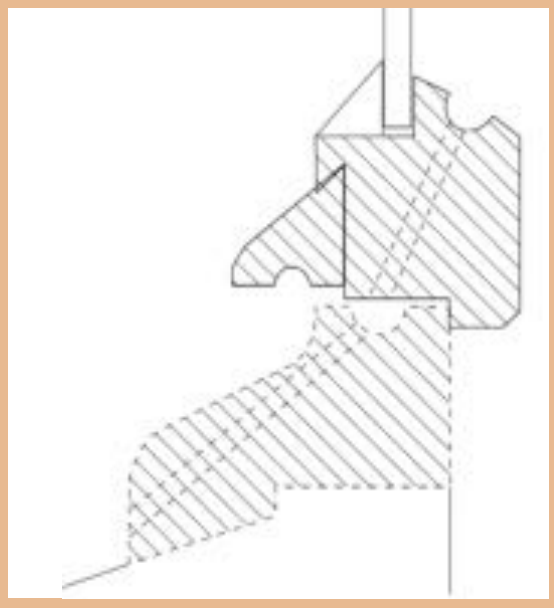
Humedad absoluta = 11,54

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Humedad absoluta}}{\text{Hum. saturación}} = \frac{11{,}54}{12{,}82} \times 100 = 90\ \%$$

En general, en lo que se refiere a la construcción de edificios, cuando se habla de humedad se hace referencia a la humedad relativa, y ello porque el valor de humedad absoluta, al contrario que el de la relativa, resulta muy poco práctico porque no tiene en cuenta la temperatura del ambiente, variable que tiene una gran incidencia en la durabilidad de los materiales constructivos.

El fenómeno denominado condensación se produce cuando un aire con una humedad relativa determinada se enfría hasta llegar a la saturación, también conocida como punto de rocío, y consiste en la liberación de agua por parte de ese aire saturado.

En concreto, estas humedades aparecen cuando el aire interior del edificio se pone en contacto con las superficies más frías de las paredes; ese aire baja de temperatura y origina condensaciones, de modo que se forman gotitas de agua que se depositan sobre las paredes y que debido a la adhesión mutua y a la gravedad se van agregando hasta formar núcleos húmedos. Está claro, por tanto, que este tipo de humedades no se genera por una penetración o un transporte de agua, sino que es consecuencia de un cambio de estado físico.



Conducto de evacuación de la humedad de condensación sobre el cristal de una ventana.

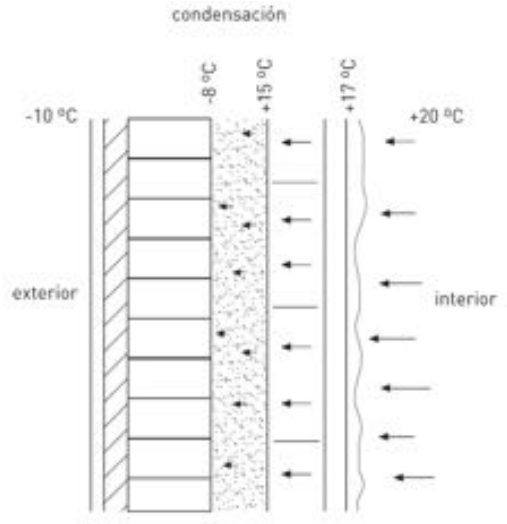
Evidententemente, la condensación suele producirse en los meses más fríos, cuando la temperatura del aire exterior es baja y las paredes y ventanas también están más frías. Es el caso de un edificio con buena calefacción pero mal aislado en muros y cubierta.

Desde luego, no son pocos los que creen que la humedad de condensación es uno de los problemas más característicos de las edificaciones modernas debido a que, por lo general, se construyen edificios ligeros, con paramentos delgados y rígidos y con bastantes puentes térmicos. Normalmente, en el interior de un edificio, esta humedad se manifiesta en forma de mancha superficial y suele estar localizada en rincones, esquinas, detrás de grandes objetos o empotrados, en torno a las ventanas o detrás de muebles o cuadros, en definitiva, en zonas mal ventiladas en las que la circulación del aire es restringida.

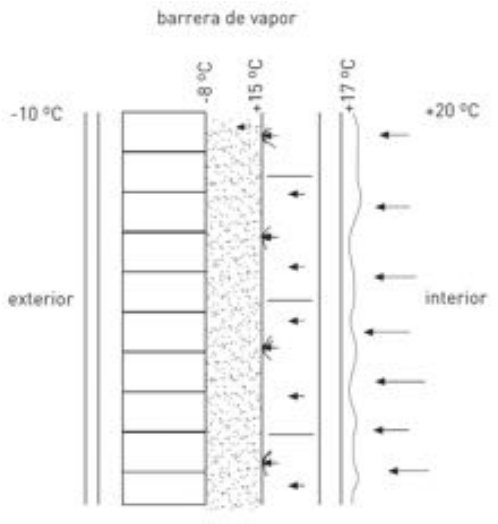
Son manchas debidas a la fructificación de colonias de hongos, bacterias o microorganismos que, en ocasiones, dan lugar a malos olores, como el característico 'olor a moho'. Al ser superficiales, son fáciles de limpiar, pero debido a que la humedad de condensación es consecuencia de un problema térmico, las manchas volverán a aparecer al cabo de un corto período de tiempo si no se ha resuelto ese problema.

Sobre esta cuestión, los expertos han llegado a la conclusión de que para que aparezcan los mohos de condensación la humedad relativa debe ser superior al 70 % y que estos hongos no son seriamente activos hasta que el depósito de agua condensada no se mantiene sobre el 80 % de humedad relativa.

Hasta ahora hemos analizado la condensación que se manifiesta como humedad en la superficie de las paredes interiores, pero este fenómeno no es sólo superficial, ya que se puede dar también en el interior de los materiales o elementos de los muros si en ellos el vapor de agua alcanza la temperatura de saturación. Son las llamadas condensación intersticial, que es la que se produce en el interior de la masa del cerramiento o entre dos de sus capas, y la condensación higroscópica, que se desarrolla dentro de la estructura porosa del material cuando éste contiene sales higroscópicas que facilitan la condensación del vapor de agua ambiente. Con respecto a este último caso hay que indicar que la condensación se produce de manera diferente, ya que si en el aire ambiental 'normal' la condensación se produce cuando éste está saturado, es decir cuando tiene una humedad relativa del 100 %, en ciertos materiales porosos la condensación se puede llegar a desarrollar con una humedad relativa menor, incluso del 70 %.



Condensación del vapor de agua contenido en el aire en cuanto alcanza la temperatura del rocío.



La barrera de vapor impide el paso del vapor de agua contenido en el aire por lo tanto evita la condensación.

Efecto de la inserción de una barrera de vapor en el interior de un muro para evitar la condensación intersticial o interna.

FUENTES DE VAPOR

La producción de vapor en el interior de una vivienda es un factor muy relacionado con la aparición de humedades de condensación, ya que la cantidad de vapor que se introduce en el aire interior contribuye a que éste se sature y, por tanto, a su condensación.

En una vivienda, las fuentes de principales de producción de vapor se hayan en cocinas y baños, sobre todo a causa de la cocción de los alimentos, de la lavadora y el secado de la ropa o el uso de agua caliente en las duchas diarias. Es por ello que en estas estancias se suele recubrir los paramentos con materiales como el azulejo, que, al igual que el cristal, no sean degradables por el vapor de agua.

Otras medidas que sirven para bajar el riesgo de condensación son la instalación de campanas extractoras, que eliminan el vapor o renuevan el aire, y de puertas de cierre automático que impiden que el vapor de agua pase a otras habitaciones. En el resto de la casa, otras fuentes de producción de vapor son la calefacción de gas y las estufas de butano (un litro de gas consumido libera mucho más de un litro de agua en forma de vapor).

Desde luego, la ventilación de la casa es fundamental para reducir el riesgo de condensación y, por tanto, de la aparición de humedades, ya que al 'renovar' el aire interior se consigue disminuir su contenido de vapor de agua.

En general se admite que en una vivienda normal se producen 15 litros diarios de vapor y, teniendo en cuenta ese dato, no es difícil comprender que el riesgo de que aparezcan humedades de condensación es mayor cuanto más pequeña sea la casa. En efecto, en una vivienda de 80 m^2 y 2,40 m de altura, se producirá una emisión de vapor de agua de 78,13 gr/m^3, mientras que en una de 160 m^2 y 2,85 m de altura esa emisión será de 32,89 m^3.

DIFUSIÓN DEL VAPOR Y PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES

El movimiento del vapor en un ambiente es consecuencia de la diferencia de presión que presenta el mismo. Dicho de manera más sencilla, el vapor de agua se desplaza desde los puntos de mayor presión hacia los de menor presión. Al flujo de vapor se le denomina difusión de vapor.

Por ejemplo, si un punto de la parte central de una habitación de una vivienda posee en un momento determinado una humedad relativa del 50 % y una temperatura de 21 ºC (por tanto tiene una presión de 12,2 mbar) y, en cambio, otro punto de la misma habitación situado cerca de una de sus paredes (que como ya hemos explicado siempre están algo más frías) tiene una temperatura de 19 ºC, con lo que su presión es de 10,9 mbar, el vapor de agua se difundirá desde el centro de la estancia hacia esa pared.

Un caso muy habitual y fácilmente apreciable de este fenómeno se produce en los cuartos de baño cuando una persona se ducha con agua caliente y el vapor de agua generado se deposita sobre las superficies de cristal de las ventanas.

De lo que se acaba de decir se deduce que para evitar la aparición de humedades de condensación, los cerramientos de una vivienda deben facilitar el paso del pavor de agua, es decir deben ser permeables al vapor, que por sus propiedades físicas tenderá a fluir hacia el exterior del edificio, donde la temperatura es normalmente menor que en el interior (no hay que olvidar que la presión del vapor es función de la temperatura).

En realidad, cualquier material permite el flujo del vapor, pero en grados y velocidades muy distintos, que varían en función de la estructura porosa del mismo. Si al atravesar las capas del cerramiento el vapor encuentra alguna barrera que lo amortigua o que incrementa su concentración se puede producir tanto una condensación superficial como una intersticial (en el interior de la pared), hecho que significa un grave riesgo de aparición de humedades.

La necesidad y conveniencia de que los paramentos de un edificio faciliten la difusión del valor queda patente en el hecho de que cuando un vendedor de pinturas exteriores quiere explicar la calidad de sus productos siempre hace referencia, entre otras cosas, a la permeabilidad de los mismos frente al vapor.

Sin duda, es un factor fundamental para que el vapor que fluye desde el interior del edificio no genere presiones bajo el revestimiento y no origine humedades, ampollas y abombamientos en los cerramientos.

HUMEDAD ACCIDENTAL

Se consideran humedades accidentales las debidas a las aguas procedentes de accidentes, fallos, roturas o averías puntuales de las redes de instalación del edificio o de los colindantes, como escapes en tuberías, roturas en conducciones, etc., o a descuidos de personas en cuartos de baño, cocinas o lavaderos, como por ejemplo salpicaduras en duchas o un fregado de los suelos con exceso de agua.

En general, podemos decir que las humedades accidentales son todas aquellas que aparecen en una edificación y cuyos daños y causas no pueden enmarcarse en las humedades descritas con anterioridad.

Normalmente, las roturas y escapes en tuberías y conducciones que provocan focos de humedad más o menos cerca de su origen se pueden detectar y reparar con facilidad, con lo que se conseguirá eliminar definitivamente la humedad.

Sin embargo, en ocasiones la causa de aparición de una humedad accidental puede llegar a confundirse con fenómenos de condensación o de filtración de agua desde el exterior. Es lo que sucede cuando en las superficies de las tuberías de agua fría se crea agua de condensación, que se extiende por las paredes dando lugar a la aparición de manchas húmedas.

Además, estas humedades más 'ocultas' o difíciles de detectar pueden provocar otras lesiones, sobre todo mecánicas; de hecho, bastantes veces se ha descubierto que muchos problemas de asientos en una edificación se debían principalmente al colapso de suelos arcillosos anegados o inundados por aguas provenientes de redes de saneamiento o abastecimientos.

La rotura de la red de abastecimiento o saneamiento en esos suelos desencadena un problema que se podría definir como de reacción en cadena, ya que el agua perdida provoca la alteración volumétrica del suelo y ésta, a su vez, origina un nuevo movimiento de la tubería dañada que tiene como consecuencia un incremento de la avería o rotura.

Como norma, debe prestarse especial atención a la salida de aguas por lugares en los que las cañerías que atraviesan pendientes, sobre todo techos y muros, salida que puede protegerse por medio de fundas que aíslen las conducciones de los paramentos.

DETERIORO E INCOMPATIBILIDAD DE LOS MATERIALES

Sin duda, se podrían exponer muchos ejemplos en que la rotura o picadura de las tuberías, causantes de la aparición de las humedades accidentales, se debe al deterioro de los materiales de esas tuberías provocado por la acción negativa del agua que corre a través de ellas o incluso por la incompatibilidad de materiales.

Desde luego, no vamos a ocuparnos aquí del fenómeno de la corrosión de los materiales, que se analizará ampliamente en el capítulo de las patologías químicas, pero sí es conveniente apuntar que tanto la acción del agua como la incompatibilidad de materiales son importantes factores que propician la corrosión de las cañerías y, en consecuencia la aparición de humedades accidentales.

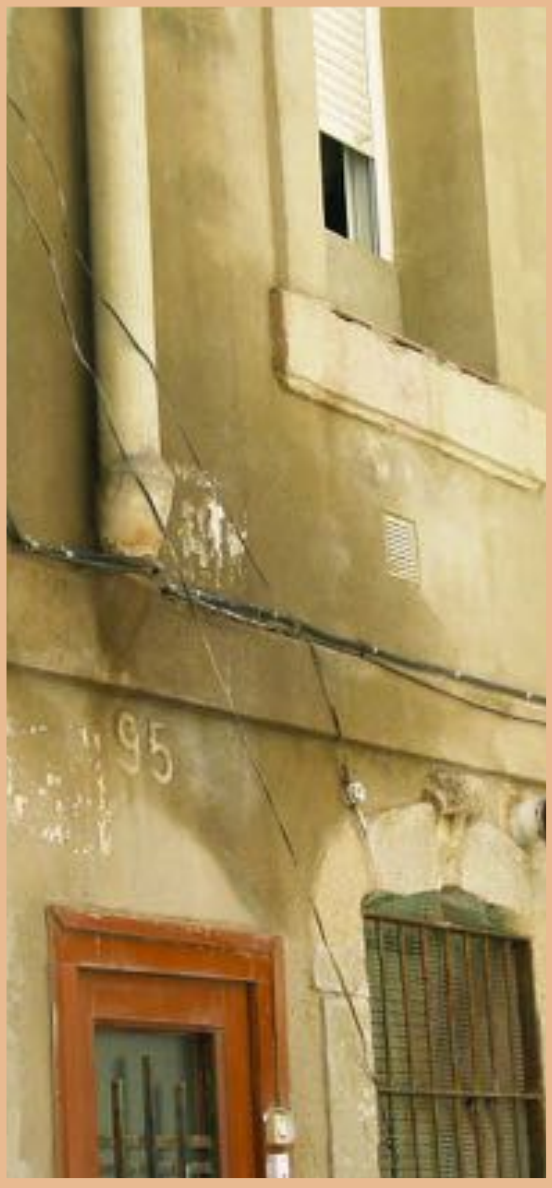
Entre los metales, los binomios cobre/acero, cobre/acero galvanizado, cobre/hierro, cobre/zinc, acero/aluminio y plomo/aluminio tienen un alto índice de incompatibilidad, por lo que al entrar en contacto pueden facilitar la corrosión y posterior rotura de una tubería. Lo mismo ocurre entre hierro/yeso, acero/yeso, aluminio/mortero de cemento. o plomo/mortero de cemento.

En la práctica, si en la red de cañerías de un edificio se han utilizado distintos materiales puede suceder, por ejemplo, que al pasar por una tubería de cobre, el agua disuelva un poco de este metal y lo arrastre hasta depositarlo más lejos, en una tubería o depósito de acero galvanizado. En ese punto, se acelerará la corrosión de la tubería. En este sentido, hay que indicar que la temperatura es una variable que favorece la corrosión y por ello este fenómeno dañino se produce con más frecuencia en las tuberías de agua caliente.

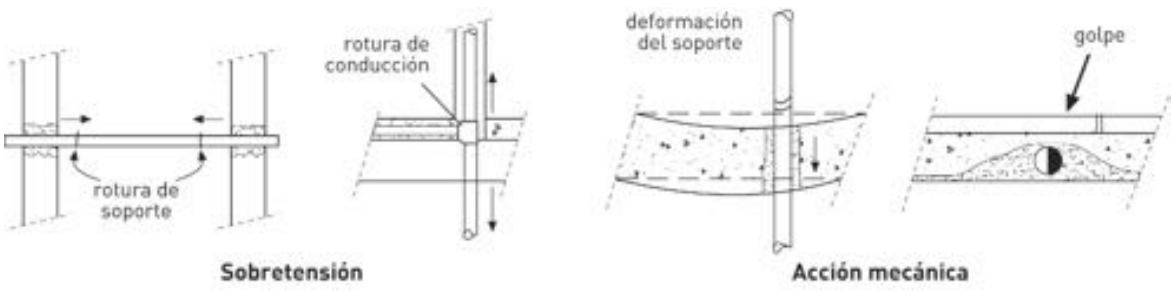
Así pues, resulta fundamental que a la hora de proyectar e instalar la red de tuberías de un edificio se evite que dos materiales incompatibles puedan entrar en contacto, puesto que de este modo se reducirá enormemente el riesgo de aparición de humedades accidentales.

HUMEDADES ACCIDENTALES EN COCINAS Y BAÑOS

El baño y la cocina son los dos espacios de una vivienda con mayor presencia de agua, es decir que son los más húmedos y, por lógica, son las habitaciones donde la picadura o rotura de tuberías y la consiguiente aparición de una humedad accidental tiene más probabilidad de producirse. No hay olvidar que la mayor parte de la red de cañerías de abastecimiento de agua fría y caliente están ocultas en las paredes o bajo el suelo de estas estancias.



Un claro ejemplo en el fallo de una conducción que no tardará en afectar revoques, ladrillos, carpinterías de madera, yesería y pinturas.



Humedades accidentales.

En muchas ocasiones, a causa de la gravedad, las humedades provocadas por la pérdida de agua a través de picaduras, perforaciones y grietas son detectadas en el piso de abajo.

Aún así, las averías causantes de humedades que están consideradas como más frecuentes son las roturas de los manguitos que unen el conjunto de tuberías con los distintos aparatos: lavabos, bidé, cisternas y principalmente, calentadores de agua.

En general, las pérdidas de agua causadas por el deterioro de estas débiles conexiones se deben a defectos de fabricación, mala instalación o montaje y, sobre todo, a la acción de la cal del agua que daña a los materiales utilizados habitualmente para estas uniones.

Hemos hablado hasta ahora de las humedades accidentales provocadas por la rotura, el deterioro, la corrosión o la picadura de la red de tuberías, ya que de hecho suelen ser las más difíciles de detectar y las que más problemas acarrean, pero este tipo de humedades también pueden aparecer, especialmente en baños y cocinas, por un mal uso del agua por parte de los ocupantes de una vivienda.

Por ejemplo, el suelo de estos dos cuartos suele recibir varios fregados diarios y si éste se realiza con un exceso de agua, ésta puede llegar a infiltrarse a través de las juntas de las baldosas y penetrar en el techo del piso de abajo dando lugar a la aparición de humedades.

La misma situación se puede producir si no se ha realizado un correcto sellado, con 'cordón de silicona', del encuentro de la bañera con las paredes. En este caso, el agua salpicada de la ducha, o la que se desborda cuando se llena la bañera, puede deslizarse por la pared a la que esté adosada la bañera, deslizarse hasta llegar al relleno del suelo y saturar de humedad el mortero.

EROSIONES

La erosión física de los materiales se define como el resultado de la acción destructora de los agentes atmosféricos que a través de procesos físicos provocan alteración y deterioro progresivos de los materiales, a veces hasta su total destrucción, sin que varíe su composición química.

TIPOLOGÍA DE LAS EROSIONES

Tres son los agentes atmosféricos que provocan las erosiones físicas en una construcción:

- **AGUA**, que como analizaremos a continuación puede actuar de muy diversas maneras;
- **SOL**, que calienta los cerramientos produciendo cambios térmicos; estas variaciones de temperatura provocan alteraciones en el volumen y tensiones internas en el material que pueden traducirse en la aparición de grietas y fisuras.
- **VIENTO**, que lanza partículas contra las fachadas, o las arrastra sobre ellas, desgastando su superficie.

Los materiales se erosionan a causa de un proceso de alteración natural debido a la acción de los agentes naturales, pero este problema se ha agravado, sobre todo en el caso del agua, por el aumento de agresividad de las cargas polutivas de las atmósferas urbanas e industriales, que cada vez están más contaminadas.

AGUA

El agua puede atacar a los materiales de un edificio de formas muy distintas. La agresión que se comprende sin dificultad es el efecto dañino de la lluvia, el granizo o la nieve cuando golpean las fachadas. El agua desgasta el material y provoca desprendimientos y arrastres de partículas del mismo (se considera que una gota de agua depositada en un plano vertical de un material absorbente y con alto grado de saturación, recorre, hasta que agota su velocidad y es absorbida, entre 40 y 60 cm arrastrando polvo).

Por lo general, estas pérdidas de partículas se producen en forma de pulvurulencia, cuando el material se desprende en forma de polvo, arenización, cuando lo hace bajo el aspecto de arena, y escamaciones o exfoliaciones, cuando lo hace en forma de escamas o lajas. Estos daños continuados pueden reblandecer las características resistentes de un material y llegar a provocar fisuras.

Otro problema derivado de la acción del agua se manifiesta a través del ciclo de humedecimiento y secado. La lluvia, o la nieve, humedece los materiales de un edificio y, los materiales porosos experimentan un aumento de volumen por la acción del agua ante la compresión radial debida a la absorción capilar. Cuando el agua absorbida se evapora, es decir, cuando se produce el secado del material, éste sufre una retracción que es superior a la dilatación provocada por el aumento de humedad. La repetición de este fenómeno en ciclos creará una serie de tensiones que terminan afectando al material y provocando su erosión o la aparición de fisuras.

Por otro lado, la evaporación del agua también da lugar a la cristalización de las sales higroscópicas que contiene en la superficie o en los poros de los materiales de las fachadas. Este fenómeno, denominado criptoflorescencia, genera un elevado deterioro en los muros. Además, el volumen de ésta contenida en el interior de la estructura porosa de un material puede aumentar y crear fuertes tracciones. Los peores daños se ocasionan cuando el agua interior se hiela, hecho que no sólo llega a provocar erosiones, sino también fracturas. La causa directa de estas lesiones es fácil de comprender, ya que todos sabemos que al transformarse en hielo el agua se dilata aproximadamente un 9 % y de este modo va rompiendo las distintas capas de los materiales. En general, los principales efectos de esta lesión son:

- **REDONDEADOS** en las aristas o las esquinas de los sillares y de los ladrillos debido a que su exposición es mayor;
- **ARENIZACIÓN** de los materiales porosos (areniscas y cerámicas);
- **EXFOLIACIONES** en los sillares.

En concreto, cuando el agua que penetra por los poros interiores de los ladrillos de arcilla se congela, se dilata y desintegra y desconcha la superficie de los mismos. Existen muy diversos tipos de ladrillos, cada uno de los cuales presenta una resistencia distinta a las heladas. Los más vulnerables son los muy porosos y con un elevado número de poros abiertos y conectados entre sí.

VARIACIONES HIGROTÉRMICAS

Al hablar de la erosión provocada por el agua en los materiales se hacía imposible no referirse a los efectos producidos por los cambios de temperatura, pero ahora resulta conveniente extenderse sobre este tema, ya que es un fenómeno inherente a cualquier edificación.

Los materiales constructivos de los edificios están sujetos a ciclos de temperatura diarios y estacionales. Estas variaciones de temperatura son importantes fuentes de tensiones, pues al calentarse un material se dilata mientras que al enfriarse se contrae, que pueden generar erosiones, fisuras e incluso roturas. Son características, por ejemplo, las grietas y fisuras que aparecen en la madera cuando ésta sufre una pérdida del agua contenida en sus fibras.



Desconchamiento de ladrillos por acción del congelamiento del agua contenida en los poros del material.

En definitiva, las variaciones de temperatura provocan cambios dimensionales y, en consecuencia, movimientos de los materiales. Por lógica, la dilatación y restricción térmicas dependen de la estructura y las características propias de cada material y, además, de la longitud de las piezas que se hayan utilizado en la construcción de un edificio: las piezas más largas generan más tensiones que las de menor longitud.

Por ejemplo, los movimientos de los ladrillos y de los morteros son diferentes debido al distinto comportamiento de ambos materiales. Evidentemente, los problemas aparecerán si no se han previsto soluciones constructivas que permitan la dilatación térmica y el desplazamiento de cada material. De ser así, los materiales de revestimiento sufrirán arqueamientos, deformaciones y microgrietas en su superficie que acelerarán su deterioro.

Este fenómeno es la causa de que en los rincones de las habitaciones de fachada aparezcan fisuras verticales a lo largo del diedro o de los encuentros de los tabiques con los pilares, de que los tabiques del salón se partan verticalmente o de que en los fondos de los armarios se produzcan fisuras horizontales.

A continuación se ofrece una tabla en la que se muestra la diferente dilatación térmica que sufren distintos materiales constructivos. Los datos se refieren a los movimientos que experimentan piezas de 1 metro de longitud cuando sufren una variación térmica de 30 ºC.

MATERIAL	mm
Mármol	0,15
Hormigón	0,3-0,4
Caliza	0,15
Granito	0,25
Mortero cal/arena	0,3-0,4
Ladrillo y terracota	0,15-0,20
Hierro	0,3
Vidrio	0,3
Aluminio	0,7
Resinas termoplásticas	1,5-3,0

DILATACIÓN LONGITUDINAL EN MILÍMETROS DE PIEZAS DE 1 METRO DE LARGO DE DISTINTOS MATERIALES AL EXPERIMENTAR UNA VARIACIÓN TÉRMICA DE 30 ºC

Como se puede apreciar en la tabla, el hierro y el hormigón tienen coeficientes de dilatación térmica bastante superiores a los del ladrillo, la caliza o la terracota y este hecho debe ser tenido muy en cuenta, por ejemplo, cuando se refuerza alguna construcción antigua con materiales como el acero o el hormigón. No es infrecuente que al utilizar estructuras modernas como refuerzo de un edificio antiguo se omita prever la posible dilatación térmica de los materiales que conforman las primeras, es decir que no dispongan del espacio necesario para desplazarse, y ello desemboque en un deterioro acelerado.

Por otro lado, también hay que considerar que en ciertos materiales las variaciones térmicas provoque tensiones entre su superficie y su parte más interna debido a que esas dos zonas responden de manera distinta a los cambios de temperatura.

En otras palabras, el movimiento de un material homogéneo no sólo puede quedar restringido porque encuentre la oposición de otro elemento constructivo, sino también por su propio comportamiento, por la tensión que puede originarse entre la superficie y el interior cuando el cambio térmico afecta de manera diferente a la parte externa y a la interna.

En estos casos, un aumento de temperatura provoca el calentamiento de la superficie, que por ello tenderá a dilatarse, pero su movimiento se verá restringido por la parte interior, que está más fría. El resultado es una compresión en la superficie del material y una tracción en su parte interior. Estas tensiones serán absorbidas si el material es dúctil, sin embargo si es frágil provocarán fisuraciones y roturas.

También puede suceder lo contrario: si la superficie de un material se enfría, mientras que el interior permanece caliente aquella sufrirá una tracción y ésta una compresión.

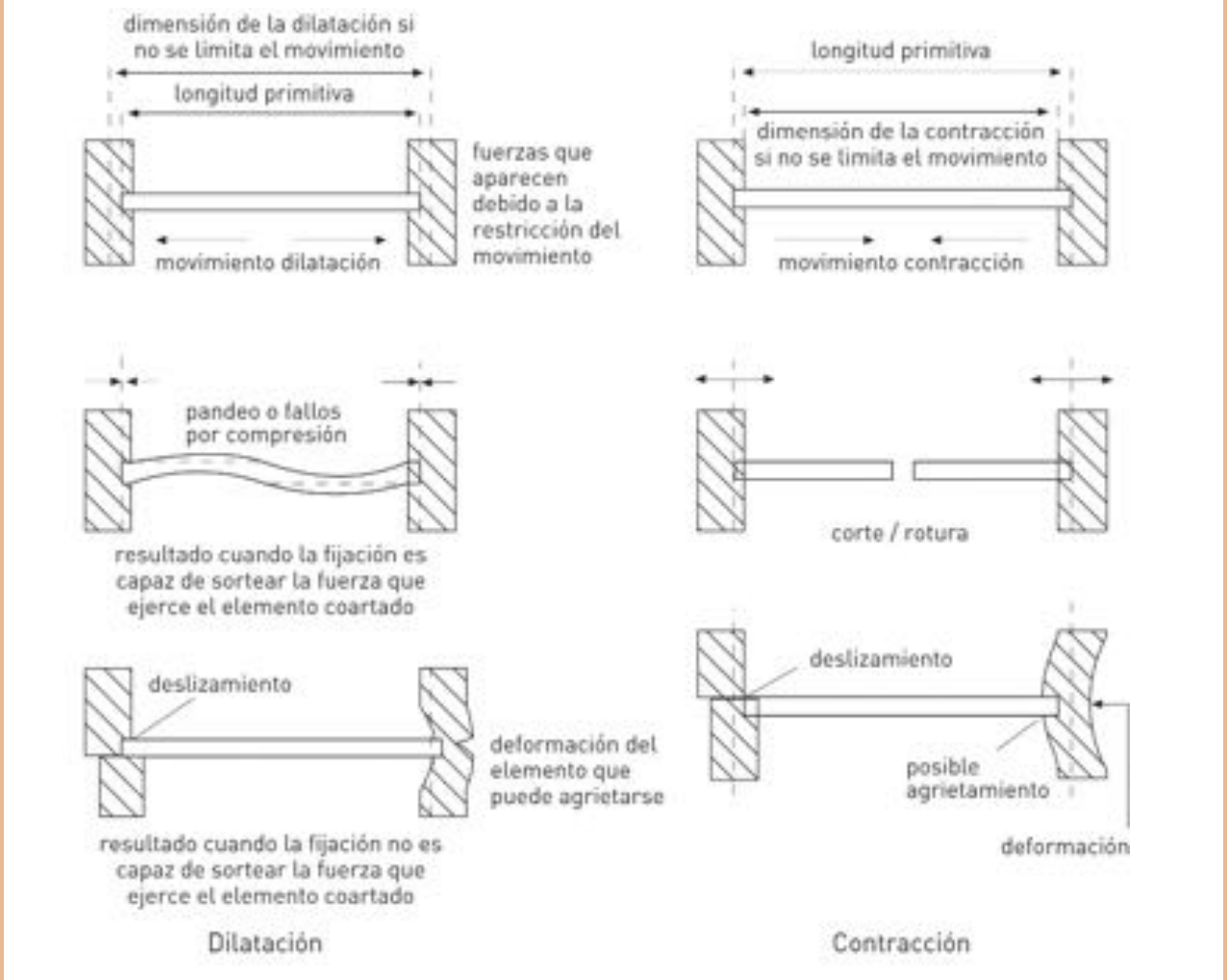
En este caso, si el material es dúctil las tensiones serán absorbidas pero se originará una deformación, pero si es frágil, pueden aparecer grietas perpendiculares a la superficie.

Como hemos mencionado con anterioridad, los cambios de temperatura en un material también pueden deberse a la variación en su contenido de agua o de humedad y ello resulta especialmente habitual durante los procesos de secado.

Por ejemplo, la superficie de un material que ha necesitado una cierta cantidad de agua para su preparación o su aplicación en la fábrica se seca con mayor rapidez que la parte interior; esto implica que la superficie, cuando ya esté seca y rígida, actuará como freno ante el movimiento de contracción que se producirá en el interior del material mientras todavía esté húmeda. Las direcciones de los movimientos serán las mismas que en el caso de calentamiento de la superficie, pero con la diferencia de que el movimiento se produce en el interior.

Esta es, desde luego, una de las razones por las que el proceso de secado de cualquier material constructivo debe llevarse a cabo de manera lenta y uniforme.

En cualquier caso, los movimientos por variación del contenido de humedad son de dilatación cuando aumenta el contenido de humedad y de retracción cuando se produce una pérdida y sólo afectan a los materiales porosos. Algunos movimientos de este tipo resultan irreversibles y se manifiestan cuando el agua necesaria para la obtención de un material (pastas, morteros y hormigones) se evapora o cuando al material se le hace perder agua propia para poderlo utilizar en la construcción de edificios (madera).



Movimientos higrotérmicos. Deformaciones.

Pero este proceso también puede ser reversible cuando, una vez secado, el material cambia su contenido de humedad.

Para terminar, no debe olvidarse que los movimientos por variación del contenido de humedad afectan más a los materiales colocados en el exterior de los edificios y que la tipología de esos movimientos varían en función del material. He aquí algunos ejemplos:

- **LA MADERA SUFRE FUERTES RETRACCIONES IRREVERSIBLES DURANTE EL SECADO**, pero una vez que ha sido puesta en obra, ya sea en elementos estructurales como en revestimientos laminares, esas restricciones son reversibles.

- **EN AMBOS CASOS, EL MATERIAL PUEDE COMBARSE O AGRIETARSE** y, en el segundo, dañar a otros elementos a los que esté unido, como yesos y pinturas.

- **LOS HORMIGONES TAMBIÉN SE RETRAEN DE MANERA IRREVERSIBLE DURANTE EL PROCESO DE CURADO**, pero normalmente, cuando forma parte de una fábrica, sus retracciones son absorbidas por las armaduras.

- **LAS PASTAS Y LOS MORTEROS SUFREN FISURACIONES POR RETRACCIÓN**, pero si la adhesión en la base es buena y la cantidad de agua la mínima indispensable, las fisuras se reparten de modo uniforme y no provocan problemas. En cambio, si la adhesión no es buena y hay una excesiva cantidad de agua, la retracción puede provocar grietas importantes y separar el recubrimiento de la base.

- **LOS PROCESOS REVERSIBLES QUE SUFREN LOS MORTEROS** son más importantes cuanto mayor sea la variación de humedad y, por ello, los de mayor riesgo son los situados en lugares exteriores.

VIENTO

La acción erosiva del viento deriva de que es el agente que determina la inclinación y la fuerza de impacto del agua de lluvia sobre las fachadas. Además, transporta partículas atmosféricas y las lanza contra los paramentos desgastando sus superficies. Impulsada por la acción del viento, el agua de lluvia puede erosionar los ladrillos y los morteros, producir cavidades en las superficies de las areniscas y redondear los cantos de las calizas y graníticas. Las zonas de un edificio más expuestas al deterioro provocado por el viento son las partes altas de coronación de un edificio, especialmente si está aislado, las esquinas de las edificaciones y las zonas situadas detrás de obstáculos perpendiculares a la acción del viento, a causa de los efectos de remolino. Además, la acción del viento contribuye a intensificar el poder de penetración y de desplazamiento capilar del agua, recorriendo grandes distancias y alcanzando con facilidad los lugares más recónditos; así puede corroer las grapas ocultas de una sillería de piedra con la misma capacidad con la que puede atacar a la armadura principal de un hormigón de porosidad razonable.

Puesto que la velocidad del viento que impacta sobre la superficie de las fachadas influye en la evaporación del agua que puedan contener esos paramentos, también contribuirá a la cristalización de las sales solubles, cuyos procesos de formación y efectos nocivos se explicarán detalladamente en el apartado de las patologías químicas.

Como conclusión de las erosiones físicas, es oportuno indicar que para evitar que las fachadas se puedan erosionar resulta fundamental conocer los agentes que pueden ocasionar esa erosión y, así, elegir los materiales constructivos más adecuados. También es importante evitar la humedad, ya que como hemos visto, la presencia de agua es una constante en casi todas las formas de erosión. En este sentido, lo correcto sería tomar medidas para evitar que se estanque en cornisas y salientes horizontales, establecer goterones y, si ello es posible, colocar un revestimiento hidrófugo en toda la fachada.

PROCESOS BIOFÍSICOS

Como se ha dicho con anterioridad, todos los materiales constructivos pueden sufrir ataques de agentes externos como el viento, la lluvia, el hielo, etc. En este sentido, es conveniente analizar las causas de destrucción de la madera, un material de naturaleza orgánica que, precisamente por esta característica, puede sufrir también ataques y alteraciones de origen biofísico. En concreto, nos estamos refiriendo a la pudrición de la madera, es decir, al proceso que da lugar a la segregación de sus componentes constitutivos con la consiguiente alteración de sus propiedades físicas, químicas y organolépticas. Las principales causas biofísicas de la pudrición son la acción de los hongos y de los insectos xilófagos.

HONGOS

Los hongos atacan a las maderas produciendo pudriciones que no sólo varían su aspecto, sino que pueden acabar destruyendo los elementos leñosos. En general, su efecto suele ser leve, pero en ocasiones pueden llegar a provocar la destrucción total del material.El ataque de los hongos a la madera es una consecuencia de la presencia de humedad, ya que son organismos vegetales sin clorofila que se reproducen por esporas, que son transportadas por el viento y consiguen desarrollarse en la madera en la que han sido depositadas cuando las condiciones son favorables para su germinación.

Aunque existen muchos tipos de hongos, cuya acción no siempre es la misma, sus condiciones de vida son muy similares.

En general, es necesario que la humedad de la madera sea superior al 20 %, que la temperatura sea de 25-30 ºC y que haya oscuridad y mala ventilación. El mecanismo de ataque de los distintos hongos también es parecido y consiste en una descomposición química de la celulosa y de la lignina.

En concreto, la parte destructiva de un hongo es el llamado micelio, que está compuesto por una serie de conductos filamentosos denominados hifas.

Éstas se ramifican, penetran en la madera y provocan su pudrición, que se puede manifestar de distintos modos: diferentes coloraciones de la madera y alteraciones en su continuidad y textura que hacen que se seque, se reblandezca y se vuelva esponjosa y débil.

Una vez que un hongo ha conseguido penetrar en un elemento de madera, se propaga y puede llegar a atravesar los muros de ladrillo.

Puesto que la humedad es tal vez el factor más importante para el desarrollo de los hongos, en la siguiente tabla ofrecemos el contenido normal de humedad que deben tener distintos elementos constructivos de madera.



Erosión mecánica de las partículas que transporta el viento sobre el mortero de agarre de este muro de ladrillos.



Erosión mecánica por el paso de vehículos sobre las piezas de piedra en esquina en la entrada a una callejuela.

Resumiendo, diremos que para la germinación y posterior desarrollo de los hongos y, por tanto, para la aparición de pudriciones son necesarias las cuatro siguientes condiciones:

- **ALIMENTO PARA LOS HONGOS.** Constituido por los propios tejidos de la madera.

- **AIRE.** Los hongos siempre podrán obtenerlo, aunque sea en pequeña cantidad, a menos que la madera esté sumergida en el agua.

- **HUMEDAD**. Como ya se ha dicho, es la condición más importante y, para que los hongos se desarrollen y la pudrición progrese, la madera debe tener como mínimo un 20 % de humedad. Si cuando ya ha comenzado el proceso de pudrición la cantidad de humedad de la madera desciende por debajo del 20 %, la pudrición se detiene.

  Pero por lo general los hongos no desaparecen, sino que se mantienen en un estado 'inactivo' hasta que las condiciones de humedad vuelvan a ser favorables para su acción.

- **TEMPERATURA**, en general, se considera que por debajo de los 2 ºC no se produce el fenómeno de la pudrición y que a temperaturas superiores a los 40 ºC se interrumpe el desarrollo del micelio de los hongos.

Aunque existen muchas clases de hongos que pueden atacar a la madera, de manera general y refiriéndonos a los que suelen aparecer en los elementos constructivos (y no, por ejemplo, a los que se desarrollan en los árboles), podemos subdividirlos en dos grandes grupos, los que provocan una coloración en la madera y los que atacan a la madera en servicio.

SITUACIÓN DE LA MADERA EN EL EDIFICIO	CONTENIDO MEDIO DE HUMEDAD UNA VEZ SECO EL EDIFICIO (% DE PESO SECO)	CONTENIDO DE HUMEDAD QUE NO DEBE SOBREPASARSE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN (% DE PESO SECO)
Estructuras y revestimientos de edificios de madera (no prefabricados)	16	22
Madera de construcciones prefabricadas	16	17 (en obras de precisión) 22 (en los demás casos)
Vigas y tableros de cubierta, aplacados, listones, etc.	15	22
Viguetas de planta baja	18	22
Viguetas de pisos superiores	15	22
Ebanistería y pavimentos:		
a. en edificios poco calefaccionados	14	14
b. en edificios con calefacción continua	11-12	12
c. en edificios con alto grado de calefacción central (por ejemplo, hospitales)	10	10
Pavimentos sobre elementos de calefacción	8-9	9

PORCENTAJES DE HUMEDAD DE MADERAS A SER UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN

HONGOS QUE PROVOCAN COLORACIÓN

Algunos pueden causar graves daños, pero otros no llegan a perjudicar las características mecánicas de la madera. Está claro que el efecto más llamativo que provocan estos hongos es una coloración del material. En función del color podemos distinguir los siguientes hongos:

- **POLYPORUS SULPHUREUS**. Produce una coloración parda, prismática o cúbica, en la madera. Ataca a la celulosa y, en consecuencia, los residuos de lignina se rompen en trozos que tienen forma de prisma o cubo. Esta destrucción del material se vuelve visible cuando la madera ya ha perdido el 10-20 % de su peso, momento en que ha perdido también el 90-95 % de su resistencia mecánica.

- **POLYPORUS BOREALIS**. La madera asume un color blanco. El ataque de este hongo produce una pudrición corrosiva y cavernosa que afecta sobre todo a la lignina y provoca la aparición de unas manchas de celulosa de color blancuzco.

- **CERATOSTOMELLA**. Este género de hongos se alimenta de las materias de reserva de la madera y, por ello, no llega a destruirla, es decir que su resistencia mecánica se mantiene bastante estable. Por tanto, puede utilizarse en la construcción de un edificio, aunque es evidente que su valor, al menos el comercial, disminuye notablemente debido a su aspecto.

HONGOS QUE ATACAN A LA MADERA EN SERVICIO

Los más habituales son:

- **HONGO DOMÉSTICO** (Merulius Lacrymans). Su capacidad destructiva es muy elevada y, en pocos meses, puede provocar la destrucción total de la madera. Aparece tanto en ambientes secos como húmedos. En los primeros, da lugar a la aparición de una especie de fieltro de color gris sobre la madera, mientras que en un ambiente húmedo, el hongo se desarrolla en masas algodonosas de color blanco cuya principal característica es una exudación que cae en gotas.

- **CANIOPHORA CEREBELLA**. Produce una pudrición parda pero no prismática. Aparece sobre todo en ambientes húmedos y, por tanto, es el más frecuente cuando el proceso de secado de la madera utilizada en elementos constructivos de una casa nueva no ha sido el correcto.

INSECTOS XILÓFAGOS

Además de su propia acción destructora, los hongos significan otro gran peligro para la madera, ya que sirven de alimento a los insectos xilófagos, cuya potencia destructora es muy similar a la de los hongos.

Durante su crecimiento es cuando los insectos causan un mayor daño a la madera y su ataque consiste en la perforación de galerías en el material. Cuando el diámetro de las galerías es pequeño, éstas reciben el nombre de picaduras.

De manera global y en función de cómo se reproducen, los insectos xilófagos suelen dividirse en dos tipos, los que se introducen en forma de huevos y no se reproducen a expensas de la madera y los que se reproducen en la madera, que son los más dañinos.

Insectos xilófagos introducidos en forma de huevos. Se desarrollan en los árboles y no atacan a las maderas en servicio, por lo que no afectan a los edificios.

Insectos xilófagos que se reproducen en la madera. Los más comunes son:

- **TERMITAS U HORMIGAS BLANCAS**. Son los insectos más dañinos para la madera y existen dos grupos principales: 1) termitas subterráneas, que viven en grandes colonias en el suelo y forman nidos secundarios en la madera. Necesitan un ambiente algo húmedo y no suelen abrir galerías, sino que, en general, destruyen las partes blandas del material convirtiéndolo en una masa sin resistencia. 2) termitas de madera seca, cuyo ataque resulta muy grave, ya que pueden destruir toda la estructura interna de un elemento de madera sin que por fuera se note nada, pues siempre dejan intacta una capa exterior de 1 o 2 milímetros de espesor.

- **LYCTUS**. Las larvas de este coleóptero abren galerías en el interior de la madera alimentándose del almidón almacenado en las células de reserva.

- **CARCOMA**. Es un coleóptero y sus larvas abren profundas galerías en la madera. No dañan la superficie del material y, por ello, su presencia sólo se detecta por el característico polvillo que se acumula alrededor de los orificios abiertos por los insectos.

SUCIEDAD

La suciedad de una fachada puede definirse como el depósito y la acumulación de partículas y substancias contenidas en el aire atmosférico tanto en la superficie exterior de la fachada como en el interior de los poros de la misma. Este último caso es el más dañino para el material de fachada, ya que significa la parte final del proceso patológico del ensuciamiento.

El fenómeno de ensuciamiento de las fachadas está estrechamente relacionado con otras lesiones de origen químico, ya que, por ejemplo, las particulas ensuciantes que se adhieren a un paramento pueden llegar a reaccionar químicamente con ciertos componentes de los materiales del mismo y provocar peligrosas patologías. Sin embargo, ahora analizaremos el ensuciamiento como proceso autónomo, mientras que en el apartado tercero de este mismo capítulo se estudiarán los fenómenos de la erosión química, de las eflorescencias y de la posible acumulación de organismos en las fachadas.

Evidentemente, cuanto mayor sea la cantidad de partículas ensuciantes contenidas en la atmósfera, y cuanto más porosa sea la fachada, mayor será la posibilidad de que ésta se ensucie. No obstante, éstos no son los únicos factores que intervienen en el proceso de ensuciamiento, ya que existen una serie de 'agentes' que favorecen la aparición y el desarrollo del mismo. A continuación los analizaremos con detenimiento.



Fachada no sólo afectada por suciedad sino también por rajaduras múltiples en el revoco reseco debido a la alternancia de humedad y soleamiento. La porosidad del antiguo revoco colabora en gran medida en la retención de humedad y suciedad

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE ENSUCIAMIENTO

La acumulación de suciedad sobre las fachadas es un hecho general e inevitable, puesto que cualquier edificio está rodeado de aire atmosférico y, por tanto, es susceptible de 'recibir' particulas orgánicas e inórgánicas que se hallan suspendidas en ese aire. Sin embargo, no es difícil comprender que en las grandes ciudades, donde la contaminación atmosférica es mucho mayor, el fenómeno del ensuciamiento se manifiesta con más intensidad.

En general, los factores que intervienen en la formación y el desarrollo de las suciedades se pueden dividir en tres grandes grupos: los relacionados con el clima o el aire atmosférico que afecta directamente a la fachada, los que se refieren a la naturaleza de los materiales de la fachada y los que tienen que ver con las características arquitectónicas de la misma.

PARTÍCULAS CONTAMINANTES

En esta denominación se incluyen las partículas en suspensión en el aire, tanto las del polvo atmosférico como las resultantes de la combustión de distintos productos. Suponen la causa inmediata y directa del ensuciamiento físico de las fachadas, ya que tienden a depositarse en las superficies de los obstáculos que encuentran a su paso y, por tanto, también sobre las fachadas de los edificios. Cuando se acumulan sobre los paramentos, llegan a provocar un cambio de color de la superficie. Las partículas contaminantes se pueden clasificar por su tamaño o por su origen.

El tamaño de las partículas es un aspecto muy importante, ya que determina el tiempo de permanencia en suspensión atmosférica de las mismas, así como la manera en que se produce su adhesión sobre las fachadas: por vía seca o por vía húmeda (lluvia).

Cuando las partículas tienen un tamaño comprendido entre 0,0001 y 0,1 mm de diámetro se denominan *aerosoles* y entre ellos están la calina, la niebla o el humo de tabaco. Su formación y eliminación es un proceso dinámico y continuo, pues después de un cierto período de estar suspendidas en el aire, estas partículas, por sedimentación, aglomeración o coagulación, dan lugar a unidades más grandes que son arrastradas por las lluvias. En general se considera que la vida media de los aerosoles es de treinta días.

En cambio, el conjunto de partículas cuyo tamaño oscila entre 0,1 y 1000 mm de diámetro recibe el nombre de polvo atmosférico. Pueden ser orgánicas (polen, semillas, esporas, etc.) o inorgánicas (arena, hollín, ceniza, polvos de carbón, de mineral de hierro, etc.). A diferencia de las primeras, las segundas tienen un gran poder ensuciante. Todas ellas son transportadas por el viento y después de permanecer un corto período de tiempo en la atmósfera, se suelen depositar en las fachadas de los edificios cercanos a las fuentes emisoras (chimeneas de calefacción, industrias, etc.).

Por otra parte, de manera global y según la manera en que se originan, las partículas contaminantes pueden subdividirse en dos grandes grupos, las de origen natural y las de origen artificial. Las primeras pueden producir un ligero ensuciamiento, pero por sí mismas no son peligrosas desde el punto de vista patológico (aunque siempre hay que tener en cuenta que su depósito puede dar lugar a la aparición de organismos vegetales, que como ya hemos dicho se estudiarán más adelante y que sí que pueden provocar lesiones importantes). Entre las partículas de origen natural podemos distinguir las orgánicas, resultantes del proceso vital de los vegetales (polen, semillas o esporas de flores y plantas pequeñas), y las inorgánicas, entre las que destacan el polvo de tierra y piedras o la arena fina.

En cambio, las partículas contaminantes de origen artificial sí resultan peligrosas para las fachadas, ya que tienen un alto poder ensuciante, tanto por su mayor tamaño (por lo común superior a las 20 μm de diámetro) como por su color (pardo, gris o negro). Entre las fuentes productoras de partículas de origen artificial deben distinguirse dos grandes grupos, las urbanas y las industriales.

Las fuentes urbanas más importantes son:

- **EL TRÁFICO RODADO**. Tiene como consecuencia la formación de partículas debidas a la combustión de los motores de los vehículos. Su composición varía en función de los carburantes, pero los compuestos más comunes son el monóxido de carbono (CO), el óxido de nitrógeno (NO), los hidrocarburos y distintos compuestos del plomo.

- **CALEFACCIONES**. La combustión de calderas para calefacciones también provoca la formación de partículas contaminantes. En una zona urbana, éstas pueden llegar a constituir el 50 % de los contaminantes atmosféricos y los compuestos más habituales son el óxido de carbono (CO), los hidrocarburos, los hollines, las cenizas y los compuestos sulfurados y nitrogenados.

En ambos casos, las partículas pasan a formar parte inmediatamente del polvo atmosférico y de los aerosoles y, además de significar un gran peligro de ensuciamiento de las superficies de las fachadas, tienen una gran facilidad de penetración a través de los poros de los materiales de las mismas.

Por lo que se refiere a las fuentes industriales, la combustión y las distintas reacciones químicas que se desarrollan en las industrias producen partículas contaminantes.

Hoy en día, los polígonos industriales se hallan muy cerca de las ciudades, por lo que su influencia en el ensuciamiento de las fachadas de los núcleos urbanos es muy significativa, especialmente si se tiene en cuenta que este tipo de partículas son las de mayor tamaño (entre 20 y 50 mm de diámetro medio).

Los componentes más frecuentes de estas partículas son el carbono, los alquitranes y una serie de metales como el silicio, el calcio, el sodio, el aluminio, el hierro, el magnesio y el plomo.

Evidentemente, la composición de las partículas depende del tipo de industria, pero en cualquier caso pueden llegar a formar nubes que, al desplazarse, tienden a depositarse sobre cualquier superficie, incluidos los paramentos de los edificios.



No sólo se ha perdido el color original de esta fachada sino que también se ven acusados los “churretones” debajo de las ventanas por el efecto llamado “lavado diferencial”.

VIENTO

El viento tiene gran influencia en el fenómeno de ensuciamiento de las fachadas, ya que su acción tiene efectos negativos y positivos. En efecto, puede ser negativo por su capacidad de transportar las particulas contaminantes desde sus fuentes de emisión hasta las fachadas, pero también puede resultar beneficioso porque en ocasiones su acción contribuye a limpiar de manera directa los paramentos eliminando las partículas que se han depositado y acumulado sobre ellos. Así mismo, favorece la dispersión de las partículas en los lugares en los que se originan, lo cual ayuda a reducir el ensuciamiento de las fachadas de los edificios que se encuentran en zonas cercanas a esos lugares de emisión de productos contaminantes.

Desde luego, el efecto beneficioso del viento dependerá de su velocidad y será mayor en las zonas de las fachadas más expuestas a su acción, como las esquinas laterales y las cornisas. En ellas es más difícil que se depositen partículas ensuciantes, y mucho más cuando un determinado edificio no tiene en las proximidades otras construcciones que puedan 'protegerlo' de la acción del viento. Por el contrario, la acción limpiadora del viento es muy reducida en las partes bajas de las fachadas, ya que, como es fácil comprender, la fuerza o velocidad con las que actúa sobre esa zona de los paramentos tiene muy poca intensidad y, por tanto, escasa capacidad de limpieza.



Deterioro muy avanzado de una fachada atacada por múltiples humedades.

Esta es la razón de que en muchos edificios la parte de la fachada correspondiente a las plantas superiores aparezca más limpia que la de las inferiores, o de que el conjunto de la esquina presente menos ensuciamiento que el resto de la fachada.

Las posibilidades de limpieza (o ausencia de ensuciamiento) aumentan cuando el viento actúa conjuntamente con el agua de lluvia.

De hecho, el primero es el que determina la inclinación y la fuerza de impacto de la segunda. Indudablemente, a mayor fuerza de impacto se producirá un lavado superficial más intenso.

AGUA

Al igual que el viento, es un agente de mucha importancia en el proceso de ensuciamiento de las fachadas. De hecho, el agua también tiene una influencia negativa, el transporte de partículas contaminantes hasta depositarlas en elementos salientes de la fachada o en el interior de los poros del material, y otra positiva, eliminación de partículas ya depositadas y, por tanto, limpieza de la fachada.

Básicamente, el agua llega a las fachadas de dos formas distintas: lluvia y condensación del vapor de agua.

Evidentemente, las gotas de agua de lluvia llegan a una fachada con una determinada fuerza, fuerza que depende del tamaño de la gota y de la inclinación de caída. Este último factor está estrechamente relacionado con la acción del viento y, normalmente, se considera que la lluvia cae con una inclinación del 10 % con respecto al plano vertical.

Independientemente de su intensidad, al impactar sobre una fachada el agua de lluvia sigue tres fases distintas:

- **MOJADO**: las primeras gotas mojan la superficie de la fachada y, por capilaridad, penetran en los poros superficiales. Lógicamente, la intensidad de esta penetración dependerá mucho del material de la fachada.

- **SATURACIÓN**: llega un momento en que el material de la fachada se satura, es decir que ya no puede absorber más agua en sus poros superficiales.

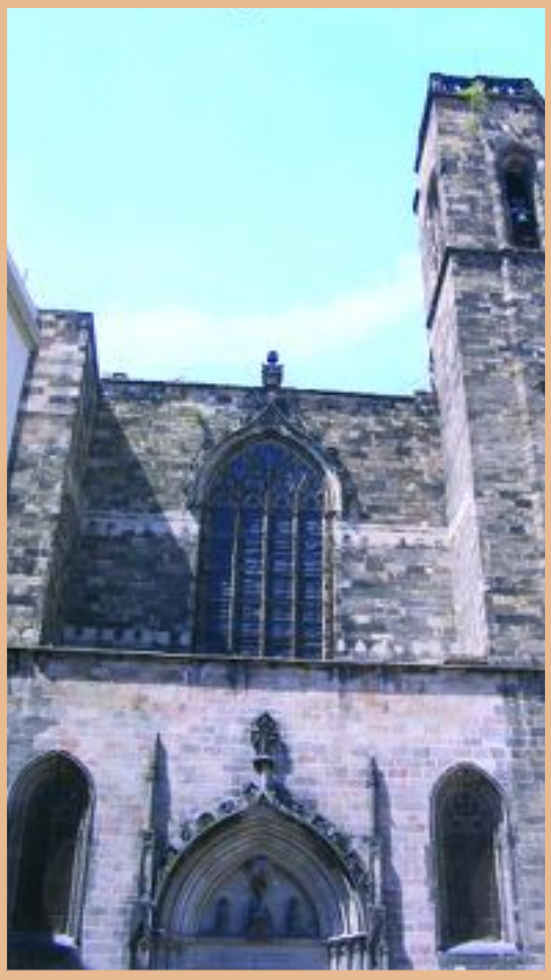
- **LÁMINA O PELÍCULA DE AGUA**: cuando el material de la fachada se ha saturado, el agua de lluvia empieza a deslizarse por la superficie formando una lámina o película.

Cuando la intensidad de la lluvia es baja, no llega a producirse una acumulación de agua y, por tanto, la lámina que se adhiere a la superficie de la fachada queda en reposo, dando lugar a un ensuciamiento uniforme debido a que únicamente se produce el fenómeno de capilaridad propio de la fase de mojado.

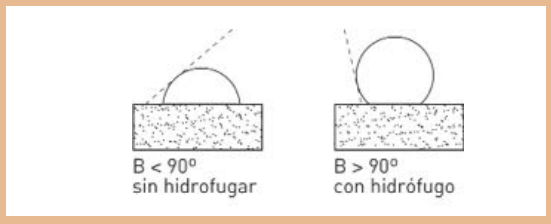
Sin embargo, al aumentar la intensidad de la lluvia, la película de agua crece y, a partir de un determinado momento y debido a la gravedad, empieza a resbalar por la fachada arrastrando las partículas de suciedad.

Además, a partir de una determinada velocidad –aunque también en función del poro superficial del material– la película de agua, por el llamado efecto Venturi, empieza a succionar el agua que ha penetrado en los poros y consigue arrastrar hacia el exterior las partículas ensuciantes que habían penetrado en ellos.

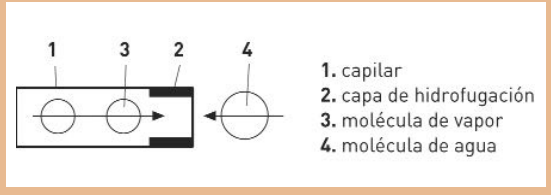
Desde luego, es fácil comprender que cuanto mayor sea el grosor de la película, mayor será su velocidad de deslizamiento y su 'fuerza de lavado'.



En obras de piedra a la vista el distinto origen o tratamiento de las piezas utilizadas (veta, cantera, corte) produce distintos grados de absorción y retención de suciedad.



Aumento de la tensión superficial por el efecto de un producto hidrofugante.



Efecto de un producto hidrorrepelente.

Por otro lado, al deslizarse sobre la superficie de la fachada, la lámina de agua puede sufrir cortes o alteraciones en su recorriso debidos a los resaltes del paramento, que provocan que haya zonas donde la película tiene que regenerarse continuamente y otras donde no se interrumpe nunca. Ésta es la razón de que en una misma fachada se produzcan diferencias de lavado, es decir que unas partes queden más limpias que otras.

En determinadas condiciones atmosféricas de elevada humedad relativa y baja temperatura el agua de lluvia puede provocar la acumulación de vapor de agua sobre la superficie de las fachadas, vapor que puede alcanzar su punto de rocío y condensarse.

Esa acumulación de gotas suele pasar por la fase de mojado y, en ciertas ocasiones, por la de saturación, pero es muy difícil que de lugar a la formación de la lámina de agua, por lo que no se produce el proceso de lavado característico de la lluvia, sino que las gotas penetran en los poros superficiales del material arrastrando consigo partículas ensuciantes.

En otras palabras, el agua de condensación produce un aumento notable de la deposición y adhesión de las partículas y, por tanto, del ensuciamiento de las fachadas. Esto puede apreciarse claramente en los edificios de zonas húmedas, cuyas fachadas tienden a ensuciarse con mayor facilidad y a adquirir un ennegrecimiento más acusado que los paramentos de edificios situados en zonas secas.

En general, se considera que este problema se manifiesta en zonas cuya humedad relativa es superior al 65 %, aunque está claro que la tendencia a la condensación es mayor en los meses de invierno.

En cualquier caso, el ensuciamiento real se produce cuando al terminar la lluvia o al disminuir la humedad relativa, el agua empieza a evaporarse, incluida la que ha penetrado en los poros, y las partículas ensuciantes se quedan adheridas al material.

POROSIDAD Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LA FACHADA

Como ya hemos dicho en los apartados anteriores, el proceso de ensuciamiento de una fachada depende de ciertos agentes atmosféricos, pero también del material utilizado para la ejecución de la misma.

Se ha dicho también que la porosidad del material es un factor determinante para la absorción del agua de lluvia y, con ella, de partículas ensuciantes y, por tanto, para la posible acumulación de suciedad en una fachada.

En concreto, cuanto más compacto sea el material de fachada, menos durarán las fases de mojado y saturación y más rápido se formará la película o lámina de agua, con lo cual su efecto limpiador será mayor. En cambio, cuanto más porosa sea la fachada, más tiempo transcurrirá hasta la saturación del material y menor será el efecto limpiador de la película.

En la siguiente tabla aparece el tiempo de duración de la absorción del agua de distintos materiales:

MATERIAL	SEGUNDOS
Ladrillo moldeado manualmente	2
Enfoscado de mortero de cemento	2 a 5
Pintura mineral sobre enfoscado	6
Ladrillo silicocalcáreo	6 a 8
Ladrillo caravista	11
Hormigón: superficie de una zona de rotura	14
Hormigón: superficie de recubrimiento vibrado	90
Pintura en dispersión de 300 μ sobre enfoscado	302
Ladrillo esmaltado	1.737
Ladrillo impregnado con silicona diluida	> 3.600
Pintura a la silicona de 40 μ sobre hormigón	> 3.600

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA ABSORCIÓN DEL AGUA DE DISTINTOS MATERIALES EN SEGUNDOS

Con respecto a la porosidad de un material, es conveniente recordar que se pueden distinguir dos tipos básicos de poros:

- **CELULARES**. Tienen forma esférica y pueden estar conectados entre sí y con el exterior (célula abierta) o ser independientes (célula cerrada), aunque en este segundo caso los poros que se hallen en el plano superficial de la fachada sí estarán conectados con el exterior. Su forma favorece el depósito de partículas, pero no facilita la entrada del agua, sobre todo los cerrados. En definitiva, la suciedad no profundiza demasiado.

- **TUBULARES**. Tienen forma longitudinal y algo serpenteante, suelen estar conectados entre sí y siempre se hallan en contacto con el exterior. El agua penetra con bastante facilidad y arrastra partículas ensuciantes hacia el interior.

En general, se puede decir que la influencia de la porosidad en el ensuciamiento de una fachada es doble. Por un lado interviene directamente en la formación de la lámina de agua, que es muy importante para el lavado y la redistribución de la suciedad, y por otro contribuye al desarrollo de la pátina de suciedad al permitir la entrada de partículas ensuciantes al interior del material.

Sin embargo, la porosidad no es el único factor de un material que influye en el ensuciamiento. También debe tenerse en cuenta la textura superficial de ese material, ya que cuanto más lisa y poco rugosa sea, más rápida y fácilmente se deslizará la lámina de agua formada sobre la fachada como consecuencia de la acumulación de agua de lluvia y, por tanto, más intenso será el lavado.

Por ejemplo, el gres es el material cerámico más compacto, es decir que es muy poco poroso, pero tiene superficie rugosa, lo que hace que se ensucie con bastante facilidad por el simple depósito superficial de partículas ensuciantes. A continuación, analizaremos el fenómeno del ensuciamiento en función de las distintas texturas superficiales de los materiales, que de manera global se suelen subdividir en lisa, rugosa y rayada.

Se entiende por textura lisa aquella que es característica de los materiales compactos y con superficie plana. En general, se suelen distinguir dos tipos de texturas lisas:

- **LISA PULIDA**. Es la de los materiales muy compactos y cuyas superficies han recibido un tratamiento de pulido, como por ejemplo los vidrios, los metales, las baldosas cerámicas vidriadas o las piedras pulidas. Son superficies de fácil limpieza debido a que dificultan enormemente el depósito de partículas ensuciantes, aunque, evidentemente, no se pueda evitar el ensuciamiento que se produce por simple tensión superficial. Favorecen enormemente el lavado del agua de lluvia, ya que las fases de mojado y saturación son muy breves y la lámina de agua se forma con gran rapidez; ésta adquiere enseguida una elevada velocidad y, por tanto, su poder limpiador es muy elevado.

- **LISA DESBASTADA**. Es una textura superficial que presenta unas asperezas de tamaño comprendido entre 0,01 y 1 mm y es propia de materiales bastante compactos y con tratamiento de alisado sin pulir, como la plaqueta cerámica sin vidriar (gres rústico), la piedra aserrada, el revoco liso con granulometría fina, el hormigón de encofrado metálico o el tratado al ácido. Facilita el depósito de partículas, ya que incluso tiene microplataformas horizontales para el depósito por gravedad. Por ello no es muy adecuada para grandes superficies.

  Por lo que se refiere al autolavado, es decir al lavado por agua de lluvia, el efecto de éste dependerá de la capacidad de absorción del material, que será más alta en hormigones y piedras calizas y más baja en baldosas cerámicas. Por lo común, las fases de mojado y saturación son lo bastante lentas como para favorecer el ensuciamiento, pero por otro lado estas texturas posibilitan que la película de agua adquiera una notable velocidad, hecho que tiene como consecuencia la posibilidad de que aparezcan churretones y que se produzca el ensuciamiento por lavado diferencial.

En cambio, se denomina rugosa a la textura de las superficies con rugosidades evidentes o, dicho de otro modo, superiores a los 2 mm de profundidad. Las texturas rugosas dificultan el deslizamiento de la lámina de agua, ya que las rugosidades son obstáculos que disminuyen la velocidad de descenso de la película, por lo que la capacidad limpiadora del agua será menor. Sin embargo, esta particularidad hace que disminuya la posibilidad de que aparezcan churretones y, por tanto, el ensuciamiento será uniforme. También se suelen distinguir dos tipos distintos de texturas rugosas:

- **RUGOSA MEDIA** (o de árido lavado). Corresponde a las superficies de materiales de árido lavado, como hormigones lavados o chorreados con arena, revocos pétreos con granulometría de gran tamaño (de 2 a 5 mm) o revocos con acabados rugosos. En general se considera que una superficie tiene una textura rugosa media cuando las rugosidades tienen hasta unos 5 mm de profundidad. Tienen muchas plataformas horizontales y por ello favorecen el ensuciamiento por simple depósito. Puesto que la rugosidad no es muy marcada, la lámina de agua puede adquirir la velocidad suficiente como para que aparezcan churretones y se produzca un ensuciamiento por lavado diferencial. En definitiva, la rugosa media es, junto a la lisa desbastada, la textura más ensuciable.

- **RUGOSA ALTA**. En este grupo se incluyen las texturas con rugosidades superiores a los 5 mm de profundidad (pueden llegar a tener incluso más de 20 mm), como las de las mamposterías, las sillerías y algunos tipos de revocos de gran rugosidad. Favorecen el depósito intenso de partículas ensuciantes y, por otro lado, dificultan enormemente la formación y el deslizamiento de la lámina de agua, que, además, cambia con bastante frecuencia de dirección a causa del tamaño de las rugosidades. Por ello es muy difícil que aparezcan churretones y, por tanto, el ensuciamiento, así como el aspecto del conjunto, erá muy uniforme.

Por último, la textura rayada tiene unas características de ensuciamiento distintas a los demás tipos de texturas y, como en los casos anteriores, también se suelen distinguir dos clases de texturas rayadas:

- **RAYADA HORIZONTAL**. Tiene innumerables hendiduras o salientes en sentido horizontal y es la textura típica de los muros de ladrillo. Estas hendiduras actúan de continuos goterones que interrumpen el recorrido de la lámina de agua, por lo que es difícil que el lavado diferencial sea intenso y, en consecuencia, que aparezcan churretones. Las ***RAYAS*** no deben superar los 25 o 30 cm, pues de lo contrario el ensuciamiento resultaría mucho más intenso.

- **RAYADA VERTICAL**. Se define así la textura de los materiales con superficies cuyo rayado está formado por hendiduras o salientes verticales que no tienen entre sí una separación de más de 15 centímetros. Es la típica de muros de paneles de hormigón prefabricados, aunque también se utiliza en algunos tipos de revocos. El rayado vertical hace que la superficie de exposición al depósito de partículas sea mayor. Así mismo, canaliza el recorrido de la lámina de agua de modo que su velocidad será distinta en función de la parte del rayado por donde descienda.

  En efecto, cuando el agua desciende por las aristas salientes tiene un menor contacto con la superficie y, por tanto, su velocidad será mayor y producirá un lavado más intenso. En cambio, cuando la película de agua se desliza por el fondo, su velocidad será más lenta, debido a que la superficie de contacto es mayor, y se producirá una mayor acumulación de partículas ensuciantes.

  De este modo, los salientes quedarán más limpios que los entrantes y se producirá un efecto luz –sombra, o claroscuro, característico de las superficies con textura rayada. Sin embargo, cuando la profundidad de los entrantes no es muy significativa (menor de 2 cm) en relación a su anchura el efecto puede desvirtuarse y dar lugar a la aparición de churretones.

GEOMETRÍA DE LA FACHADA

Además del material, la geometría de la fachada es el otro factor en el que se puede intervenir –cuando se proyecta y se construye un edificio– para tratar de paliar el efecto del ensuciamiento. Evidentemente, no sucede lo mismo con el viento, el agua de lluvia o la contaminación atmosférica.

En concreto, la geometría de la fachada influye de manera notable en el depósito de partículas ensuciantes y, sobre todo, en la velocidad de deslizamiento de la lámina de agua, por lo que participa en la forma final del posible lavado diferencial.

En general, cuando se habla de geometría de la fachada se hace referencia a tres aspectos básicos de la misma: la inclinación del plano con respecto a la horizontal, los entrantes y salientes verticales y los relieves. A continuación los analizaremos por separado.

Inclinación del plano con respecto a la horizontal

En general, cuanto más inclinado hacia arriba esté el plano de la fachada, mayor será el depósito de partículas por gravedad y, en consecuencia, también el ensuciamiento. Se suelen considerar tres tipos de inclinación horizontal:

- ***PLANO INCLINADO HACIA ARRIBA***. El depósito de partículas contaminantes es mayor y, por tanto, se produce un notable ensuciamiento *en seco*. En cuanto al efecto del agua de lluvia, hay que decir que, independientemente de la textura y la absorción del material, la lámina de agua tarda bastante en formarse y se desliza lentamente, por lo que su efecto limpiador es escaso. Sin embargo, las gotas de lluvia, debido a la inclinación de la fachada, inciden sobre ella de manera casi perpendicular produciendo un buen lavado por lluvia. En conclusión, en un plano inclinado hacia arriba, el depósito de suciedad sobre la fachada será mayor, pero por otro lado, la acción directa de la lluvia producirá un lavado general y uniforme.

- ***PLANO VERTICAL.*** El depósito de partículas ensuciantes dependerá exclusivamente de su rugosidad superficial, por lo que su intensidad no será muy alta. En cambio, el lavado de la lámina de agua está en función de la anchura y la longitud del plano, ya que si éste es alto y estrecho, la lámina tiende a concentrarse en el centro produciendo churretones limpios difíciles de controlar, mientras que cuando el plano es ancho y corto, la lámina se distribuye de manera irregular produciendo numerosos churretones.

- ***PLANO INCLINADO HACIA ABAJO***. Apenas se depositarán partículas ensuciantes sobre él, pero, independientemente de su textura, su lavado por lluvia también será muy escaso, ya que la velocidad de la película de agua disminuirá considerablemente. El gran problema es que se producirá un claro ensuciamiento por lavado diferencial, muy poco uniforme, debido a que el agua tiende a caer en churretones formándose una especie de 'estalactitas' de suciedad que estéticamente resultan muy perjudiciales.

Acabamos de analizar individualmente los distintos planos de inclinación, pero en una misma fachada siempre se combinan los tres tipos diferentes. Este hecho es un factor clave para el recorrido de la lámina de agua, ya que si en su paso de un plano a otro no existe discontinuidad entre ellos se formarán churretones más aparatosos y llamativos.

En este sentido, resulta interesante la introducción de goterones en los lugares donde se produce un cambio de inclinación del plano.

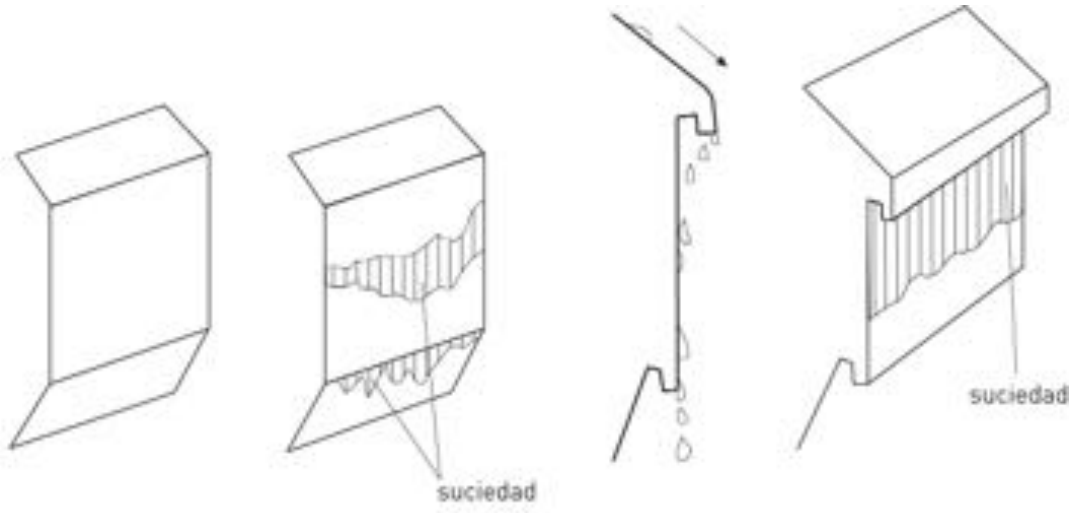
Tienen gran eficacia cuando de un plano vertical se pasa a uno inclinado hacia abajo, pero no tanto en el cambio de uno inclinado hacia arriba a uno vertical. En este segundo caso, la lámina de agua, en su caída, vuelve a tropezar con el plano y produce un ensuciamiento por lavado diferencial.

Entrantes y salientes verticales

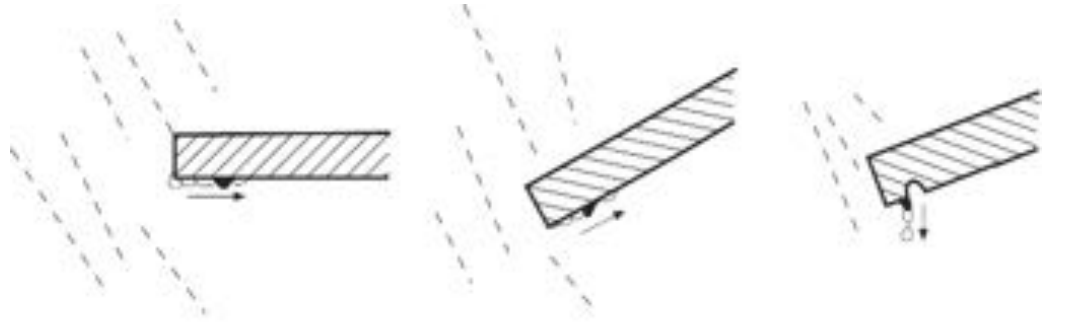
La unión de distintos planos en una misma fachada da lugar a la formación de ángulos verticales, cuya estructura afecta al tipo de lavado y a la creación de manchas aisladas de suciedad, sobre todo por el distinto efecto que tendrá la acción del viento –y por tanto el agua de lluvia– en esas zonas. En general, se suele distinguir entre ángulos entrantes o rincones y ángulos salientes o esquinas.

- ***RINCONES***. Los rincones, que son entrantes, reducen la velocidad del viento y, por tanto, establecen zonas con menor nivel de exposición, por lo que el efecto de lavado es menos intenso y la suciedad se acumula con mayor facilidad. A ello contribuye también la menor velocidad de la lámina de agua de lluvia, debido a que ésta, en un rincón, tiene más superficie de contacto.

- ***ESQUINAS***. Las características de las esquinas, que son salientes, son opuestas a las de los rincones, ya que en esas zonas la acción del viento es más fuerte y, en consecuencia, el lavado es mayor. Así mismo, la limpieza se ve aumentada por la mayor velocidad de la lámina de agua.



Inclinación vertical de paramentos exteriores.



Efecto del goterón.

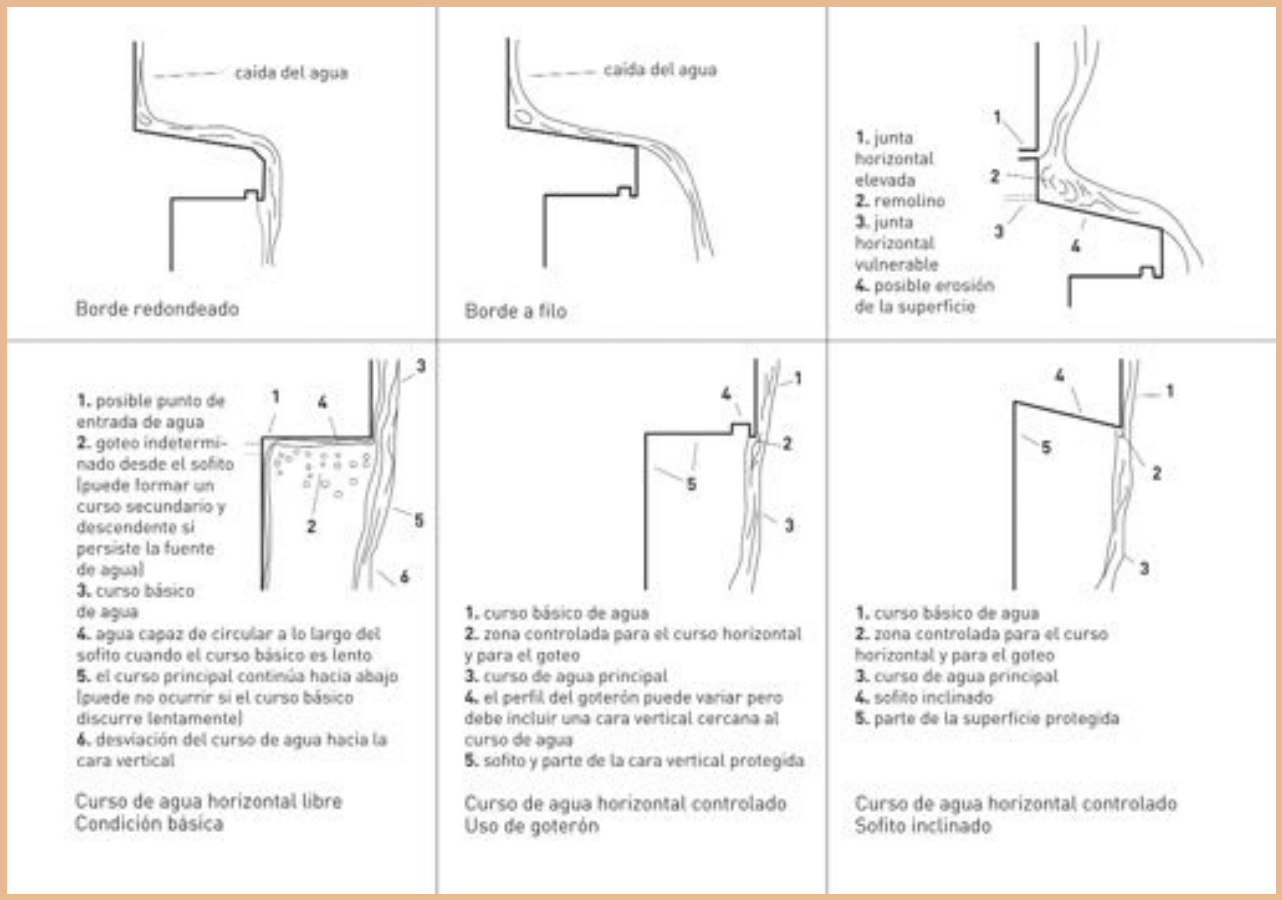
Relieves

En lo que se refiere al ensuciamiento, los relieves aislados de una fachada, entre los que han de incluirse las decoraciones puntuales, siempre constituyen zonas conflictivas, ya que, en función del recorrido de la lámina de agua, crean zonas en las que se produce un lavado intenso y otras en las que se concentra la suciedad. En efecto, cualquier relieve supone una discontinuidad sobre la lisura de la fachada, hecho que es un claro factor que favorece la acumulación de suciedad y la aparición de churretones por lavado diferencial.

En ocasiones, los relieves también significan zonas de acumulación de agua de lluvia directa, agua que luego será vertida sobre las superficies que se hallan debajo del relieve. Estos vertidos pueden contener un buen número de partículas ensuciantes o provocar antiestéticos lavados irregulares. A continuación describiremos brevemente los tres grupos en que se suelen clasificar los relieves.

- ***MOLDURAS HORIZONTALES, TANTO SALIENTES COMO ENTRANTES***. Suponen plataformas horizontales continuas, con cambios de inclinación de plano, que favorecen los depósitos de partículas ensuciantes y la aparición de churretones incontrolados. Entre ellas podemos citar las impostas intermedias en frentes de forjado y los vierteaguas de ventanas. Las primeras, si son salientes y de material con diferente textura, significan una interrupción momentánea del deslizamiento de la lámina de agua, hecho que supone una acumulación de suciedad. Una vez superado el obstáculo, por ser éste saliente, la lámina prosigue su recorrido a mayor velocidad produciendo un lavado desigual.

En cambio, si la imposta es entrante, el plano superior actúa de goterón provocando que la imposta no reciba lavado más que en su línea inferior, con lo que aumentará el efecto sombra.



Análisis del escurrimiento de agua a lo largo de un paramento vertical exterior. Resultados del uso del gotero.

Por lo que se refiere a los vierteaguas, si no se recogen en los laterales y son muy salientes, provocan una canalización de la lámina de agua hacia los extremos y, en consecuencia, se produce un intenso lavado en esas zonas que no resulta estéticamente agradable. Además, justo debajo de los vierteaguas se crea un área de acumulación de suciedad debido a que el agua nunca llega hasta ahí y, por tanto, no se produce ningún tipo de lavado.

- ***MOLDURAS VERTICALES, TANTO ENTRANTES COMO SALIENTES***. Conllevan la formación de esquinas y rincones, con los consiguientes efectos de concentración de suciedad o de limpieza que se han analizado con anterioridad. Además de las molduras en relieve, en este grupo se incluyen todos los elementos verticales que aparezcan en la fachada, como por ejemplo los machones entre ventanas, los bajantes o los tornapuntas de balcones. En general provocan dos alteraciones distintas en el recorrido de la película de agua.

  Por una parte forman esquinas y rincones que, como ya se ha dicho, causan una diferencia de lavado que resalta el efecto de ensuciamiento y, por otra, si su longitud vertical es significativa, hacen que la lámina adquiera una considerable velocidad y forme un churretón limpio vertical justo debajo de la propia moldura.

- ***RELIEVES PUNTUALES***. Provocan distorsiones en el recorrido de la película de agua y también crean zonas localizadas donde la suciedad se deposita con gran facilidad (es el caso de las gargolas de terrazas o de las jardineras, sobre todo si no están lo suficientemente separadas de la fachada).

  En concreto, en función de la forma y disposición del relieve se puede producir una concentración de la película, que tendrá como resultado la aparición de un churretón blanco muy marcado, o bien una dispersión de la misma, cuyo resultado será la formación de una zona de sombra debajo del relieve.

  Además, los relieves suelen tener plataformas horizontales que permiten el depósito de partículas por gravedad, hecho que en primera instancia provocará la formación de churretones sucios, mientras que con el tiempo, debido a su mayor nivel de exposición, redundará en la aparición de zonas más limpias por lavado de agua de lluvia.

COLOR

Puesto que la suciedad es una percepción visual, cuanto mayor sea el contraste entre el color de la fachada y el del conjunto de las partículas ensuciantes, más intensa será la sensación de ensuciamiento apreciada por las personas.

En general, el color de las partículas varía entre las gamas de los pardos, grises y negros, por lo que el ensuciamiento resultará más evidente en fachadas de tonos claros y menos en las oscuras.

Por ejemplo, los paramentos de ladrillo visto, que son de color pardo y rojizo, disimulan mucho mejor la suciedad que las fachadas blancas de hormigón claro o chapadas de piedras calizas.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que en la percepción del ensuciamiento también influye el grado de uniformidad de las suciedades adheridas a la fachada; en concreto, cuanto más uniformes sean estas últimas, mayor será la sensación de ensuciamiento.

El color constituye también una manera de enmascarar la suciedad, pero es conveniente no utilizarlo de manera arbitraria o aleatoria, sino teniendo en cuenta las características del material, que son las que dictaminan directamente la intensidad con la que se acumulan las partículas ensuciantes. En el enmascaramiento de la suciedad también influyen el dibujo y algunas formas artificiales de texturación de la superficie del material.

Como conclusión del breve análisis de la relación entre el color de la fachada y el ensuciamiento de la misma, hemos creído oportuno incluir una tabla en la que se indica el color de algunos de los materiales que se utilizan con más frecuencia en la ejecución de fachadas:

TIPOLOGÍA DE LAS SUCIEDADES

Después de haber analizado los diferentes agentes que intervienen en el proceso de ensuciamiento de una fachada, resulta oportuno, como recapitulación de este argumento, determinar los distintos tipos de lesiones patológicas relacionadas con el ensuciamiento, tipología a la que necesariamente ya se ha tenido que hacer referencia al hablar de los agentes descritos con anterioridad.

En general, se suelen distinguir dos tipos de ensuciamiento, por depósito y por lavado diferencial, aunque hay que tener en cuenta que, en una misma fachada, el resultado final del proceso de ensuciamiento es siempre una mezcla de ambos.

MATERIAL	COLOR
Ladrillo visto	Varía entre los colores claros y los oscuros, aunque predominan los segundos (ladrillos rojos y pardos)
Hormigón visto	El color de las piezas prefabricadas varía entre el blanco y los tonos claros, ya que se fabrica con cemento blanco y áridos claros. En cambio, el color del hormigón in situ, que se suele hacer con cemento gris, varía entre las tonalidades claras y las oscuras.
Revocos y pinturas	Pueden ser de cualquier color
Piedras en chapa	Pueden ser de una amplia gama de colores, pero las más habituales (calizas, mármoles y granitos) suelen tener unas tonalidades blancas y claras
Plaquetas cerámicas	Tienen las mismas características que las piedras en chapa
Chapas metálicas	Su gama de colores es similar a la de las pinturas

COLORES DE ALGUNOS DE LOS MATERIALES MÁS UTILIZADOS EN LA TERMINACIÓN DE LA FACHADAS

ENSUCIAMIENTO POR DEPÓSITO

Se puede decir que es la primera fase del proceso de ensuciamiento global y se produce al depositarse las partículas contaminantes sobre la superficie del material de la fachada o en el interior de los poros del mismo. A este ensuciamiento se le suele denominar 'simple' y está condicionado por una serie de agentes externos (que han sido analizados en el apartado anterior).En función de la localización de la partícula contaminante, se distinguen dos tipos de ensuciamiento por depósito:

- **POR DEPÓSITO SUPERFICIAL**. Cuando la partícula se queda en la superficie del material. Este fenómeno se suele producir cuando la superficie del paramento está seca y las condiciones atmosféricas son buenas. La adhesión de la partícula a la superficie del material se producirá por gravedad, por atracción electrostática o por atracción molecular. En los dos primeros casos, tanto el viento como la lluvia pueden eliminar o arrastrar las partículas ensuciantes con bastante facilidad, pero en el tercero es más difícil debido a que la interacción molecular puede generar una serie de enlaces químicos de mayor resistencia. En definitiva, el depósito superficial de partículas, sea cual sea el modo en que se adhieran a la superficie del material, puede provocar la formación de pátinas de suciedad más o menos permanentes.



Nótese el mayor lavado de la fachada en los salientes más expuestos, mientras que en los rincones entrantes la suciedad permanece.

- **POR DEPÓSITO INTERNO**. Cuando la partícula contaminante se introduce en el poro del material de fachada. Este fenómeno se desarrolla cuando la fachada está húmeda o cuando el depósito de partículas ensuciantes se produce por la acción del agua de lluvia pero sin que ésta haya alcanzado la fase de lámina, ya que en ambos casos las partículas serán absorbidas y penetrarán en el interior de los poros por tensión superficial o, cuando el material sea poroso, por capilaridad.

  En el primer caso, cuando las condiciones climáticas hacen que se elimine la humedad y se seque la fachada, la situación será la misma que la descrita en el apartado del ensuciamiento por depósito superficial; sin embargo, en el caso de los materiales porosos, cuando el agua que ha penetrado en los poros se evapora, las partículas ensuciantes se quedarán en el interior de los mismos y, a medida que se vayan acumulando, crerán una pátina de suciedad de color negro sobre la superficie de la fachada.

En cualquier caso, independientemente de los ya mencionados agentes externos, el ensuciamiento por depósito de una fachada depende también del tamaño de las partículas contaminantes y de la textura y la geometría de la fachada.

En concreto, el tamaño de las partículas contaminantes tiene gran influencia en su depósito sobre una fachada debido a la acción de la gravedad. De hecho, aún en ausencia de viento, las de más de 1 mm tienen el peso suficiente como para depositarse tanto en las posibles rugosidades de la textura del material de fachada como en las plataformas horizontales que presente la geometría de la misma. En cambio, las partículas cuyo tamaño no llega a 1 mm se suelen depositar sobre la fachada como consecuencia de distintos fenómenos, entre ellos: la difusión browniana combinada con la adhesión molecular, la termoforesis y el efecto Stefan, estos dos últimos debidos a las distintas propiedades eléctricas de las partículas contaminantes y del material de fachada.

Por otro lado, es fácil comprender que las plataformas horizontales y los planos inclinados hacia arriba favorecen el depósito de partículas ensuciantes, sobre todo el de las que se depositan por efecto de la gravedad, que, además de ser las más grandes, son las que provocan un mayor ensuciamiento. Por consiguiente, en las zonas más protegidas de la fachada, como por ejemplo las plantas bajas o las áreas situadas bajo los balcones, cuantos más planos inclinados hacia arriba haya, mayor será el depósito de partículas ensuciantes. Lo mismo sucederá en función de la mayor rugosidad de la textura superficial. Estos efectos disminuyen en las zonas más expuestas de la fachada debido a la acción del viento y de la lluvia.

ENSUCIAMIENTO POR LAVADO DIFERENCIAL

Como ya sabemos, el efecto del agua de lluvia sobre una fachada dependerá de la fase que se alcance. Si solamente se llega a la de saturación y, luego, se pasa directamente al estado seco –por ejemplo, por evaporación del agua–, se producirá un ensuciamiento por depósito interno, mientras que si se llega a la fase de lámina y ésta adquiere la suficiente velocidad, se producirá un lavado de la superficie por la que se deslice dicha lámina.

También se ha dicho ya que una fachada no es nunca completamente lisa y, por tanto, en su recorrido, la lámina de agua encontrará obstáculos, como relieves, resaltos o cambios de plano, que harán que cambie de velocidad y de dirección. El resultado de este proceso será que en algunas zonas el lavado será mucho más intenso que en otras y, lógicamente, lo mismo sucederá con el depósito de partículas. Dicho de otro modo, se producirá un marcado contraste entre zonas limpias y sucias que, debido sobre todo a la poca uniformidad del conjunto, hará aumentar la percepción visual de la suciedad de la fachada. A este fenómeno se le denomina lavado diferencial y da lugar a un contraste entre zonas limpias y sucias, zonas que habitualmente reciben el nombre de churretones o escurriduras. Los churretones pueden ser de dos tipos:

- **CHURRETONES LIMPIOS (O BLANCOS)**. Aparecen cuando, en su deslizamiento, la lámina de agua tiene la suficiente velocidad como para impedir que las partículas permanezcan en los poros internos del material, bien impidiendo que entren en los mismos, o bien extrayéndolas después de que ya hayan penetrado en ellos. Suelen aparecer en los planos verticales.

- **CHURRETÓN SUCIO (O NEGRO)**. Aparecen como consecuencia del depósito de partículas ensuciantes sobre una plataforma horizontal. Estas partículas son arrastradas hacia abajo por una lámina de agua lenta que, precisamente por su poca velocidad, permite que las partículas se depositen en el interior de los poros del material provocando un ensuciamiento. Por lo general, aparecen en planos verticales que están situados justo debajo de uno inclinado hacia arriba o en planos inclinados hacia abajo situados después de uno vertical sin que exista una discontinuidad que impulse la lámina de agua hacia fuera.

Como acabamos de indicar, la aparición de churretones limpios o sucios depende de la velocidad de la lámina de agua, que a su vez depende de varios factores relacionados con las características del agua de lluvia y de la fachada.

En primer lugar, hay que mencionar la intensidad y la dirección de la lluvia, dos factores que influyen en la velocidad de la lámina, ya que ésta será más rápida cuanto mayores sean la fuerza de impacto de las gotas y la acumulación de agua sobre la fachada.

Por otro lado, también es muy importante la estructura porosa del material de fachada, ya que influye directamente en la duración de las fases de mojado y saturación y, por tanto, en el tiempo que tarda en aparecer la lámina de agua y en su velocidad. Además la estructura porosa del material también es importante para que la lámina pueda extraer, por efecto Venturi, con mayor o menor facilidad las partículas depositadas en los poros, hecho que repercutirá en la limpieza de la fachada y, en concreto, en la aparición de churretones blancos.

También la textura superficial del material puede influir en la interacción agua–fachada. En efecto, las texturas rayadas o de rugosidad alta alteran el recorrido de la lámina de agua y, en consecuencia, provocan la aparición de churretones.

La geometría de la fachada es otro importante factor que condiciona el recorrido y la velocidad de la lámina de agua de lluvia y, en consecuencia, su acción en el proceso de ensucimiento o lavado. Para conocer sus efectos en relación al lavado diferencial hay que referirse a los aspectos de la geometría de la fachada que influyen en la velocidad de la lámina: inclinación del plano de fachada, existencia de esquinas y rincones e influencia de relieves y molduras en el recorrido del agua.

Cuando el viento está en calma, la inclinación del plano de fachada influye notablemente en la velocidad de la lámina de agua, ya que, a igual cantidad de agua y textura superficial, en un plano vertical la lámina únicamente tiene que vencer el rozamiento con la fachada, mientras que en un plano inclinado debe vencer también la resistencia a penetración (en uno inclinado hacia arriba) o la tensión superficial (en uno inclinado hacia abajo). La consecuencia es que, en estos dos últimos casos, la lámina de agua ve reducida su capacidad para vencer el rozamiento con la fachada y, por tanto, su velocidad de deslizamiento.

La situación es más problemática cuando de un plano se pasa a otro con distinta inclinación, hecho bastante habitual en una misma fachada, ya que, por ejemplo, no es infrecuente que en antepechos y cornisas se pase de un plano horizontal o inclinado hacia arriba a uno vertical, o en balcones de uno vertical a uno inclinado hacia abajo. Si no existe discontinuidad entre los planos, es decir si no hay goterón o vierteaguas, la lámina, al pasar de un plano a otro, sufrirá un cambio de velocidad que dará lugar a la aparición de churretones, unas veces limpios y otras sucios.

A continuación describiremos algunos ejemplos de elementos de una fachada donde estos fenómenos se producen con bastante frecuencia:

- **ALFÉIZARES DE VENTANA.** Cuando son muy planos, la lámina de agua tiende a deslizarse por los laterales formando un churretón limpio muy llamativo a cada lado de la ventana. En cambio, si están inclinados, la lámina se desliza hacia delante y, dependiendo del tipo de vierteaguas y del nivel de exposición de esa parte de la fachada, formará churretones de intensidad variable, si el vierteagua es de poco vuelo, o una zona de sombra bajo el vierteagua, si éste es de mucho vuelo.

- **ANTEPECHOS SALIENTES DE VENTANAS Y BALCONES**. Lo más normal es que en la parte alta estén los planos inclinados hacia arriba, en la central los verticales y en la inferior los inclinados hacia abajo. En este caso, los churretones sucios suelen aparecer en la parte baja y los limpios en la alta.

  Por el contrario, cuando el antepecho tiene un primer plano muy corto inclinado hacia arriba seguido por uno largo inclinado hacia abajo y, debajo de éste, otros planos verticales o inclinados hacia arriba, los churretones se forman de manera inversa, o sea los sucios en la parte superior y los limpios en la inferior. En los antepechos de los balcones siempre hay que prestar atención a su nivel de exposición, ya que es un factor que puede hacer que, por ejemplo, los churretones de un lado de la fachada sean más intensos que los del otro.

- **CORNISAS**. Suelen estar formadas por planos inclinados hacia arriba seguidos de otros inclinados hacia abajo, razón por la cual es casi inevitable la aparición de churretones, tanto limpios como sucios, en los segundos.

Como ya sabemos, la presencia de esquinas o rincones determina el nivel de exposición de la zona de la fachada en la que se encuentran, ya que condicionan la intensidad del lavado.En este caso, el problema no es la formación de churretones, sino el hecho de que la limpieza es mucho mayor en las primeras que en los segundos y, en consecuencia, la percepción del ensuciamiento del conjunto es mucho mayor.

- **RELIEVES** y **MOLDURAS.** Suponen obstáculos muy claros para el recorrido de la lámina de agua, por lo cual alteran el efecto de lavado de la misma provocando un lavado diferencial localizado. Además, presentan plataformas horizontales que favorecen el depósito de partículas por gravedad, las cuales, cuando son arrastradas, provocan la aparición de churretones sucios.

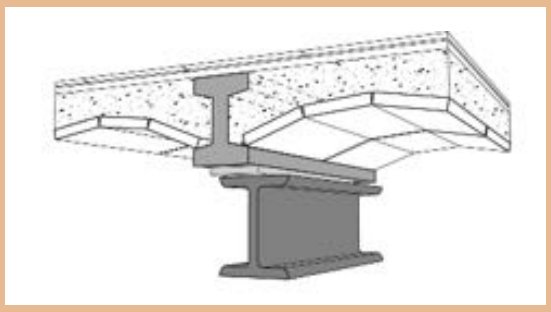
CAUSAS MECÁNICAS

En las causas de origen mecánico que pueden provocar la alteración y el deterioro de los materiales constructivos se engloban todas aquellas acciones que implican un esfuerzo mecánico sobre un determinado elemento del edificio que no había sido previsto o que resulta superior al que se había calculado; en definitiva, un esfuerzo superior al que ese determinado elemento puede soportar.

Estas acciones mecánicas provocan movimientos, deformaciones y roturas, que aparecerán, tal como acabamos de decir, cuando un material sea incapaz de resistir los esfuerzos mecánicos a los que se ve sometido durante su preparación, su transporte, su colocación en el edificio o su uso.

La lesión última y más grave es, sin duda, la rotura del material, pero hay que decir que la rotura en forma de colapso total es muy difícil que se produzca, bien porque para que ello suceda es necesario un impacto de enorme fuerza o bien porque es el estado final de una situación de deformación paulatina a la que se puede, y se debe, poner remedio antes de llegar a ese colapso.

Sin embargo, hay otros tipos de roturas que se manifiestan en forma de fisuras, grietas o desprendimientos parciales que sí son bastante frecuentes y que constituyen un gran peligro, ya que, además de provocar el desgaste del material, y por tanto la disminución de su capacidad funcional, también favorecen la entrada de aire y agua, hecho que puede dar lugar a la aparición de patologías de tipo físico o químico.



Sustitución funcional de una vigueta de hormigón. La nueva estructura, una viga metálica, está calculada para absorber la totalidad de los esfuerzos existentes.

El número y la clase de esfuerzos mecánicos a los que puede verse sometido un material es muy elevado, pero entre las causas más frecuentes de deterioro mecánico de los elementos de un edificio se suelen citar las cargas concentradas en exceso, la mala calidad en materiales de unión y morteros, las tensiones provocadas por los esfuerzos térmicos, el desplazamiento de la estructura por modificación de la cimentación en la que se asienta el edificio o, incluso, los efectos perjudiciales provocados por el mal uso que las personas hacen de materiales y elementos constructivos.

En general, las lesiones de origen mecánico se suelen subdivir en cuatro grandes grupos: deformaciones, grietas y fisuras, desprendimientos y erosiones.

Cada uno de estos grupos contempla múltiples variables que dependen de las condiciones particulares de cada situación, de las características del material, del elemento constructivo, del uso, etc. y, por ello, a continuación los analizaremos detalladamente y por separado.

DEFORMACIONES

Se entiende por deformación todo cambio de forma sufrido tanto por algún elemento estructural del edificio como por un cerramiento como consecuencia de un esfuerzo mecánico.

Las deformaciones se pueden producir tanto durante la fabricación del elemento como durante la ejecución de la unidad en la que va a quedar incluido o, incluso, una vez que ésta entra en carga.

Normalmente se suelen distinguir cuatro formas distintas de deformación:









Caso extremo de deformación de estructuras porticadas de hormigón armado: vuelco, aplastamiento y colapso por acción sísmica.

- **FLECHAS**. Son resultado de la flexión de elementos horizontales (vigas y forjados) ante un exceso de cargas verticales o transmitidas desde otros elementos estructurales adyacentes.

- **PANDEOS**. Se producen como consecuencia de un esfuerzo de comprensión sobre un elemento vertical, tanto lineal como superficial, superior a su capacidad de carga.

- **ALABEOS**. Son resultado de una rotación del elemento constructivo provocada normalmente por esfuerzos horizontales.

- **DESPLOMES**. Son consecuencia de un desplazamiento de la cabeza de los elementos verticales provocado por empujes horizontales sobre la misma.

Es importante racalcar que, con mucha frecuencia, cualquiera de estos tipos de deformación se convierte, a su vez, en causa de otras lesiones mecánicas (fisuras, grietas y desprendimientos), sobre todo cuando afectan a elementos de obra de fábrica.

Por otro lado, todas estas formas de deformación se suelen clasificar en función de la causa que las ha originado, es decir, si se deben a alguna acción mecánica o si han sido provocadas por una deformación diferencial.

DEFORMACIONES MECÁNICAS

La aplicación directa de una carga externa sobre un elemento constructivo implica una deformación mecánica. Ésta será significativa si la carga provoca un esfuerzo de flexión, algo muy peligroso ya que es la causa más común de aparición de grietas en los elementos estructurales y en los materiales adheridos a ellos. Para evitar este problema, en la ejecución de una obra hay que tener en cuenta la elasticidad de los materiales y adecuar el grado de deformación que cada uno puede sufrir según la función que desempeñará su propia capacidad elástica.

Por ejemplo, es frecuente que en una estructura metálica se limite la flecha máxima de una viga a un porcentaje de su luz para controlar su deformación, ya que de otro modo el grado de ésta podría ser adecuado para la elasticidad del acero, pero en cambio resultar excesivo para elementos más rígidos –como los enyesados del techo o los pavimentos cerámicos o de hormigón–, en los cuales, la deformación provocaría la aparición de grietas.

Por la misma razón, en una viga de hormigón armado se limita la deformación del acero a un grado muy alejado de su límite elástico para evitar la aparición de importantes grietas y fisuras en el hormigón, que es un material más rígido.

Para comprender mejor el fenómeno de las deformaciones, pero también el de las demás lesiones mecánicas que pueden afectar a un elemento constructivo, es conveniente conocer los conceptos de deformación diferida, fatiga e impacto. La primera hace referencia a la relación entre deformación y tiempo, es decir, a la deformación que puede sufrir un material sometido a una carga constante durante un determinado período de tiempo. Si el fenómeno de la deformación diferida afecta durante demasiado tiempo a un mismo elemento, éste se romperá. Por el contrario, si se elimina el problema, es decir, si después de un cierto tiempo se libera al elemento de la carga, se produce una disminución inmediata de la deformación y, a continuación, otra disminución gradual y más lenta que, sin embargo, casi nunca significa la recuperación total de la forma que tenía dicho elemento.

Por fatiga se entiende una disminución de la resistencia a la rotura de un material elástico sometido repetidamente a esfuerzos de tipo e intensidad variables. Este hecho puede llegar a deformar e incluso romper el material sin que éste haya sobrepasado su límite de elasticidad. En definitiva, la fatiga es consecuencia de la repetición de una carga y no un efecto del tiempo en que ésta actúa sobre un elemento, como era el caso de la deformación diferida. Por último, el concepto de impacto hace referencia a la aplicación repentina de una carga considerable sobre un determinado elemento. Evidentemente, los esfuerzos que provoca una carga aplicada de golpe son mucho mayores que los que produciría esa misma carga aplicada gradualmente. El hecho de que un material no sea capaz de soportar un impacto depende en gran medida de su capacidad para absorber la energía cinética del cuerpo que provoca ese impacto. Y esa capacidad, a su vez, depende de la deformación que pueda resistir un material sin romperse, por lo que los materiales dúctiles soportarán mucho mejor un impacto que los frágiles.

En la práctica, las deformaciones por acción mecánica que afectan a una construcción pueden clasificarse en dos categorías:

- ***DEFORMACIONES DEBIDAS A CARGAS VERTICALES EXCESIVAS EN RELACIÓN AL TAMAÑO DE LA ESTRUCTURA PORTANTE.*** Cuando una estructura se ve sometida a cargas excesivas, se originan deformaciones, sobre todo abombamientos de las fachadas, e incluso grietas y, en los casos más extremos, desprendimiento de las partes sometidas a un mayor esfuerzo. Este tipo de deformaciones suele aparecer en las estructuras portantes verticales, especialmente en las que no son homogéneas y ya tienen un deterioro interno. La razón es que los esfuerzos de compresión hacen que los materiales menos resistentes vean disminuida su cohesión y, por tanto, la carga acaba concentrándose en unas zonas concretas cuya capacidad de resistencia es inferior a dicha carga. Un ejemplo de este fenómeno se produce cuando, en la planta baja de un edificio, la carga se transmite a pocos soportes con sección reducida en comparación con el resto de la estructura.

- ***DEFORMACIONES DEBIDAS A CARGAS INCLINADAS O A ESFUERZOS NO CONTRARRESTADOS MEDIANTE APROPIADAS ESTRUCTURAS RESISTENTES***. En general, la causa de estas deformaciones hay que buscarla en posibles defectos de la estructura y se producen cuando las cargas se transmiten a la estructura en una dirección que no es la vertical. Normalmente, las cargas oblicuas son originadas por alguna parte de la estructura, como por ejemplo por cubiertas inclinadas sin vigas de atado, es decir, cubiertas a un agua apoyadas solamente en sus extremos por vigas, sin tirantes horizontales o pares oblicuos. En este caso, la carga oblicua se concentra en las vigas principales.

Como ya hemos mencionado, en función de su intensidad o de su duración en el tiempo, los esfuerzos mecánicos que provocan deformaciones también pueden producir grietas y fisuras, por lo que volveremos a tratar este argumento en el apartado correspondiente a estas dos lesiones mécanicas.

Para concluir este análisis, debemos recordar que un material o un elemento constructivo no sólo puede deformarse una vez que el edificio ya está construido (como hemos dicho, por las posibles cargas que puedan actuar sobre él), sino también durante su proceso de fabricación o durante los trabajos de ejecución de la obra. Por ejemplo, durante la fase de preparación y moldeo de su fabricación, los ladrillos de arcilla cocida pueden sufrir ciertas deformaciones que, normalmente, consisten en alabeos o curvaturas y se deben a la existencia de un desequilibrio en la boquilla de la máquina o a un desajuste del carro cortador. Así mismo, si el proceso de secado no es uniforme en todas las partes de un determinado ladrillo, éste sufrirá deformaciones geométricas.

DEFORMACIONES POR MOVIMIENTOS GENERALIZADOS

Estas deformaciones se originan como consecuencia de un descenso de nivel de una zona del edificio con respecto a otra provocado por un desplazamiento de la cimentación o por la inestabilidad del terreno donde apoya el edificio. Este movimiento del suelo puede deberse a que el edificio esté asentado en terrenos de sedimentación, a variaciones de humedad en suelos arcillosos, a un hundimiento subterráneo o a una rotura de la red de abastecimiento de aguas o de la de saneamiento.



Asentamiento diferencial. Parte de la fundación de la mitad de este edificio ha descendido provocando el desplome del mismo y la apertura de la junta constructiva.

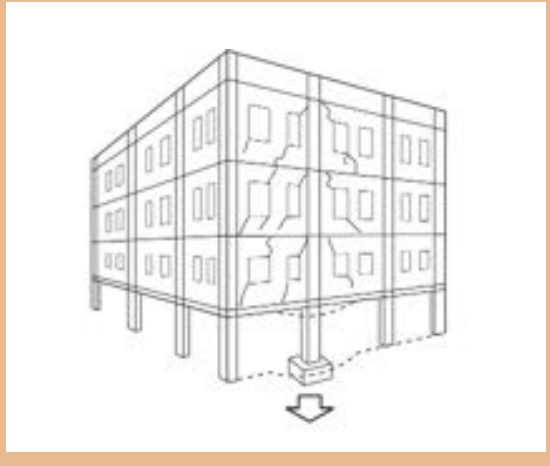
En este último caso, el hundimiento puede ir aumentando debido a que las aguas provocan un continuo lavado de tierras. De manera general, los distintos movimientos de los suelos se pueden atribuir a tres grandes causas:

- ***CONSOLIDACIÓN Y EXPANSIÓN DEL SUELO***. La retracción y expansión del terreno es uno de los motivos que llevan al deterioro y, en consecuencia, a la aparición de deformaciones en los edificios, ya que éstos no son capaces de asimilar los movimientos que se generan.

- ***EMPUJES DEL TERRENO***. Suelen afectar a edificios construidos en laderas, donde las tierras pueden sufrir un aumento de volumen que incrementará la presión sobre la construcción. Si este aumento de presión es demasiado fuerte para los elementos constructivos, se producirá la aparición de deformaciones e incluso de grietas.

  También puede ocurrir el fenómeno inverso, que las tierras se debiliten y disminuyan su presión sobre el edificio, entonces se originarán unos movimientos en el edificio que también pueden ser causa de graves lesiones mecánicas.

  Los cambios de presión de las tierras se deben a factores muy concretos: cambios en el nivel del agua, hundimientos, erosión de zonas altas que conlleva una acumulación de tierras, erosión y lavado de las mismas, etc.



Asiento diferencial de una zapata en la estructura porticada. La fábrica o muro de cerramiento presenta un esquema característico de fisuración.

- ***CAMBIOS EN LA NATURALEZA DEL TERRENO***. Afectan a los edificios cimentados por debajo de las capas vegetales y los terrenos arcillosos, es decir aquellas fábricas cuyos cimientos llegan hasta los niveles más resistentes e impermeables. Si sobre estos suelos circula el agua –que acabará filtrándose a través de esos terrenos arcillosos y capas vegetales–, con el tiempo se deteriorarán y variarán sus características y su resistencia. Se producirá un cambio en la naturaleza del terreno.

  Hay incluso ocasiones en que las cimentaciones quedan al descubierto porque desaparecen los terrenos más 'débiles' debido, entre otras razones, a la erosión o a la transformación de calles y accesos.

  En estos casos aumenta el riesgo de que se produzca un desplazamiento de la cimentación y, por tanto, de que se produzcan deformaciones en el edificio.

  También puede suceder que los cimientos de edificios construidos sobre terrenos sedimentarios con gran cantidad de yeso, debido a fenómenos químicos o físicos, que se han descompuesto y han perdido su consistencia, sufran movimientos y desplazamientos dañinos, con la consiguiente aparición de deformaciones y grietas en los muros.

GRIETAS Y FISURAS

Tanto las grietas como las fisuras son aberturas longitudinales incontroladas y no deseadas producidas en un material o elemento constructivo, ya sea estructural o de simple cerramiento.

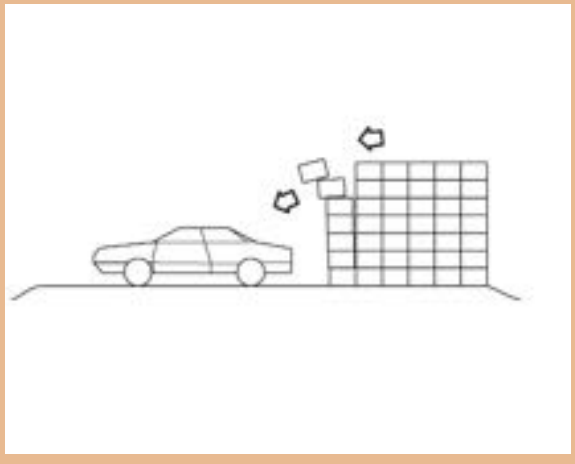
Desde luego, ambas ponen de manifiesto la existencia de un defecto grave o de un mal comportamiento en el edificio, que puede ser debido a fallos de proyecto o de ejecución o a un mal uso o conservación.

Aunque se han tratado de dar distintas definiciones de las grietas y las fisuras en función del tamaño de su abertura o de su movilidad, intentando sobre todo distinguir y diferenciar las características de cada una de estas dos lesiones, lo más adecuado parece clasificarlas según el espesor de la abertura en el material o elemento constructivo.

Así, de acuerdo a su amplitud tenemos:

- **MICROFISURAS**. Son aberturas muy pequeñas que no resultan visibles.

- **FISURAS**. Aberturas que en general tienen una anchura inferior al milímetro y que afectan sólo a la superficie del material o del elemento constructivo o al acabado superficial superpuesto.





Desplome y vuelco de los muros de cerca y de contención por asentamientos.

Según su movilidad las fisuras se suelen dividir en:

- **FISURAS MUERTAS**. Sus dimensiones no varían a lo largo del tiempo y su único problema es su aspecto estético y la sensación de poca seguridad en la obra. A veces pueden no percibirse a simple vista.

- **FISURAS VIVAS**. Su anchura aumenta o disminuye con el paso del tiempo o debido al uso de la edificación, por lo que se hace indispensable ponerles remedio.

- **GRIETAS**. Son aberturas de más de un milímetro de ancho que afectan a todo el espesor del material o del elemento constructivo, por lo que provocan la pérdida de su consistencia y de su integridad.

Aunque en ciertas ocasiones una fisura puede ser considerada temporalmente como una fase previa a la grieta –por ejemplo, las que suelen aparecer en elementos de hormigón armado–, la mayoría de veces su origen y desarrollo son totalmente distintos, a pesar de que la sintomatología siempre sea bastante parecida. En definitiva, fisuras y grietas son lesiones claramente mecánicas que afectan por igual a elementos estructurales, como tabiques o fachadas, y de cerramientos a los que se somete a cargas no previstas. Existen distintas formas de clasificarlas: en función del material en el que aparecen, de la causa que las origina y de la movilidad que tengan. A continuación analizaremos con detalle las principales características de estas patologías.

SEGÚN EL MATERIAL

La aparición de grietas o fisuras en un muro, o en otro elemento constructivo, tiene mucho que ver con las características del material o materiales utilizados para su construcción y, en concreto, con la falta de respuesta del mismo frente a las exigencias de resistencia y elasticidad a las que se encuentra sometido por distintas cargas o tensiones.

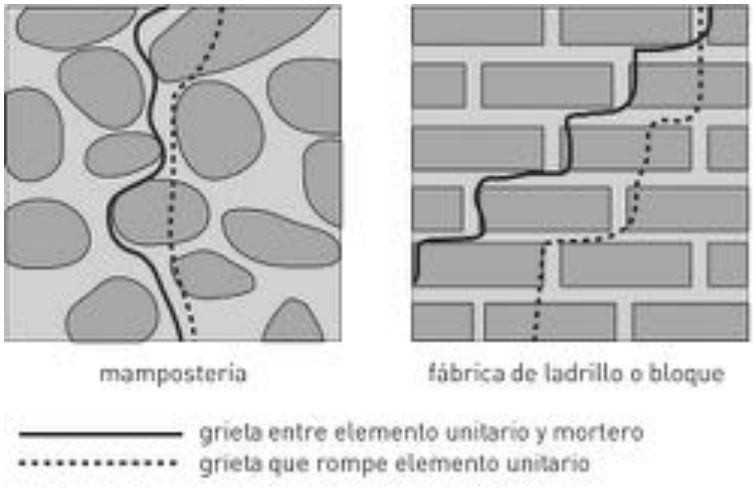
Por ello es conveniente conocer, aunque sea a grandes rasgos, las peculiaridades de los materiales más utilizados en la construcción de edificios en relación a estas patologías.

FÁBRICAS EN GENERAL

Las cargas o esfuerzos mecánicos a los que se ve sometido cualquier material utilizado en la ejecución de un muro, un tabique u otro elemento constructivo, que son la causa de la posible aparición de agrietamientos y fisuraciones, son las siguientes:

- **CARGAS PREVIAS**: desencofrado, transporte (sobre todo en el caso de los elementos prefabricados), montaje.

- **CARGAS VERTICALES**: peso propio, sobrecargas, asentamientos diferenciales.



Tipos de grietas en obras de fábrica según línea de rotura.

- **CARGAS HORIZONTALES**: vientos, sismos, explosiones, choques, empujes de tierras.

- **CARGAS DEBIDAS A MOVIMIENTOS PROPIOS**: Dilataciones y retracciones debidas a la temperatura, la humectación y el fraguado, y movimientos elásticos.

De ellas hablaremos con detenimiento y de manera global en el siguiente apartado, el que se refiere a las causas que originan la aparición de grietas y fisuras. Ahora veremos lo que sucede con los materiales empleados con más frecuencia en la ejecución de fábricas.

Cuando un elemento rígido está apoyado o anclado sobre otro que es elástico, cuando éste se mueve por acción de alguna carga, tiende a arrastrar en su movimiento al elemento rígido que, al no poder resistir las fuerzas de comprensión o de tracción resultantes, se rompe dando lugar a la aparición de fisuras o grietas. Es lo que puede suceder, por ejemplo, en los tabiques de ladrillo sobre forjados elásticos o en contacto con estructuras de vigas y pilares.

En definitiva, el problema es la incompatibilidad en la capacidad de deformación, o elástica, de los distintos materiales utilizados en la obra, cuyo grado de rigidez es distinto. Para evitar las grietas y fisuras producidas de este modo, hay que tener en cuenta la independencia entre el elemento estructural y el elemento constructivo apoyado sobre él.

En concreto, en lo que se refiere a los tabiques de fábrica, hay que dejar pasar un cierto tiempo entre la ejecución del forjado y el montaje de la tabiquería y el cerramiento para no incluir en los problemas de incompatibilidad la parte de flecha diferida hasta entonces, producida por el peso propio del forjado.

Por otro lado, el modo de fabricación de los ladrillos, como el de todos los materiales cerámicos, implica un proceso de secado en el horno. Si el secado es demasiado rápido, produce un gradiente de humedad demasiado alto entre el interior y el exterior de la masa arcillosa; si como consecuencia de ello ésta no puede resistir las tensiones generadas por la deformación relativa de las distintas partes de la pieza, se producirán fisuras o grietas, que, evidentemente, repercutirán en la resistencia mecánica del ladrillo.

Ésta también puede quedar afectada durante el denominado cambio de fase del cuarzo, que es una reacción polimórfica que se desarrolla a 573 ºC y presión atmosférica e implica una variación de volumen. Si el contenido de dicho mineral es muy alto y el paso a dicha temperatura muy brusco, se producirán microfisuraciones alrededor de cada grano de cuarzo.

También la fabricación defectuosa del mortero de cal puede contribuir a la aparición de fisuras y grietas en las fábricas. Cada tipo de mortero tiene sus propios tiempos de fraguado, sus propiedades hidráulicas o su proporción de áridos–aglomerante, pero al final de su proceso todos deberían alcanzar una dureza similar a la del ladrillo. Muchas veces esto no se consigue por el uso de arenas arcillosas, inadecuadas proporciones de la mezcla, presencia de yeso en dicha mezcla o insuficiencia de agua, y ello hace que se vuelvan pulverulentos y no se adhieran adecuadamente a la piedra o al ladrillo.

Por otro lado, el uso de morteros ricos en cemento o con un excesivo contenido de agua en la ejecución de un elemento constructivo provoca la retracción del mortero durante el secado una serie de movimientos diferenciales entre el mortero y los ladrillos de la fábrica, debidos sobre todo al diferente comportamiento de los dos materiales frente a la humedad.

La consecuencia de este fenómeno será el agrietamiento de la unión entre el mortero y los ladrillos y el de las juntas del mortero. Además, los ladrillos pueden llegar a absorber el agua de los morteros de las juntas horizontales, en cuyo caso se deformarán y será muy difícil que vuelvan a recuperar su forma original. En definitiva, la fábrica verá reducida considerablemente su resistencia –se estima que puede volverse hasta un 50 % más débil– y aumentará la facilidad de penetración del agua a través de las grietas.

En la práctica, resulta muy complicado evitar la aparición de grietas, pero lo que hay que procurar es que sean lo más finas posible y que no se concentren en una sola zona de la fábrica.

HORMIGÓN

Contiene agua en distintos estados: agua de gel, que es el componente básico de la masa, agua intercristalina, agua capilar y agua de absorción, que rodea a los áridos creando meniscos. En general, en el hormigón, las fisuras por retracción se producen como consecuencia de una pérdida de agua en su masa, hecho que puede ocurrir porque el material no permanezca en ambiente húmedo (pérdida de parte del agua capilar y absorbida) o porque esté expuesto a temperaturas elevadas (pérdida de agua de gel y agua intercristalina). En cualquier caso, de manera global se puede decir que las fisuras por retracción que se producen en el hormigón están vinculadas a los siguientes factores:

- **CONSTITUCIÓN DE LA PASTA**. Es más fácil que aparezcan fisuras en los hormigones fabricados con los cementos más resistentes y rápidos o con áridos finos.

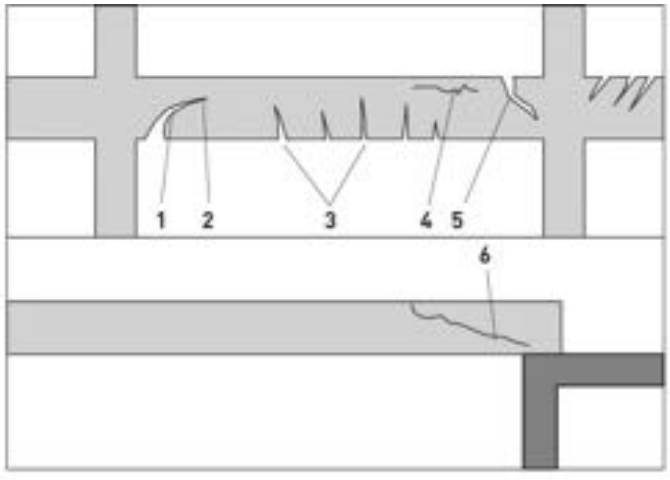
- **RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL HORMIGÓN.** En los elementos en que no sea posible el libre acortamiento, aparecerán fisuras cuando se supere la tensión de tracción en el hormigón.

- **ELONGABILIDAD DEL HORMIGÓN** (capacidad de deformarse sin fisurar). Experimentalmente se ha demostrado que en hormigones poco curados y con alta relación agua/cemento la elongabilidad se incrementa, hecho que indica que los buenos hormigones son más frágiles.

- **DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS**. Las fisuras serán más numerosas en los elementos de espesor reducido, mientras que su importancia aumentará cuanto más rígida sea la estructura.

Hay que indicar que el hormigón armado posee una característica peculiar, ya que debido a su estructura interna –una armadura capaz de absorber tracciones– puede retener los movimientos deformantes y dejar en fisuras superficiales lo que en una fábrica serían grietas.

Sin embargo, el gran peligro del hormigón armado es el agua, cuyo aumento en su interior, ya sea en forma gaseosa (vapor atmosférico) o líquida (agua de lluvia), puede provocar la oxidación de las armaduras.



1. Fisura de cortante **2.** Fisura de anclaje **3.** Fisura de flexión (positivos) **4.** Fisura de deslizamiento de anclaje **5.** Fisuras de flexión (negativos) **6.** Fisuras de adherencia

Distintos tipos de fisuras en una viga de hormigón armado.

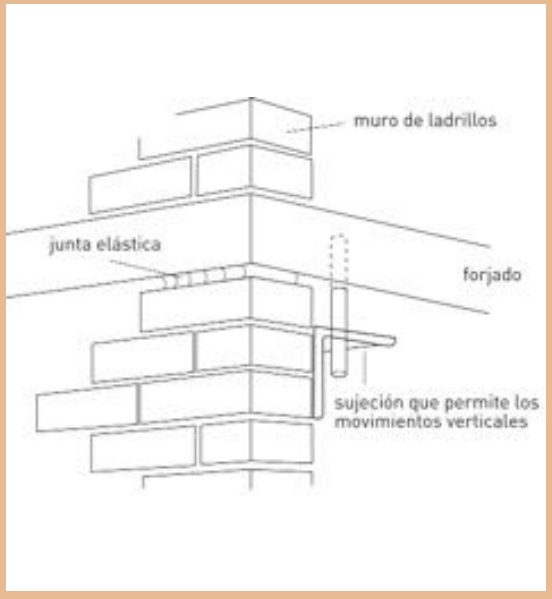
Este hecho hará que los aceros interiores aumenten de volumen (de 8 a 10 veces con respecto al inicial) y, por tanto, que el hormigón que está en contacto con ellos se vea sometido a una serie de esfuerzos que, en ocasiones, no es capaz de resistir y que darán lugar a la aparición de graves grietas.

Otra cuestión relacionada con la fisuración y el hormigón se refiere al transporte de los elementos prefabricados. Sea cual sea el medio elegido (acarreado, preamasado, canalizado, bombeado o trasladado por cintas) hay que prestar atención a tres aspectos muy importantes, la segregación, la pérdida de agua y la pérdida de lechada, ya que si se producen el elemento de hormigón se convertirá en una pieza defectuosa y, por consiguiente, el riesgo de que aparezcan fisuras será mucho mayor.

ACABADOS EN GENERAL

En general, la causa de aparición de fisuras o grietas en los acabados se debe al fenómeno denominado ***REFLEJO DEL SOPORTE***.

En concreto, las fisuras se producen cuando el soporte sufre un movimiento o una deformación que el acabado no puede resistir o, sencillamente, cuando hay una discontinuidad constructiva en el soporte debida a las distintas características de los materiales o a la falta de una suficiente adherencia.



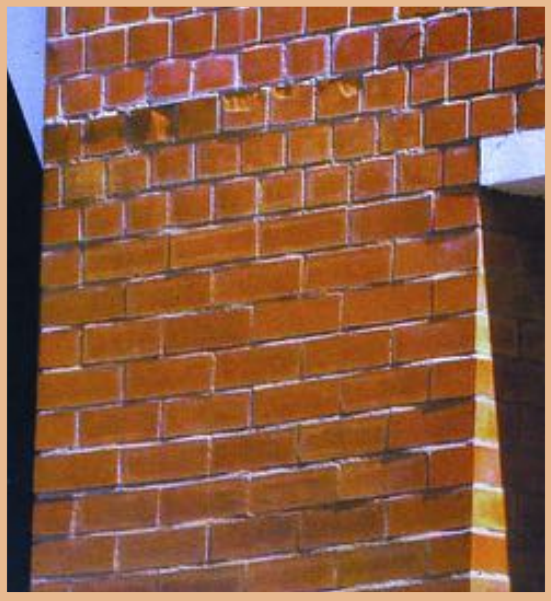
Junta entre cerramiento y forjado que permite el libre movimiento del primero. De esta forma se evitan las fisuras por los movimientos higrotérmicos.

En definitiva, nos estamos refiriendo al mismo fenómeno que hemos descrito al hablar de las fisuras y grietas que pueden producirse en un tabique de ladrillo apoyado sobre forjados elásticos, lesiones que también aparecen con frecuencia en chapados de piedra o alicatados de azulejos colocados sobre muros de hormigón.

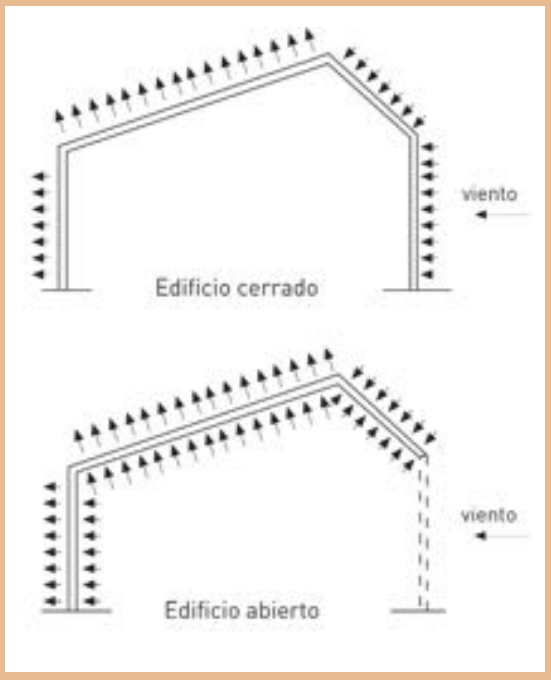
Los yesos también son propensos a sufrir fisuras y grietas, sobre todo por la presencia de sulfato cálcico semhidratado y anhidro cálcido, dos sustancias que tienen la propiedad de cristalizarse en presencia de agua. El riesgo de que aparezcan estas lesiones se produce cuando el yeso absorbe más humedad después de ese proceso de cristalización o endurecimiento, hecho que provoca que el material se hinche de nuevo y se retraiga, luego, por secado.

SEGÚN LA CAUSA

Como ya se ha mencionado anteriormente, la aparición de gietas y fisuras en un muro de un edificio es consecuencia de la deficiente respuesta del mismo frente a las exigencias de resistencia y elasticidad –es decir, a los esfuerzos mecánicos– a las que se ve sometido.



La expansión térmica de la viga de hormigón empujó los ladrillos de la fachada.



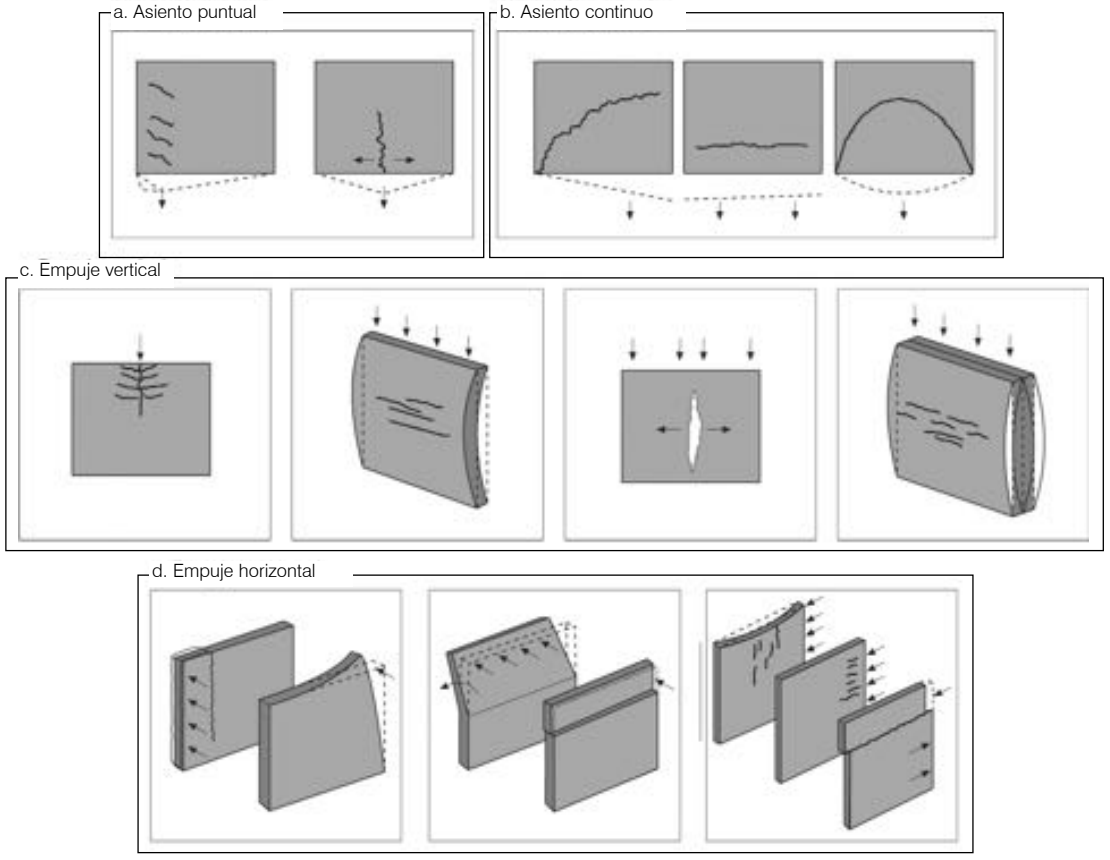
Efecto del viento sobre una estructura.

Las causas de la aparición de agrietamiento y fisuraciones pueden agruparse en cuatro categorías en función del tipo de esfuerzo mecánico al que se vean sometidos los elementos estructurales o de cerramiento de una construcción:

- ***ACCIONES MECÁNICAS***. Es decir, la aplicación de cargas directas sobre la estructura o sobre otros elementos. Entre este tipo de cargas se pueden mencionar, por ejemplo, el peso propio de un elemento constructivo o las sobrecargas (o exceso de carga). En general, las cargas que provocan la aparición de grietas y fisuras se suelen dividir en dos grupos:

  - **VERTICALES EXCESIVAS** (en relación al tamaño de la estructura portante)

  - **NO VERTICALES** (horizontales o inclinadas)



Tipos de grietas por acciones mecánicas externas.

- ***ESFUERZOS HIGROTÉRMICOS***. Los cambios de temperatura o de contenido de humedad en un elemento constructivo puede provocar un movimiento del mismo, que si es excesivo tendrá como consecuencia la formación de grietas o fisuras.

- ***DEFICIENCIAS DEL PROYECTO***. Si los esfuerzos mecánicos que debe soportar un determinado elemento constructivo son superiores a los que se habían calculado en el proyecto, es lógico pensar que la aparición de lesiones como agrietamientos y fisuraciones tiene más posibilidades de producirse. En definitiva, ese determinado elemento no estará preparado para recibir el esfuerzo y el resultado será la formación de grietas y fisuras.

- ***DEFICIENCIAS DE LOS MATERIALES O LA EJECUCIÓN.*** Es un caso similar al anterior. Si un material constructivo no está en sus mejores condiciones o si al ejecutarse la obra se cometen errores, los elementos constructivos o de cerramiento no podrán soportar las cargas que en condiciones normales sí que podrían y, por tanto, el riesgo de aparición de lesiones es mayor.

ACCIONES MECÁNICAS

La aplicación de una carga directa sobre un elemento constructivo implica una deformación. Si la carga provoca un esfuerzo mecánico demasiado intenso, la deformación tendrá como consecuencia la aparición de fisuras y grietas. De hecho, este tipo de fenómeno es el que origina la mayor parte de estas lesiones en los elementos estructurales y en los materiales adheridos a ellos. A continuación analizaremos las principales acciones mecánicas –cargas verticales y cargas no verticales– que pueden dar lugar a la aparición de fisuras y grietas.

Por lo general, estas cargas las provocan los pesos que gravitan sobre un muro u otras estructuras portantes verticales y pueden dividirse en concargas (peso propio más cargas permanentes) y sobrecargas.

En definitiva, la incapacidad de los elementos estructurales de la construcción para asumir los esfuerzos de proyecto o las sobrecargas imprevistas pueden provocar tensiones demasiado intensas en los materiales y, en consecuencia, la formación de fisuras y grietas.

Estas lesiones se producen casi siempre en las estructuras que no son homogéneas y que ya tienen un deterioro interno, ya que debido a los esfuerzos de compresión, los materiales menos resistentes pierden cohesión y la carga se concentra en algunos puntos concretos, puntos donde la intensidad de la carga mecánica es muy superior a la capacidad de resistencia. Es lo que ocurre, por ejemplo, cuando en la planta baja de un edificio la carga se transmite a pocos soportes cuya sección es reducida si se compara con el resto de la estructura.

Las cargas verticales pueden provocar distintas clases de fisuras y grietas por:

- **TRACCIÓN**: son perpendiculares al esfuerzo.

- **COMPRESIÓN**: paralelas al esfuerzo para compresión simple y curvas si existe momento.

- **FLEXIÓN**: pueden ser perpendiculares o inclinadas en función de la proximidad de la carga.

- **PANDEO**: es un caso particular de la flexión; las fisuras o grietas son perpendiculares a la directriz del elemento en el vano.

- **CORTANTE**: son las más dañinas debido a que su desarrollo es muy rápido.

En cambio, las cargas no verticales son las que se transmiten a la estructura en una dirección distinta a la vertical. Los casos más importantes son las cargas inclinadas originadas por alguna parte de la estructura, que aparecen cuando la transmisión de carga se realiza a través de superficies de contacto no horizontales, como es el caso de los sillares de piedra de un arco o de una bóveda.

La suma de cargas transmitidas de un sillar a otro produce una fuerza oblicua que puede afectar la estabilidad de la estructura y dar lugar a la aparición de fisuras y grietas.Las cargas oblicuas también se deben a cubiertas inclinadas sin vigas horizontales de atado, en cuyo caso el esfuerzo se concentrará en las vigas principales.



Grieta por asiento diferencial en un muro de obra de fábrica. La parte a la derecha de la grieta ha descendido con respecto a la otra.



Proliferación de vegetales en muros de piedra. La fuerza de las raíces y la retención de humedad causan roturas, grietas y manchas respectivamente.

MATERIAL	COEF. DE DILATACIÓN TÉRMICA (10^{-6} m/ºC)
PVC	42-72
Plomo	28,6
Aluminio	23,5
Latón	18
Cobre	16,9
Acero inoxidable	17,3
Hierro fundido	10.6
Yeso	13,7
Hormigones	6-14
Vidrio	6-9
Granito	8,5
Mármoles	1,4-11
Caliza	3-4
Madera (en sentido longitudinal)	3,8-6,5
Ladrillos de arcilla (en sentido longitudinal)	4-8
Arenisca	5-12
Policarbonato	65
Poliestireno expandido	50-70

COEFICIENTES DE DILATACIÓN TÉRMICA DE DISTINTOS MATERIALES EXPRESADOS EN UNIDAD DE METRO POR METRO DE MATERIAL Y POR CADA 1 ºC DE AUMENTO DE TEMPERATURA

ESFUERZOS HIGROTÉRMICOS

Los materiales de construcción de los edificios están sujetos a dilataciones y contracciones por efecto de la temperatura y de los cambios en el contenido de humedad. Dicho de manera más sencilla, los materiales se dilatan al calentarse y se contraen al enfriarse. Si por alguna razón estos movimientos no pueden desarrollarse, en el interior del material se producirán tensiones de compresión y tracción que pueden provocar la formación de fisuras y grietas e incluso la rotura del mismo.

Es una lesión que afecta con frecuencia a elementos de cerramiento de fachada o de cubierta cuando no se han previsto adecuadas juntas de dilatación en los mismos, algo que resulta bastante habitual. Por otro lado, hay que señalar que los movimientos de los materiales son proporcionales a la longitud del elemento constructivo: cuanto más larga sea la pieza, más tensión se producirá en su interior o en su superficie.

Por tanto, las variaciones térmicas provocan movimientos diferentes en los distintos materiales y ello debe tenerse en cuenta en los elementos constructivos formados por más de un material. Por ejemplo, en fábricas de ladrillo del mortero y del ladrillo no son iguales, ya que cada material tiene un comportamiento distinto ante un cambio de temperatura.

Si la fábrica tiene simplemente la función de cerramiento, y no se han previsto las soluciones constructivas adecuadas para permitir el desplazamiento relativo entre la estructura y el cerramiento, pueden producirse fisuras, grietas e incluso desprendimientos.

De hecho, si las juntas de dilatación se abre, es difícil que vuelvan a cerrarse del todo durante la contracción, ya que en ella se suelen introducir partículas de distinta naturaleza. El resultado es que, con el tiempo, la junta se va abriendo cada vez más.

A continuación se ofrece una tabla con el coeficiente de dilatación térmica de algunos de los materiales constructivos más empleados.

Es importante señalar que el coeficiente de dilatación térmica del acero y el hormigón puede ser el doble que el del ladrillo, la caliza o la arenisca, ya que ello tiene especial relevancia cuando se refuerzan estructuras antiguas con materiales como el hormigón o el acero. De hecho, no es infrecuente que en los elementos de fábricas antiguas contiguos a estructuras de refuerzo modernas aparezcan microgrietas, algo que acelerará su deterioro.

La dilatación térmica también suele afectar negativamente a los materiales de revestimiento si no se han previsto sus posibles movimientos. Si éstos están coartados, los materiales de revestimiento acabarán arqueándose y deformándose, lo que favorece la aparición de fisuras y grietas.

Por ejemplo, se ha calculado que en una losa de piedra de revestimiento de 6 metros de largo que sufra un incremento de temperatura de 10 ºC se produce un aumento de longitud de 0,25 milímetros, o lo que es lo mismo, una flecha de la pieza de 25 milímetros (Torraca, 1988).

Por otro lado, algunos materiales, como ya se ha visto con anterioridad en este mismo capítulo, sufren una disminución de volumen cuando pierden agua y, por el contrario, acusan un aumento de volumen cuando absorben humedad. En concreto, a temperaturas normales, la retracción se produce debido, sobre todo, a la evaporación del agua contenida en los poros interiores del mismo.

Ejemplos de este tipo de variaciones dimensionales son el entumecimiento de los yesos, la retracción de fraguado en cementos, la tumidez diferida en materiales cerámicos o el curado del mortero.

En este último caso, si la pérdida de agua por evaporación es importante se puede llegar a reducir en un 10 % la resistencia de la fábrica.

Para evitar las fisuras o las grietas que puedan llegar a aparecer por efecto de la variación del contenido de humedad es conveniente impermeabilizar exteriormente los muros para que no se vean afectados por el agua de lluvia y además controlar la condensación interior de las viviendas.

Además, si las condiciones atmosféricas son muy adversas, puede llegar a hacerse necesario proteger el proceso de curado de la fábrica por medio de láminas de polietileno.

Por sus características, la madera es un caso aparte. Para que pueda ser utilizada en construcción, tiene que tener un contenido de humedad cercano al del medio ambiente al que estará expuesta.

En caso de que la madera se seque después de haber sido colocada en la obra, se producirá una retracción que provocará que se abran las juntas y que, en casos extremos, aparezcan fisuras lineales.

En cambio, si se ha secado demasiado y tiene un contenido de humedad inferior al del aire que la rodea, absorberá humedad del ambiente y se hinchará, con lo cual ejercerá una presión sobre los elementos o materiales que estén en contacto con ella, presión, que como sabemos, puede dar lugar a la aparición de grietas o fisuras.

DEFICIENCIAS DEL PROYECTO

Una de las causas técnicas que provocan la aparición de fisuras y grietas es la mala resolución de los detalles y elementos constructivos en la fase de diseño del proyecto. Los errores que se cometan tanto al elegir los materiales que se usarán como en la elección de la técnica o sistema constructivo, en el diseño de los diferentes elementos o unidades constructivos y en su disposición relativa (detalles de uniones y juntas) influirán en el deterioro del edificio, pues harán que algunos elementos estructurales y de cerramiento pierdan resistencia mecánica o se vean sometidos a cargas superiores a las que pueden resistir.

En ambos casos es fácil que se produzca una deformación del material o elemento constructivo y, en consecuencia, que aparezcan fisuras y grietas.

Se suele aceptar que las deficiencias de proyecto más comunes son:

- **ERRÓNEA ELECCIÓN DE MATERIAL**. Cada material tiene distintas características fisioquímicas y a la hora de su elección debe tenerse en cuenta la función que va a desempeñar en el edificio y los 'peligros' que pueden atacarle (inclemencias meteorológicas, cargas que va a soportar, etc.).

- **TÉCNICA O SISTEMA CONSTRUCTIVO INADECUADO**. Puesto que cada elemento de una fábrica cumple una función constructiva, su sistema constructivo debe adecuarse a las características y circunstancias del edificio (por ejemplo, no es lo mismo una cubierta plana que una inclinada).

- **DISEÑO DEFECTUOSO DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO.** Si un elemento constructivo no tiene la forma o la dimensión apropiadas, su capacidad de resistencia mecánica puede verse seriamente afectada (por ejemplo, si se utilizan vigas de poco canto).

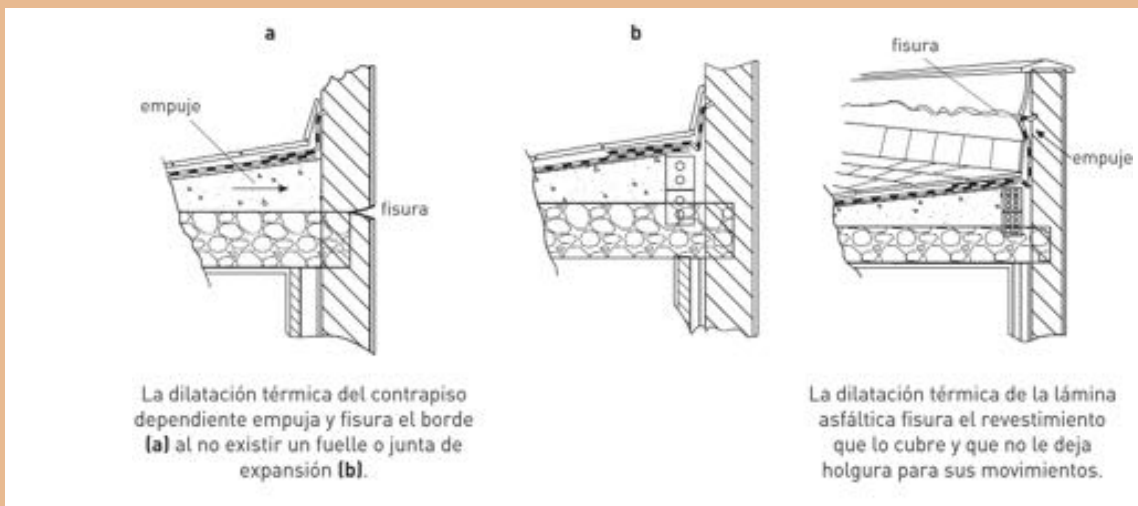
- **FALTA DE ESTUDIO Y DISEÑO DE ENCUENTROS Y JUNTAS ENTRE MATERIALES Y ELEMENTOS.** Da lugar a deficientes desplazamientos higrotérmicos de los materiales o los elementos constructivos, favoreciendo la producción de fisuras y grietas.

DEFICIENCIAS DE LOS MATERIALES O LA EJECUCIÓN

Lógicamente, los defectos en la fabricación de los materiales constructivos implican una disminución de las características fisicoquímicas que se les supone y, en consecuencia, de su resistencia mecánica 'normal', algo que como ya se ha indicado es causa frecuente de aparición de fisuras y grietas.

Dicho de otro modo, cualquier material constructivo debe llegar a obra con todas las características mecánicas, físicas y químicas que se le presuponen de antemano, ya que serán indispensables para la función constructiva que se le asignará en el edificio.

Si por defecto de fabricación no cumple esas características, los procesos patológicos se manifestarán con gran facilidad.



Movimientos térmicos en una cubierta plana o terrazo.

Las posibles deficiencias de los materiales son muchas y es imposible analizarlas una por una, pero no es difícil entender que si la resistencia mecánica de un hormigón, por defecto de fabricación, es inferior a la calculada en el proyecto, las cargas a las que se vea sometido una vez que el edificio esté construido le resultarán excesivas y podrán dar lugar a deformaciones, fisuras y grietas. Lo mismo ocurre con ladrillos fabricados con excesiva cantidad de sales o con morteros con un elevado contenido de agua.

Los elementos constructivos prefabricados también pueden sufrir desperfectos antes de que sean colocados en la obra. Esto puede suceder durante las operaciones de desencofrado y transporte. Las primeras afectan a los elementos de hormigón y no deben llevarse a cabo hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para asumir con seguridad y sin sufrir deformaciones importantes las cargas que va a tener que soportar durante y después del desencofrado.

El tipo de cemento utilizado en la fabricación del hormigón y las condiciones de temperatura y humedad son los factores más importantes para determinar cuantos días deben pasar antes de efectuar el desencofrado. En cuanto a la fase de transporte de un material constructivo, es fácil comprender que pueden producirse desperfectos capaces de alterar su resistencia mecánica. Es el caso de la arena, que al ser transportada en camiones puede sufrir fuertes movimientos y vaivenes y perder parte del agua que tiene en su interior.

En cambio, cuando se transporta el hormigón,(acarreado, preamasado, canalizado, bombeado o trasladado por cintas), es importante controlar tres aspectos básicos: la segregación, la pérdida de agua y la pérdida de lechada, tres circunstancias que se originan por sacudidas bruscas, vibraciones o uso de recipientes, conductos o juntas defectuosas.

Si se producen estas circunstancias, se obtendrán piezas de hormigón defectuosas que, sufrirán problemas de fisuraciones y agrietamientos.

Aunque los materiales estén en perfecto estado y el proyecto se haya realizado con precisión, durante la ejecución de la obra también se pueden cometer errores –por descuido, falta de control o incumplimiento de las condiciones técnicas– que pueden afectar a la capacidad de resistencia mecánica de distintos elementos constructivos. El abanico de este tipo de errores es muy amplio y mencionaremos los más corrientes, que, sin duda, servirán para que se comprenda perfectamente esta problemática:

- **FISURACIÓN Y AGRIETAMIENTO POR RELLENO INCOMPLETO DE LAS JUNTAS HORIZONTALES.** Si no están totalmente rellenas de mortero, las fábricas de ladrillo pueden ver reducida su resistencia hasta un 33 %.

- **DEFECTUOSA COLOCACIÓN DE ARMADURAS EN PILARES Y VIGAS.**

- **ALICATADO DE PARAMENTOS EXTERIORES SIN LLAGA NI JUNTAS DE RETRACCIÓN.**

- **JUNTAS DE ESPESOR EXCESIVO.** El incremento de espesor de una junta provoca, por ejemplo, una mayor tensión lateral en los ladrillos de una fábrica y ello reduce la resistencia de la misma.

- **UNIÓN DE TABLERO HORIZONTAL Y PETO DE TERRAZAS CON LA MEMBRANA IMPERMEABLE.**

- **DESVIACIÓN DE LA VERTICALIDAD**. Un muro con cierta desviación de la vertical puede originar una carga excéntrica que tendrá el efecto de reducir la resistencia y, en consecuencia, favorecerá la aparición de grietas y fisuras.

- **GRIETAS ORIGINADAS POR DINTELES DE MUY POCO CANTO**. Aparecen en el paño ciego entre el dintel de un balcón o ventana y el vuelo del hueco superior. Estas grietas arrancan de los extremos de cada dintel y terminan en un punto que coincide con el eje central del hueco, hecho que demuestra que se ha originado un arco de descarga sobre el dintel del hueco al no haber sido éste capaz de resistir los esfuerzos que se le transmitían. La causa hay que buscarla al poco canto del dintel, insuficiente para la distancia entre los apoyos.

- **MODIFICACIONES POSTERIORES EN UN EDIFICIO**. Hay quien las ha denominado "lesiones estéticas", ya que son modificaciones, reformas y añadidos ejecutados con posterioridad a la construcción del edificio. Estas modificaciones no son siempre de carácter funcional, sino que también pueden ser ornamentales e incluso tener una finalidad publicitaria.

  Entre ellas se pueden citar el cierre de galerías y terrazas con superficies acristaladas, la colocación de cajoneras para las persianas enrollables, la perforación de un cerramiento para implantar aparatos de aire acondicionado, la apertura de puertas y ventanas en muros y contrafuertes, la colocación de verjas de seguridad o de rejillas de ventilación, la construcción de plantas intermedias para aprovechar las grandes alturas de los techos e incluso los rótulos o reclamos publicitarios de comercios o negocios que puedan colocarse sobre la fachada de un edificio.

  En conclusión, todas estas modificaciones, si no se efectúan con el debido control técnico, pueden provocar la aparición de nuevos esfuerzos mecánicos o tensiones que resulten en fisuraciones o ahrietamientos.

DESPRENDIMIENTOS

Los desprendimientos de los materiales que componen la fachada de un edificio son sucesos que en la actualidad se producen con bastante frecuencia. Un desprendimiento se puede definir como la separación incontrolada de un material de acabado o de un elemento constructivo del soporte o base al que estaba aplicado. En ocasiones, sin embargo, puede desprenderse también el material que constituye la fachada (por ejemplo, ladrillo caravista, piedra natural, etc.). Evidentemente, esta patología implica dos consecuencias distintas: el deterioro funcional y estético de la fábrica y el peligro que representan los desprendimientos cuando caen en zonas por donde suelen pasar personas o vehículos.

Normalmente, esta lesión se produce como consecuencia de lesiones previas, entre ellas las deformaciones, las fisuraciones o las grietas, que como hemos visto en el apartado anterior, están muy relacionadas con los errores de proyecto, la mala ejecución de la obra y la baja calidad o la incompatibilidad de los materiales empleados. Sin embargo, antes de estudiar los diferentes materiales que pueden verse afectados por el desprendimiento, es conveniente señalar la existencia de algunos agentes o circunstancias externos que pueden influir en buena medida en esta patología. Los tres básicos son:

- **ANTIGÜEDAD DEL EDIFICIO**. Es un factor relevante, ya que conlleva la pérdida de las características intrínsecas del material. Por ejemplo, con el paso del tiempo, los morteros van perdiendo adherencia.

- **ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO**. Su importancia radica en su relación con el efecto de los agentes atmosféricos (incidencia del agua de lluvia, cambios bruscos de temperatura, etc.) sobre la fachada. En concreto, si la orientación de una fachada favorece el impacto de la lluvia, será mucho más fácil que se produzcan humedades y pequeñas acumulaciones de agua en algunos puntos concretos, hechos que debilitarán la adherencia de los materiales y, por tanto, favorecerán el desprendimiento.

- **EXPOSICIÓN DEL EDIFICIO**. Estrechamente vinculada a la orientación, la exposición puede afectar la fachada entera de un edificio o sólo a una parte de la misma. A mayor grado de exposición corresponde una menor protección frente a los ataques de los agentes atmosféricos. Dicho grado está condicionado por diferentes factores, como la proximidad de otras edificaciones, la altura del edificio (a mayor altura, mayor grado de exposición, a excepción de las zonas más bajas, que están sometidas a agresiones mecánicas y humanas, salpicaduras de agua, etc.) o el diseño de cada zona de la fachada (las esquinas, por ejemplo, son áreas de gran exposición).

TIPOS DE ACABADO

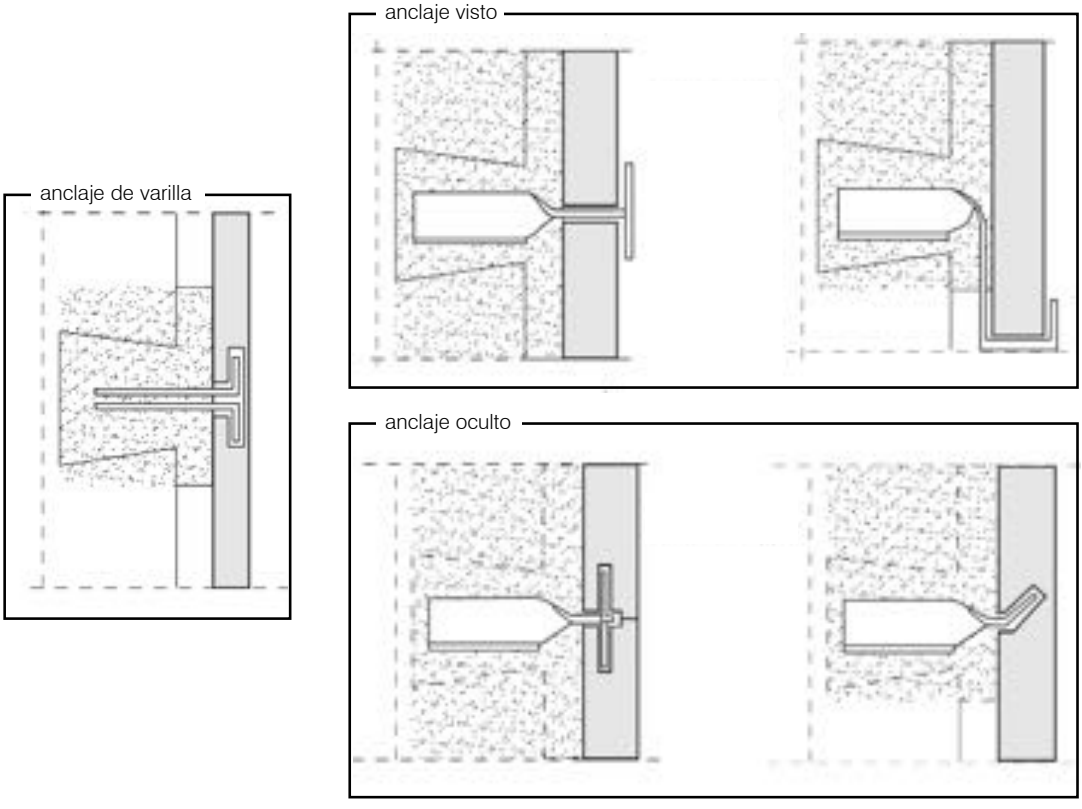
Se entiende por acabado, o revestimiento, cualquier capa de material aplicada sobre cualquier cerramiento, o elemento constructivo independiente sujeto al cerramiento, que recibe el nombre de soporte o base del acabado.

Según el material y la técnica constructiva que se utilicen, los acabados se pueden clasificar en dos grandes grupos: acabados continuos y acabados anclados o colgados.

ACABADOS CONTINUOS

Son todos los acabados de paredes, techos y suelos constituidos por morteros y pastas (por tanto, que no tienen juntas). Se aplican sobre el soporte en estado plástico y, cuando se endurecen, adquieren unas determinadas características fisicoquímicas.

Se pueden adherir al soporte mecánica o químicamente. El primer caso, que es el más habitual, consiste en la penetración del mortero o pasta en la rugosidad superficial del soporte, mientras que el segundo, que es el sistema empleado normalmente en pinturas acrílicas y plásticas –aunque ya ha empezado a utilizarse en morteros con componentes adhesivos– se basa en un intercambio molecular entre el soporte y el acabado.



Anclaje de chapados.

Los acabados continuos se suelen aplicar en paredes y techos, aunque no es infrecuente encontrarlos en suelos de almacenes o locales industriales, y en edificios o locales sin grandes exigencias de acabados.

Los más empleados en paredes y techos son:

- **ENFOSCADOS Y REVOCOS**: de morteros de cemento, cal y combinados. También pueden contener aditivos acrílicos y pigmentos.
- **GUARNECIDOS, TENDIDOS Y ENLUCIDOS**: compuestos principalmente de pastas de yeso o escayola.
- **PINTURAS**: existen muchos tipos distintos y, en función del soporte y del producto químico, su adherencia puede ser mecánica o química.

En cuanto a los suelos, se pueden distinguir dos tipos de acabados continuos:

- **PAVIMENTOS CONTINUOS DE MORTEROS DE CEMENTO** –con varios aditivos plastificantes y endurecedores– que se aplican sobre soleras de hormigón o forjados.
- **PINTURAS ENDURECEDORAS** E **IMPERMEABILIZANTES** aplicadas también sobre soleras y forjados.

ACABADOS ANCLADOS O COLGADOS

Se definen anclados o colgados los acabados formados por distintos elementos, los cuales llegan a la obra ya con un determinado nivel de acabado y sólo requieren su sujeción al soporte. Lógicamente, el sistema que se utilice para adherir el acabado tiene que estar en función del uso que se le va a dar a este último. Se pueden distinguir dos tipos básicos de sujeción al soporte:

- **ADHERENCIA CONTINUA**, realizada con morteros hidráulicos o pegamentos.
- **CUELGUE POR PUNTOS**, que normalmente se efectúa por medio de anclajes mecánicos.

Esta clase de acabados se emplea tanto en paredes como en suelos. Estos últimos, en función del sistema de adherencia, del material empleado y del tratamiento superficial, se pueden clasificar en:

- ***PAVIMENTOS DE BALDOSAS***. Son los constituidos por baldosas pétreas o cerámicas. Para su sujeción se utilizan morteros hidráulicos o "cementos–cola", que pueden aplicarse directamente sobre el soporte o bien sobre una 'capa de reparto' intermedia, que distribuye las presiones y, en cierto modo, separa el acabado del soporte.
- ***TARIMAS Y PARQUETS DE MADERA.*** Son todos los suelos constituidos por elementos lineales de madera clavados a una estructura auxiliar (también de madera), la cual está sujeta o apoyada al soporte. Es oportuno señalar que los métodos de instalación más modernos consisten en adherir –y a veces incluso simplemente en apoyar– los elementos del pavimento directamente al soporte.

  Puesto que la reacción de las tarimas y parquets de madera ante acciones externas varía en función del método de instalación, siempre hay que tenerlo en cuenta a la hora de analizar las causas de los posibles desprendimientos.
- ***ENMOQUETADOS***. Es el grupo de suelos más variado, ya que incluye todos los acabados constituidos por láminas superficiales y flexibles (moquetas, plásticos, aglomerados de corcho, etc.) que se adhieren al soporte por medio de pegamentos. Siempre es necesaria una preparación previa del soporte puesto que éste debe tener una superficie lo suficientemente plana y lisa para poder aplicar adecuadamente el acabado.

En cuanto a las paredes, según el material y el sistema de adherencia, también se pueden distinguir varios tipos de acabados anclados o colgados:

- ***ALICATADOS***. Son los constituidos por plaquetas cerámicas (o de otro material pétreo). Su aplicación al soporte se realiza por medio de morteros hidráulicos o cementos-cola. Su adherencia debe ser continua, ya que de este modo, como se analizará más adelante, se previenen posibles desprendimientos.

- ***CHAPADOS***. Constituidos por losas de piedra colgadas del soporte, es decir, sujetas a la pared con anclajes que normalmente son metálicos. Lógicamente, estos anclajes deben ser capaces de soportar el peso de cada losa sin transmitir ningún esfuerzo a las demás. Al analizar las causas del posible desprendimiento de estos acabados, siempre hay que tener en cuenta el tipo de anclaje utilizado.

- ***APLACADOS***. Resueltos por superposición de elementos superficiales o lineales de gran dimensión solapados entre sí. En general, se sujetan al soporte con anclajes situados en las esquinas, en ocasiones utilizando el mismo anclaje para las piezas solapadas entre sí y a veces colocando en el cerramiento una estructura auxiliar (rastreles) a la que se anclan los elementos del acabado. Los materiales de los aplacados pueden ser la madera (en tablones o tableros), los materiales plásticos rígidos o las chapas metálicas y de fibrocemento.

  En cualquier caso, en los posibles desprendimientos influirán también el sistema de anclaje y la libertad de movimiento de las distintas piezas.

- ***ENMOQUETADOS***. Tienen prácticamente las mismas características que las indicadas en el apartado de suelos.

- ***ELEMENTOS SUELTOS***. Entre los que se incluyen todos los elementos o piezas auxiliares adheridos a un cerramiento del edificio con finalidad estética o funcional (farolas, carteles, canalones, etc.). Se suelen sujetar al cerramiento con anclajes puntuales o con pegamento y, por tanto, también pueden llegar a desprenderse. Normalmente, su desprendimiento dependerá de los anclajes, del tamaño del elemento, del material con el que está fabricado y de las variaciones dimensionales que puedan provocar los cambios de temperatura.

TIPOLOGÍA DE LOS DESPRENDIMIENTOS

El desprendimiento de un acabado depende en buena medida del sistema con el que haya sido aplicado al soporte, del material de sus elementos y del tipo de acabado (continuo o anclado). Sin embargo, existen algunas causas generales que influyen en la aparición de esta lesión y que conviene analizar antes de pasar a estudiar individualmente los distintos acabados.

En cualquier caso, los desprendimientos obligan siempre a la demolición y recolocación del acabado. En función de la intensidad y extensión de la lesión esta sustitución podrá ser parcial –sólo de las piezas afectadas– o total.

SEGÚN LA CAUSA

Puesto que como acabamos de mencionar estas causas generales y comunes están en función del método de sujeción del acabado al soporte, lo más conveniente es analizarlas según los tipos de acabados que hemos descrito anteriormente.

Por lo que se refiere a los acabados continuos adheridos con morteros o colas, la causa siempre es una falta de adherencia que puede deberse a una defectuosa aplicación del mortero o la cola que haya impedido, antes del fraguado, la debida penetración por la red capilar del soporte, así como a determinados movimientos de los acabados debidos a los cambios de humedad o de temperatura.



Pérdida de la capa exterior del revoco de fachada. Es este caso se trata de un revoco del tipo esgrafiado.



Pérdida del revoco de fachada. Los ladrillos quedan a la vista y expuestos a la humedad y erosión atmosféricas

En cualquier caso, el desprendimiento se producirá al romperse el sistema de adherencia, tanto si ésta es mecánica como química. Actualmente, la primera es la que más se utiliza en la construcción de edificios y se basa en la interpenetración de ambos elementos gracias a la rugosidad de uno de ellos, de modo que se produzca una trabazón que impida su separación.

La adherencia química –empleada sólo para algunas pinturas y algunos productos a base de resinas– se fundamenta en la unión intermocular entre los dos materiales que se adhieren.

Por tanto, para que se produzca el desprendimiento es necesario que se rompan las interpenetraciones –en el caso de las adherencias mecánicas– o que se produzca una reacción química capaz de destruir la unión molecular –en el caso de las adherencias químicas. Normalmente, en los acabados continuos adheridos con morteros o colas se suelen distinguir tres causas generales de desprendimiento: ***POR ESFUERZO RASANTE, POR DILATACIÓN DE ELEMENTOS INFILTRADOS Y POR FALTA DE ADHERENCIA PROPIAMENTE DICHA***. El primero se produce cuando un acabado continuo, por ejemplo mortero, y el soporte sobre el que se ha aplicado se mueven en una misma dirección, pero en sentido contrario, se produce el llamado esfuerzo rasante, que puede provocar la pérdida de la integridad de la unión entre ambos elementos.

Es decir que puede llegar a romper las interpenetraciones entre acabado y soporte y facilitar el desprendimiento del primero. Los esfuerzos rasantes pueden producirse por dilataciones y contracciones térmicas del acabado o por movimientos elásticos del soporte.

En cambio, la dilatación de elementos infiltrados se produce cuando, al aplicar un acabado continuo, entre éste y el soporte se crea un microespacio intermedio en el que se puede infiltrar algún elemento, especialmente agua o sales. Si estos elementos se dilatan (por ejemplo, el agua se congela o las sales cristalizan), se produce un empuje perpendicular al plano del acabado y, si la fuerza del mismo es superior a la capacidad de adherencia de las interpenetraciones mecánicas (ya sea por rozamiento o por resistencia a tracción de las mismas), se producirá el desprendimiento. En los casos de adherencia química, también pueden formarse microespacios donde se infiltren los elementos capaces de provocar la lesión.

Por último, la falta de adherencia propiamente dicha aparece cuando la aplicación de un acabado continuo es incorrecta, ya que en ese caso se provoca una defectuosa unión de penetraciones o, en su caso, molecular que pueden llevar al desprendimiento. Las causas más habituales de mala ejecución del acabado son:

- **USO DE MORTEROS HIDRÁULICOS** cuando el soporte no está adecuadamente húmedo. En consecuencia, el soporte succionará parte del agua del mortero y, por tanto, hará disminuir su relación agua/cemento, hecho que provocará un fraguado defectuoso en la zona de contacto entre acabado y soporte. El resultado será que no se crearán las interpenetraciones para una correcta adherencia mecánica y, por tanto, el desprendimiento se producirá con muchá más facilidad.

- **FALTA DE LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE DEL SOPORTE**. Si en ella hay polvo o grasa, resulta difícil que se consiga una buena adherencia, tanto mecánica como química. En el primer caso, la grasa impide que el fraguado sea correcto y dificulta las penetraciones en las rugosidades. Lo mismo ocurre con el polvo que, además, facilita la absorción de agua por parte del soporte y por tanto la disminución de la relación agua/cemento en el mortero. En el caso de la adherencia química, la suciedad actúa como barrera que dificulta la unión molecular continua.



Ejecución de un revoco.



La diferencia de temperaturas que se produce en muros de dos o más capas de ladrillos, provoca que la exterior, si no está bien ligada a la interior, pierda adherencia y se produzca su caída.

- **POCA RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE DEL SOPORTE**. En este caso, las penetraciones no serán suficientes para garantizar una buena adherencia, es decir para contrarrestar los esfuerzos antes descritos.

Por lo que respecta a los acabados anclados o colgados, como ya se ha dicho la unión entre acabado y soporte está representada por los anclajes y, en consecuencia, el origen del desprendimiento puede encontrarse en cuatro puntos distintos:

- ***UNIÓN DEL ELEMENTO DEL ACABADO AL ANCLAJE***. Normalmente, esta unión se realiza perforando el elemento de acabado o incluso rompiéndolo por pinzamiento. El desprendimiento se suele producir cuando el elemento se rompe en ese punto de unión por no poder superar el esfuerzo cortante al que se ve sometido.

- ***EL ANCLAJE***. El desprendimiento puede producirse por corrosión del elemento metálico que constituye el anclaje o porque su capacidad mecánica no pueda soportar el esfuerzo de sujetar la pieza de acabado.

- ***UNIÓN DEL ANCLAJE AL SOPORTE***. El desprendimiento aparecerá por arrancamiento cuando dicha unión no sea lo suficientemente profunda o cuando el material de unión (mortero hidráulico o producto químico) no se haya aplicado adecuadamente.

- ***DEBILIDAD DEL ELEMENTO DE ACABADO***. Los defectos en la fabricación del material o su mala elección también pueden dar lugar a roturas y desprendimientos.

SEGÚN EL SISTEMA

Evidentemente, existen muchas posibilidades a la hora de adherir un acabado a un cerramiento, posibilidades relacionadas con el material del primero y el método de aplicación que se elijan. A continuación estudiaremos el fenómeno del desprendimiento en relación a los tipos de acabado que se han descrito.

Puesto que en general la adherencia de los pavimentos continuos a base de morteros es mecánica en junta superficial, sus causas de desprendimientos se pueden clasificar en dos tipos:

- **POR ESFUERZO RASANTE**, que puede producirse tanto por contracción–dilatación de la capa de mortero o de hormigón como por flecha o movimiento del soporte, ya que el desplazamiento relativo se puede convertir en esfuerzo rasante.

- **POR DILATACIÓN DE ELEMENTOS** (agua que se hiela, sales que cristalizan, etc.) infiltrados en los microespación que quedan libres entre el soporte y el acabado al aplicar este último.

En el caso de las pinturas endurecedoras e impermeabilizantes, puesto que el espesor del acabado es muy pequeño y la adherencia suele ser química, la posible separación de la pintura del soporte suele tener su origen en la presencia de distintos elementos entre ambos que no han sido conveniente limpiados antes de la aplicación del acabado. Estos elementos pueden ser:

- **INFILTRADOS**. Agua y sales que se acumulan bajo la pintura, sobre todo si ésta es muy impermeable, y que al dilatarse rompen la adherencia entre acabado y soporte.

- **EXISTENTES PREVIAMENTE**. Son suciedades que se hallan sobre el soporte y que no han sido limpiadas correctamente por lo que dificultarán el contacto entre acabado y soporte y, en consecuencia, su adherencia, ya sea ésta mecánica o química.

Por lo que respecta a los pavimentos de baldosas, su sistema de adherencia es mediante mortero de agarre y los posibles desprendimientos pueden tener distintos orígenes:

- **POR ESFUERZO RASANTE**. El esfuerzo rasante puede deberse a la contracción y dilatación de las baldosas (el desprendimiento se producirá entre baldosa y mortero ya que su unión es mecánicamente más débil) o **por flecha del soporte**, que puede provocar tanto la separación de las baldosas del mortero como la de éste del soporte, especialmente si no existe capa de reparto. En caso de que si exista, lo más normal es que el desprendimiento afecte a la unión baldosa/mortero.

- **POR COMPRESIÓN DE LA CAPA DE AGARRE**. Se suele producir si ésta es mecánicamente débil. Por ejemplo, cuando el borde de una baldosa está sin sujeción, puede sufrir una excesiva presión vertical sobre ese punto que supere la capacidad de la capa de agarre.

- **POR DILATACIÓN DE ELEMENTOS INFILTRADOS**. Especialmente las sales que arrastra el agua que entra por capilaridad o filtración o las presentes en en el mortero de agarre, que afectan a la unión baldosa/mortero y pueden llegar a levantar la primera. Lo mismo ocurre si hiela la posible agua acumulada bajo la baldosa.

En cambio, teniendo en cuenta las características de elasticidad de la madera y su sistema de sujeción al soporte, la causa más habitual de desprendimiento de los pavimentos de este material hay que buscarla en la contracción–dilatación de sus elementos provocada por las variaciones de humedad, ya que los posibles movimientos del soporte no suelen afectar a estos pavimentos. Pero no hay que olvidar que los fenómenos de contracción y dilatación se pueden producir en los elementos de madera por dos motivos:

- **CAMBIO DIMENSIONAL INEVITABLE DEBIDO A LAS VARIACIONES DE LA HUMEDAD AMBIENTAL**. No deberían provocar la separación del acabado, a menos que en su ejecución no se hayan previsto las holguras necesarias en los puntos de encuentro del suelo con los elementos verticales. En efecto, en este caso, cuando las piezas de madera se dilatan y tropiezan con los elementos verticales, las tablas se empujan unas a otras y acaban por levantarse. Hay que decir que esta separación del acabado no suele afectar a los rastreles. En cambio, la contracción de las tablas puede dar lugar a desprendimientos localizados en los puntos de anclaje o en las uniones entre los elementos de madera. Si el pavimento está formado por piezas de contrachapados o aglomerados, la posibilidad de que se produzca esta lesión es bastante menor.

- **EXCESO DE HUMEDAD**. Puede aparecer, sobre todo, por filtraciones desde arriba, por capilaridad o porque el propio material ya contenga demasiada. En caso de que la humedad se produzca por filtración, el resultado será parecido al que se produce por cambio dimensional de las tablas. En cambio, si el agua llega por capilaridad, se verán afectados los rastreles, que se dilatarán y se separarán del soporte. Sin embargo, a veces, el agua que llega por capilaridad, puede transmitir humedad a las tablas y provocar su cambio dimensional. Por último, si el material contiene un exceso de humedad, pueden aparecer alabeos que afectarán tanto a los rastreles como a las tablas. Aunque estos son los tres motivos más comunes de que se produzca un exceso de humedad, no hay que despreciar la posibilidad –aunque infrecuente– de que sea el mortero de agarre del rastrel el que transmita la humedad a las tablas de madera y al propio rastrel. Esto sucederá si no se ha dejado secar lo suficiente el mortero antes de colocar la tarima.

Para concluir el análisis de los pavimentos, mencionaremos los láminas flexibles, entre los que se incluyen las láminas de PVC. En este caso, los desprendimientos se suelen manifestar en forma de arrugas (en las zonas centrales) o de levantamiento en los bordes (tanto si son losetas relativamente pequeñas como si son láminas de gran tamaño). Existen distintas causas que pueden provocar la separación de las láminas flexibles y las más comunes son:

- **DISCONTINUIDAD DEL SOPORTE**. Si por un error de ejecución o por rotura de la capa de nivelación el soporte no es completamente plano y liso, en el acabado se formarán arrugas (si el elemento es de poco espesor) u ondas lineales (si es más grueso).

- **EXCESO DE MATERIAL**. En caso de que al aplicar el acabado, éste no se tense lo suficiente, se formarán ondas paralelas. Lo mismo ocurrirá si el material se dilata por exceso de humedad.

- **FALLO DEL MATERIAL ADHERENTE**. El material puede romperse y desprenderse, normalmente en los bordes, por haber sido tensado demasiado en su colocación o por contracción excesiva del suelo. En estos casos se producirá el típico levantamiento de las esquinas.´

- **ESFUERZO RASANTE**. Se produce por el rozamiento de las pisadas y provoca el levantamiento de los bordes de las losetas (especialmente si el suelo es de material plástico) o arrugas interiores (si el pavimento es de moqueta).

CAUSAS	ORIGEN
Esfuerzo rasante entre soporte y acabado	- variaciones dimensionales por cambios de temperatura o humedad - movimientos estructurales del soporte
Dilatación de elementos infiltrados	- filtración de agua y su posterior helada - cristalización de sales
Defectos de ejecución (especialmente, una aplicación defectuosa)	- falta de rugosidad en el soporte (impide un buen agarre) - aplicación del acabado sobre un soporte demasiado seco - mala limpieza del soporte - incorrecta aplicación del revoco

CAUSAS DE DESPRENDIMIENTO DE ENFOSCADOS Y REVOCOS Y LOS MOTIVOS QUE LAS ORIGINAN

Pasando a hablar de paredes y techos, los enfoscados y revocos, revestimientos exteriores que suelen aplicarse sobre superficies débiles ante los agentes externos o para reforzar mecánicamente un muro compuesto de unidades pequeñas (ladrillos, bloques, etc.), tienen una doble finalidad: protección de las superficies rugosas exteriores ante la acción de los agentes atmosféricos, biológicos y dinámicos (por ejemplo, aseguran la impermeabilización del paramento cuando el soporte no puede realizar esa función debido a su porosidad, poco espesor, etc.) y obtención de un aspecto estético y decorativo.

Puesto que existen numerosas clases de enfoscados y revocos, en función de su composición o de su modo de aplicación, antes de analizar las causas de los posibles desprendimientos es conveniente recordar los principales. Según su composición tenemos: morteros de cemento, morteros de cal y morteros de resina sintética. En cambio, según su aplicación pueden ser: enfoscado grueso, el que se aplica directamente sobre el material del paramento, enfoscado fino, que se aplica sobre una capa de enfoscado y, en general, sirve de capa exterior, y revoco, que es una capa de enfoscado exterior que se coloca sobre una base de enfoscado grueso.

Teniendo en cuenta que la adherencia de estos acabados es mecánica, los desprendimientos se producen por pérdida de la misma con el soporte, que suele deberse a tres causas básicas: esfuerzo rasante entre el soporte y el acabado, dilatación de elementos infiltrados y defectos de ejecución. En la siguiente tabla aparecen esas tres causas básicas de desprendimiento de enfoscados y revocos y los principales motivos que suelen originarlas.

AGENTE	EFECTO
Radiaciones solares	Provocan pérdidas de adherencia y aceleran su destrucción, especialmente los rayos ultravioletas
Ciclos frío/calor	Endurecen la pintura y, en consecuencia, aumentan su fragilidad. Si la pintura no es lo suficientemente elástica, pueden provocar cuarteamientos
Agua de lluvia	Deteriora la pintura y puede llegar a provocar su desprendimiento

AGENTES EXTERNOS QUE ATACAN A LAS PINTURAS DE CERRAMIENTOS EXTERIORES Y SUS EFECTOS DESTRUCTIVOS

Por lo que se refiere a los guarnecidos y enlucidos, sus causas de desprendimiento son muy similares a las de los enfoscados y revocos, ya que sus sistema de adherencia es el mismo. La única diferencia es que, al ser acabados utilizados en interiores, los primeros no sufren los esfuerzos rasantes provocados por los cambos dimensionales debidos a variaciones de temperatura. Sin embargo, si pueden producirse cambios dimensionales por aumento de humedad, ya que tanto los yesos como las escayolas son materiales higroscópicos y, por tanto, pueden absorber la humedad ambiental. En cualquier caso, los efectos no deberían ser de gran importancia.

En cuanto a las pinturas utilizadas para paredes, techos y elementos mecánicos, su finalidad es la de proteger las superficies exteriores y darles un aspecto estético. Para entender bien el fenómeno de los desprendimientos de las pinturas hay que analizar varios factores, y uno de ellos es el material sobre el que se aplica. Los materiales sobre los que con más frecuencia se aplica una pintura son:

- **METALES**. El desprendimiento suele ser consecuencia de la oxidación interior del metal, que causa la pérdida de adherencia de la pintura, o el rechazo químico del soporte. En ambos casos, lo más probable es que el motivo se encuentre en un defecto de ejecución. En concreto, en el primero la causa puede ser la falta de protección del soporte, mientras que en el segundo lo más normal es que se trate de una mala elección de la pintura (es decir, que por sus características químicas no se adhiere correctamente al soporte).

- **MADERA**. La pérdida de adherencia de la pintura y su posterior desprendimiento suele ser consecuencia de la humedad absorbida por el material o de la pérdida de la misma durante los períodos secos. Por ello, cuando se pinta sobre cerramientos de madera, ésta debe estar tratada con productos hidrofugantes, que dificultan la absorción de agua, mientras que las pinturas que se utilicen deben ser elásticas, es decir, capaces de absorber los movimientos dimensionales de la madera provocados por los cambios térmicos.

- **MORTEROS**. La causa de los desprendimientos de la pintura son similares a las analizadas para los enfoscados y revocos, ya que la adherencia se suele perder por la acción del agua (por filtración de lluvia o por condensación intersticial del vapor de agua procedente del interior). Lo mismo puede ocurrir cuando se aplica pintura en soportes pétreos (mamposterías, hormigón, bloques, etc.) y cerámicos (ladrillos). Evidentemente, para tratar de evitar estos desprendimientos es necesario impedir que el agua llegue a la superficie del soporte y, en caso de que llegue, facilitar su evaporación o salida al exterior. Para conseguirlo, hay que pintar cuando el soporte esté bien seco y utilizar las llamadas pinturas de poro abierto, que impiden la infiltración de agua procedente del exterior, pero permiten el paso del vapor de agua que viene del interior.

Por otro lado, una pintura aplicada sobre un cerramiento exterior puede degradarse y llegar a desprenderse, por el ataque de ciertos agentes externos procedentes de la atmósfera, que aparecen recogidos en la siguiente tabla junto con sus principales efectos destructivos.

Teniendo en cuenta todo lo que se acaba de mencionar con respecto a la pintura, podemos clasificar globalmente las causas de su desprendimiento en tres apartados:

CAUSA	ORIGEN
Esfuerzo rasante entre el acabado y el soporte	- retracción excesiva de la pintura que provoca una pérdida de adherencia (puede deberse a las características químicas de la pintura, a la acción de agentes atmosféricos o a las variaciones térmicas) - movimientos dimensionales del soporte por cambios de humedad o temperatura que la pintura no puede resistir por ser poco elástica
Dilatación de elementos infiltrados	- filtración de agua y su posterior helada - cristalización de sales
Errores de ejecución	- humedad excesiva en el soporte (afecta sobre todo a los materiales leñosos y pétreos) - suciedad sobre la superficie del soporte, que impide una perfecta adherencia - falta de compatibilidad química entre soporte y pintura, es decir, entre el tipo de pintura utilizado y el material sobre el que se aplica

CAUSAS DE DESPRENDIMIENTO DE LAS PINTURAS Y LOS MOTIVOS QUE LAS ORIGINAN

Pasando ahora a los alicatados, hay que decir en primer lugar que sus desprendimientos son de los más llamativos, ya que si el material de agarre pierde su capacidad de adherencia las baldosas pueden desprenderse totalmente y caer al suelo. El desprendimiento puede ser local o extenderse a todo el cerramiento y sus causas pueden ser distintas, aunque en general actúan combinadas y de manera simultánea. Las principales son:

- **MOVIMIENTOS ESTRUCTURALES DEL SOPORTE**. Estos movimientos pueden deberse, por ejemplo, a variaciones dimensionales por causas térmicas o a obras que se realicen en un edificio vecino y que puedan alterar la cimentación o la estructura del edificio en el que se van a colocar los alicatados. En cualquier caso, se producirá un esfuerzo rasante entre plaquetas y mortero de agarre que debilitará la adherencia. Si ésta es lo bastante fuerte como para evitar el desprendimiento, lo más probable es que aparezcan fisuras en las baldosas.

- **PENETRACIÓN DE HUMEDADES Y HELADA DEL AGUA**. Puede llegar por filtración de agua de lluvia –en el caso de alicatados colocados en cerramientos exteriores– o por condensación del vapor de agua procedente de los espacios habitados del edificio –es el caso de las paredes interiores. El agua penetrará con mayor facilidad en función de la debilidad de las juntas de las plaquetas. Muchos problemas de desprendimientos de azulejos tienen su origen en la penetración del vapor de agua en la parte posterior de los mismos.

- **VARIACIONES DIMENSIONALES POR CAMBIOS BRUSCOS DE TEMPERATURA**. La dilatación de cada pieza del alicatado provoca que se empujen entre sí. Si este empuje es demasiado intenso, las plaquetas acabarán levántandose.

- **DEFECTOS EN LA EJECUCIÓN**. Pueden ser muy variados, pero todos provocan fallos en la adherencia entre soporte y acabado. Teniendo en cuenta las causas de desprendimiento que se han mencionado más arriba, y para no incurrir en defectos de ejecución, habrá que:

  - Cuidar que el mortero de agarre cubra toda la superficie posterior de las plaquetas;

  - Separar éstas con juntas de mortero, que deberán estar totalmente rellenas para evitar que penetre el agua y para aumentar la adherencia;

  - Realizar una perfecta alineación horizontal y vertical de las piezas; sujetar cualquier elemento exterior al cerramiento que actúa de soporte y no al alicatado;

  - Establecer juntas de retracción en el acabado y respetar las de dilatación del soporte;

  - Limpiar muy bien el soporte;

  - No alicatar sobre soportes con escasa rugosidad, como por ejemplo, cerramientos o paredes de hormigón o yeso que no estén totalmente secos.

En casi todos los casos de chapados de piedra, las losas de piedra natural se colocan individualmente sobre el soporte por medio de anclajes, es decir no reciben la carga de las que tienen por encima. Únicamente se podrá prescindir de los anclajes –que en general son patillas de acero inoxidable o galvanizado ancladas al cerramiento o perfiles continuos que sujetan todo el borde la pieza– cuando se utilice mampostería irregular (y, además, en alturas no superiores a dos plantas). Para evitar las filtraciones de agua, hay que rellenar las juntas con mortero.

Por tanto, lo normal es que los chapados de piedra se desprendan por rotura de los anclajes, algo que se puede producir por distintas causas:

- **VARIACIONES DIMENSIONALES**. Pueden provocar que las piezas se empujen entre sí y se rompan los anclajes. Normalmente, se romperán los de las piezas de los bordes, por esfuerzo cortante, o los de las piezas centrales, por tracción.

- **FALLO DE LOS ANCLAJES**. Una mala elección de los anclajes puede producir su rotura o su corrosión. El primer caso se produce cuando los anclajes no son lo suficientemente fuertes como para soportar el peso de las piezas, mientras que el segundo se manifiesta cuando se produce una penetración de agua, que con el tiempo puede llegar a corroer y destruir el anclaje.

- **MOVIMIENTOS DEL SOPORTE**. Como ya hemos visto al hablar de otros acabados, los movimientos estructurales o térmicos del soporte producen un esfuerzo rasante que puede desembocar en la rotura de los anclajes o en la apertura de las juntas de unión entre las piezas.

Además de la rotura de los anclajes, existen otros factores que, en ocasiones, pueden provocar el desprendimiento de los chapados: falta de integridad de las piezas cuando éstas son demasiado débiles (espesor menor de 2 cm), pérdida de adherencia del mortero de agarre por infiltración de agua y posterior helada de la misma o, si está situada en zonas bajas de los edificios, los posibles golpes e impactos que reciba.

Por último, la colocación de los aplacados, que son acabados realizados en diferentes materiales: placas de piedra artificial, escamas de fibrocemento, lajas de pizarra, placas de mármol, etc., es muy similar a la de los chapados y se basa en el anclaje de las piezas por medio de ganchos de acero inoxidable o galvanizado que, generalmente, se clavan a rastreles de madera anclados al cerramiento con mortero de cemento.



Ejemplo básico de erosión mecánica de un elemento constructivo al roce permanente de vehículos y personas.



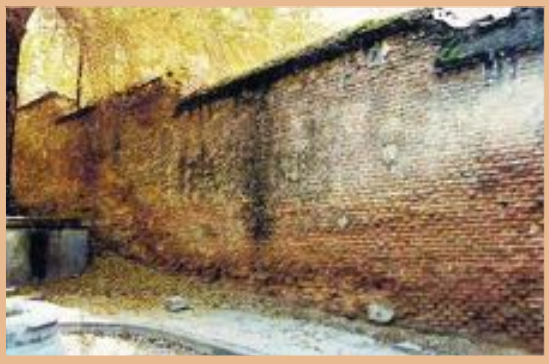
Buena decisión de diseño, el redondeado de esta arista expuesta a roces disminuye su erosión.



El paso de personas y animales, sumado a la permanente exposición a la humedad atmosférica, ha producido esta erosión mecánica con pérdida considerable del material constituyente.



Pintadas (grafitis), manchas de orín, deposiciones, rayaduras son algunas de las lesiones a edificios propias del vandalismo.



Este muro presenta múltiples patologías: humedad ascendente, pérdida de ladrillos y mortero en su parte baja, agrietamiento por empuje de tierras, erosión mecánica en su parte media y erosión química y bioquímica en su parte superior.

Además, las piezas deben solaparse unas a otras de modo que tanto el gancho inferior como el solape superior impidan su movimiento (para asegurar su inmovilidad, en piezas pequeñas el solape debe ser al menos un tercio de la pieza).

Puesto que el sistema de adherencia se realiza por medio de anclajes, los desprendimientos dependerán de la rotura de los mismos o de las piezas.

Las principales causas de estas roturas son:

- **VARIACIONES DIMENSIONALES**. Debido a la mayor longitud de las piezas, son más importantes que en los chapados. Además, hay que tener en cuenta que, puesto que las piezas están solapadas, el empuje debido a los cambios dimensionales afecta especialmente a los anclajes. Lógicamente, si ese empuje es excesivo, se puede romper el anclaje, por esfuerzo cortante, o incluso la pieza.

- **FALLO DE LOS ANCLAJES**. Se puede producir por rotura, por corrosión o por arrancamiento. El primer caso se ha explicado en el punto anterior y suele afectar a los situados en los bordes del acabado. El segundo puede deberse a la falta de protección del anclaje o a las filtraciones de agua. La causa de estas últimas suele estar en una defectuosa colocación de las piezas.

  Por último, el arrancamiento también se suele producir por una mala ejecución, en concreto porque el anclaje no ha penetrado lo suficiente en el soporte o porque se debilita el mortero de agarre que une la placa al soporte.

EROSIÓN MECÁNICA

Se define como erosión mecánica la pérdida de material superficial de un elemento constructivo debida a esfuerzos mecánicos que actúan sobre ellos (golpes, roces, etc.).

En definitiva, se trata de cualquier efecto destructor que ataca la superficie de un material provocando su deterioro progresivo.

Las erosiones mecánicas afectan especialmente a los pavimentos de las viviendas, ya que sobre ellos se ejerce un roce y un punzonamiento continuos, pero como veremos más adelante se producen en bastantes otras partes de un edificio.

De hecho, diferentes agentes y factores externos intervienen en la erosión mecánica de un material constructivo: el uso que las personas hacen de los edificios, la acción de los animales, los impactos o roces provocados por objetos y la acción del viento.

Como veremos, resulta paradójico que la actividad humana es el factor más peligroso en relación a la erosión mecánica de los materiales constructivos.

Inevitable y lógicamente, esa actividad humana –es decir el uso que las personas hacemos de las viviendas– conlleva una erosión mecánica de los materiales del interior de un edificio. Hemos dicho antes que los pavimentos son los principales afectados y, en este sentido, no hay que pensar que la única causa sea el continuo roce al que son sometidos por el constante movimiento de las personas, ya que no hay que olvidar, por ejemplo, el importante deterioro que suponen para los suelos de piedra natural, o para los mármoles en suelos de cocina, los continuos fregados con abundante agua.

Si esta limpieza se realiza utilizando también lejía o cualquier otro ácido limpiador, el efecto erosivo será más rápido.

La colocación de estanterías en las paredes, el roce de muebles, armarios o sillas cuando son desplazados son otras de las innumerables acciones humanas que provocan erosión y que, por resultar bastante obvias, resulta innecesario enumerar aquí.

En cuanto a las fachadas, la erosión mecánica se manifiesta por el roce continuado y los posibles impactos en las zonas de paso, sobre todo las esquinas y salientes, que las desgastan notablemente. En concreto, como es fácil entender, la planta baja de la fachada es la que sufre principalmente estas agresiones, a las que hay que unir el hecho de que es la parte donde se suelen colocar, por ejemplo, las placas de rotulación con el nombre de las calles, las conducciones eléctricas o incluso a veces carteles indicadores. Indudablemente, estas operaciones contribuyen a que la erosión sea mayor.

Hasta ahora hemos hablado de la erosión mecánica en los materiales y elementos constructivos provocada por la actividad diaria de las personas, la actividad que podríamos considerar como “normal”, pero en ocasiones –cada vez más en los últimos tiempos– se producen actos de vandalismo que implican el deterioro intencionado de parte de las fachadas de los edificios. Las principales manifestaciones de vandalismo son el grafiti y la degradación o rotura voluntaria de alguna parte o elemento de la fachada.

En el caso de los grafiti –dibujos pintados sobre las fachadas con aerosoles–, deberían evitarse los métodos de limpieza abrasivos, ya que lo que hacen es eliminar parte de la superficie de la fábrica y dejar al descubierto un substrato más débil, cuya erosión será más rápida.

El matenimiento y la restauración de los edificios realizada por las personas también puede ser motivo de erosión mecánica de los materiales o elementos constructivos. Principalmente, estas acciones dañinas se deben a:

- **REALIZACIÓN DE LIMPIEZAS** con medios abrasivos y químicos que dañan los materiales de las fachadas (incluso pueden llegar a eliminar las capas de protección).

- **Utilización de productos protectores** que, debido a su composición química, pueden originar una reacción con el material de fachada que de lugar a la erosión de éste.

- **ELIMINACIÓN DE ELEMENTOS** o colocación de otros nuevos sin tomar la solución correcta o aplicando criterios técnicos erróneos.

Por otro lado, hay que indicar que también los animales pueden erosionar los materiales constructivos. En el caso de los animales superiores, su acción es similar a la del hombre, es decir que provocan la erosión mecánica como consecuencia de sus movimientos y acciones en el interior y en el exterior de un edificio. Además, en muchos casos, los residuos de animales (excrementos, nidos), como los restos de plantas, pueden provocar deterioros de otro tipo. Por ejemplo, pueden obstruir tuberías o desagües provocando una acumulación de agua que desemboque en serios problemas de erosión de humedades.

Cabe mencionar los casos de las ratas, que resultan especialmente peligrosas debido a que son capaces de roer tuberías, morteros y cables eléctricos –acción que evidentemente resulta en una erosión acelerada de esos elementos constructivos– y de algunas especies de abejas solitarias que a veces consiguen colonizar los morteros de unión de fábricas de ladrillo causando surcos e irregularidades y desgastando el material.

Pero también existen mucho microorganismo que pueden desgastar los materiales. Entre ellos, las biobacterias, que pueden transformar el azufre en ácido sulfúrico, los antinomicetos, que atacan a la piedra arenisca o las bacterias nitrificantes, que se suelen desarrollar sobre las calizas.

La acción del viento es puramente mecánica, ya que, además de la fuerza de impacto, que evidentemente erosiona una fachada, puede transportar partículas (como granos de arena de playas o desiertos) que lanza contra las fachadas y luego las arrastra –junto con las partículas de material ya disgregadas– sobre su superficie provocando un notable desgaste.

Por otra parte, la velocidad del viento también influye en la evaporación del agua acumulada sobre una fachada y en la posible cristalización de las sales disueltas.

En cambio, la acción erosiva de las plantas superiores se centra sobre todo en el efecto dañino producido por el crecimiento de las raíces, que pueden penetrar en las fachadas de los edificios por grietas y hendiduras. En concreto, cuando los morteros de cal se encuentran en mal estado y absorben la humedad, las raíces se introducen en las hendiduras y juntas, como por ejemplo en las fisuras de los paramentos de fachadas, ensanchándolas y provocando tensiones que pueden llegar a provocar mayores desperfectos.

Así mismo, resulta bastante frecuente que las semillas se introduzcan en las juntas horizontales de dilatación de manera que se desarrolla una vegetación que impedirá que esas juntas desarrollen debidamente su función, pero también pueden provocar erosión las plantas trepadoras y parras plantadas en el terreno que acaban subiendo por las paredes e introducen sus raíces.

La agresión de estas últimas plantas, que además pueden fomentar el desarrollo de organismos como pájaros, insectos o roedores que intensificarán el deterioro del edificio, es mucho más frecuente en zonas muy húmedas.

Las raíces leñosas de algunas especies arbóreas perennes pueden penetrar profundamente a través de piedras y ladrillos y provocar la erosión e incluso la rotura de los materiales de la estructura. Otro problema relacionado con las raíces de los árboles lo constituye el hecho de que consigan penetrar en desagües, alcantarillados o incluso cimentaciones, ya que pueden acelerar su desgaste.

De hecho, mientras se desarrollan, las raíces pueden crear presiones de más de 100 kg/cm^2. Evidentemente, el efecto erosivo de un árbol también implica la posible caída –y posterior impacto– de ramas, o incluso del tronco, sobre un edificio o sobre una parte de él.

Por otro lado, existen algunos vegetales, como los líquenes, que segregan determinadas substancias ácidas que colaboran con eficacia en la disgregación de algunos materiales (especialmente las piedras sedimentarias, los morteros y las maderas) y conservan la humedad favoreciendo otras alteraciones de sus propiedades.

CAUSAS QUÍMICAS

Los materiales constructivos también pueden sufrir patologías de origen químico, que, en general, suelen consistir en reacciones químicas de sales, ácidos o álcalis que acaban produciendo algún tipo de descomposición del material afectado. A la larga, éste irá perdiendo su integridad, ya que las patologías de carácter químico afectan notablemente a la durabilidad de los materiales. En conjunto, las lesiones de origen químico se desarrollan a través de procesos claramente distintos a los de las patologías de carácter físico y mecánico, pero sin embargo, en ocasiones su sintomatología puede llegar a confundirse.

Se suelen distinguir cuatro grupos de lesiones químicas, cada uno de los cuales analizaremos detalladamente a continuación. Son: las ***EFLORESCENCIAS***, es decir, los depósitos de sales minerales solubles que se forman sobre la superficie de un material; las ***OXIDACIONES Y CORROSIONES***, entendidas como una transformación química que se produce en la superficie de los metales, especialmente el hierro y el acero, que provoca la destrucción de la misma; la ***EROSIÓN***, o sea la pérdida de material en las superficies de los materiales como resultado de ciertas reacciones químicas de sus componentes con otras sustancias atacantes; y por último, los ***PROCESOS BIOQUÍMICOS***, es decir, el conjunto de lesiones químicas que se deriva de la presencia de un organismo vivo, ya sea animal o vegetal, y que afecta a la superficie del material constructivo.



Los ladrillos deben probarse y certificarse según el contenido de sales de los mismos. Las eflorescencias aparecen con frecuencia durante el primer tiempo luego de puestos en obra los ladrillos y tienden a desaparecer o disminuir a medida que los elementos liberan las sales solubles contenidas en su interior

EFLORESCENCIAS

En general, se suele definir a las eflorescencias como la cristalización en la superficie de un material de sales solubles contenidos en el mismo. El fenómeno se produce cuando el agua que se halla en el interior de un material, y que contiene una solución de esas sales, se evapora de manera relativamente rápida.

En efecto, durante la evaporación, el agua, que va de dentro hacia fuera, arrastra a esa solución salina hasta la superficie del material y, una vez allí, mientras se completa la evaporación, la mencionada solución inicia un proceso de concentración –es decir que la concentración de las sales en la solución va aumentando– que puede llevar a su saturación y posterior cristalización. Ésta se suele manifestar en forma de manchas blancuzcas que afean el aspecto exterior de los cerramientos y deterioran el material (las eflorescencias pueden ocasionar, por ejemplo, los desprendimientos de azulejos).

Normalmente, estas manchas tienen formas geométricas que varían según el cristal y que en cierto modo se parecen a flores, de ahí el nombre de la lesión.

Como se analizará más adelante, hay ocasiones en que la cristalización salina se produce en el interior del material. Ese fenómeno recibe el nombre de criptoeflorescencia.

Esta lesión afecta con más frecuencia a los materiales más porosos o con texturas más abiertas y con cierta capacidad de absorción de agua, como el ladrillo, la piedra, el hormigón, los morteros o el yeso.

De hecho, cuando un material presenta una capacidad de absorción de agua nula, es muy difícil que aparezcan eflorescencias.

Es el agua el medio capaz de generar esta lesión disolviendo las sales y luego arrastrándolas hacia el exterior. Su procedencia puede ser muy variada, aunque las fuentes más habituales son:

- **AGUA DE CONSTRUCCIÓN**, o agua de obra, que va saliendo al exterior a medida que se seca el edificio y que da lugar a las primeras eflorescencias.
- **AGUA DE LLUVIA**, que se infiltra desde el exterior por absorción (debido a la porosidad del material) o a través de fisuras y grietas y que luego, en época de temperatura más alta, evapora y vuelve hacia el exterior.
- **VAPOR DE AGUA**, que procede del interior del edificio y que, cuando se condensa, disuelve las sales del material de cerramiento y las arrastra hacia el exterior.
- **AGUA PROCEDENTE DE ROTURAS DE TUBERÍAS O DE OTRAS FUGAS**. Su efecto es similar al que se ha descrito en los tres casos anteriores.

Además, en el desarrollo de las eflorescencias también intervienen otros agentes externos ajenos a los materiales, como los ciclos térmicos anuales meteorológicos (que pueden variar el contenido de humedad de los materiales), la variaciones de la humedad relativa del aire e incluso la variación de los vientos.



Aparición de eflorescencias en ladrillos. es en las partes más expuestas de las obras de fábrica donde primero efloran las sales solubles.

TIPOLOGÍA DE LAS EFLORESCENCIAS

Como ya se ha dicho, el caso más habitual de eflorescencias es el producido sobre la superficie de un material por las sales solubles contenidas en el mismo.

Sin embargo, también deben considerarse dos variantes bastante frecuentes de este fenómeno: la primera consiste en la cristalización de sal que no proviene del material sobre el que cristaliza, sino de otros que le son adyacentes o que se hallan detrás (por ejemplo, las eflorescencias que aparecen sobre el revoco por sales procedentes del ladrillo al que protegen o las que se desarrollan sobre los bordes del ladrillo y que proceden del mortero de la fábrica) y de agentes externos ajenos al material (es el caso de los agentes atmosféricos, del terreno o incluso de los productos utilizados para limpiar el material).

En cambio, la segunda hace referencia a las llamadas criptoeflorescencias, que son cristalizaciones que se desarrollan en el interior del material, concretamente en oquedades cercanas a la superficie y con capacidad de evaporación (de ahí su nombre, ya que la palabra griega *cripto* significa cueva).

Estas oquedades pueden ser propias del material (poros) o debidas a defectos de ejecución (capas sueltas de enfoscados y revocos). Es el caso más peligroso de eflorescencia, ya que con el tiempo provoca el desprendimiento de la lámina de material que queda por encima provocando una erosión.

En general, este fenómeno se desarrolla cuando sales de gran capacidad migratoria se hallan presentes en materiales de poca cohesión o consistencia. En los ladrillos de pobre cochura, por ejemplo, la presión que ejerce la cristalización interna de estas sales (por el aumento de volumen de éstas al cristalizar) provoca la pérdida de la lámina superficial por desprendimiento de placas con rotura de vidrio y, con posterioridad, la corrosión de la masa interior por disgregación.

Evidentemente esta es una clasificación muy general de las eflorescencias y, por ello, se suelen realizar otras en función del tipo de sal que cristaliza, de su facilidad de limpieza y del tipo de agua que arrastra las sales.

En el primer caso, las sales que con más frecuencia dan lugar a la aparición de eflorescencias son las de los metales alcalinos, sobre todo el sodio y el potasio (ambos solubles al agua), y las de los metales alcalino–férreos, como el magnesio y el calcio. Estas últimas, a diferencia de las anteriores, son poco solubles en agua (con la excepción del sulfato de magnesio).

En cuanto a la facilidad de limpieza de las sales, podemos distinguir las siguientes eflorescencias:

- **TEMPORALES**: las que están compuestas de sales fáciles de disolver nuevamente y, por tanto de limpiar. Tal es su facilidad de limpieza que, en muchos casos, la acción del agua de lluvia es suficiente para eliminarlas. Así mismo, se incluyen en este grupo las eflorescencias muy superficiales y con poco adhesión, hecho que hace que sean fáciles de limpiar.

- **PERMANENTES**: las que presentan una enorme dificultad para su limpieza debido a su gran adherencia, originada bien por el tipo de sales o bien porque están incrustadas en los poros del material. Para su eliminación, hay que llevar a cabo operaciones de limpieza muy particulares en las que se utilizan medios químicos o mecánicos. Evidentemente, el contenido de sales solubles del material del cerramiento (es decir, su eflorescibilidad) proporciona un indicio importante sobre la duración de la eflorescencia y, así, las temporales, o sea las que se limpian con facilidad, aparecerán periódicamente coincidiendo con los ciclos climáticos secos y húmedos, mientras que si es una permanente, lo que se producirá es una acumulación cada vez mayor.

La importancia y la duración de las eflorescencias en un edificio depende también de la aparición del agua como vehículo de arrastre.

Por ello, las eflorescencias se clasifican en función del tipo de agua que arrastre las sales:

- **POR HUMEDAD DE OBRA**. En la vida del edificio, son las primeras que se desarrollan y deben considerarse casi como inevitables, ya que prácticamente todos los materiales tienen siempre un mínimo de eflorescibilidad.

  En cualquier caso, una obra bien hecha implica la eliminación de esas eflorescencias antes de que el edificio esté terminado, de modo que si se controla bien la eflorescibilidad de los materiales, no tienen porque volver a aparecer.

- **POR HUMEDAD DE INFILTRACIÓN**. Es consecuencia del agua de lluvia que, como se ha explicado con anterioridad, realiza un recorrido de ida y vuelta. Se suelen desarrollar en los materiales más eflorescibles y son temporales.

- **POR HUMEDADES DE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL**. Aparecen, principalmente, en los materiales de excesiva eflorescibilidad que se encuentran en los ‘puentes térmicos’ de los cerramientos exteriores.

- **POR HUMEDADES ACCIDENTALES**. Es decir, por el agua que aparece a causa de roturas o fugas. Por supuesto, también dependen de la eflorescibilidad del material, pero en general resulta sencillo encontrar la causa de la lesión.

SALES EFLORESCIBLES

La composición de las sales solubles que originan los problemas de eflorescencias se conoce desde hace años y, por ejemplo, ya en 1877 se sabía que algunos ladrillos contenían un 42 % de sulfato sódico, SO_4Na_2.

Desde entonces, se han llevado a cabo numerosos análisis de eflorescencias que han revelado que las sales eflorescibles que con mayor frecuencia se encuentran en los materiales constructivos son los sulfatos (especialmente, los de calcio, magnesio, sodio y potasio) y el carbonato de calcio.

Evidentemente, existen muchas otras sales que, de forma más ocasional, dan lugar a las eflorescencias, como por ejemplo los nitratos (especialmente en los casos en los que intervienen aguas subterráneas), cloruros (cuando interviene el agua de mar o atmósferas muy polucionadas) y otros carbonatos.

A continuación analizaremos los principales sulfatos que intervienen en la formación de eflorescencias en los materiales constructivos, así como el carbonato de calcio.

SULFATO CÁLCICO

A pesar de que la composición de la arcilla tiene una alta proporción de compuestos cálcicos, y por tanto cabría esperar que su presencia en las eflorescencias de fábricas de ladrillo fuese muy frecuente, el sulfato cálcico interviene poco en la aparición de esta lesión debido a que es poco soluble.

Aún así, si en la composición del material hay otras sales, sobre todo los sulfatos potásico y sódico, y si el material no está húmedo durante un largo período de tiempo, su solubilidad aumenta y, en consecuencia, su participación en la aparición de eflorescencias.

En concreto, el sulfato de calcio puede combinarse con el de magnesio formando una sal doble bastante soluble y que, según han demostrado los análisis, se halla en cantidades apreciables en las eflorescencias.

Además, el sulfato cálcico puede llegar a formar capas cristalinas en lugares protegidos por la lluvia que si no se eliminan consiguen deteriorar e incluso agrietar la superficie del material sobre el que se han formado.

Los materiales en los que se puede encontrar con más frecuencia esta sal son las piedras de origen sedimentario, como resultado de su descomposición, la cerámica y los conglomerantes como el cemento Pórtland. Sin embargo, por las razones que se acaban de exponer, si no existen complicaciones, el sulfato cálcico no debería causar problemas.

SULFATO MAGNÉSICO

Esta sal es, probablemente, la más destructora y la responsable de la mayoría de daños causados por las eflorescencias y las criptoeflorescencias, a pesar de que es difícil que se hallen cantidades considerables en la composición de cualquier material.

En el ladrillo, por ejemplo, su presencia raramente es superior al 0,5 % y, sin embargo, se manifiesta como un grave desmoronamiento superficial que avanza progresivamente hacia el interior del material. En cambio, en las piedras, esta sal aparece como resultado de la descomposición del carbonato magnésico y los daños que provoca pueden adoptar formas distintas que llegan a ser especialmente peligrosas en los edificios construidos con este material.

El sulfato magnésico interviene con gran frecuencia en la formación de eflorescencias debido a que es muy soluble en agua a la temperatura que suelen tener los muros húmedos, hecho que, junto a su alta expansión al cristalizar, es lo que más caracteriza a esta sal.

Evidentemente, su alta solubilidad hace que el agua de lluvia pueda arrastrarlo y eliminarlo con relativa facilidad; esta acción contribuye a reducir las posibilidades de que la lesión aparezca en la parte exterior de los materiales de fachada, pero no impide que las partes interiores del edificio sean muy vulnerables a esta sal.

En concreto, el sulfato de magnesio suele estar siempre presente en las zonas más altas de los bordes floridos de las humedades ascendentes o provenientes del subsuelo.

Por último, es indicativo señalar que cuando esta sal aparece sobre una superficie enyesada (algo que ocurre sobre todo cuando el yeso esta insuficientemente calcinado), puede resultar imposible aplicar cualquier recubrimiento sobre el ella debido a que bajo determinadas condiciones, cuando el yeso está compuesto de cal, el cristal crece en la parte interior y puede provocar una presión suficiente para que se desconche.

SULFATO POTÁSICO

Cuando cristaliza, el sulfato potásico tiende a adoptar la forma de una capa cristalina que puede provocar una destrucción bastante importante.

Es bastante frecuente que esta sal se encuentre acompañada de los sulfatos de sodio y de calcio, como sucede, por ejemplo, en la arcilla.

Además, se encuentra también en hormigones y morteros amasados con agua de mar o aguas excesivamente saladas con alto contenido de potasio. Su eliminación no es fácil, ya que la recristalización de esta sal puede dar lugar a la formación de una capa cristalina dura.

En ambientes exteriores con humedad continuada el sulfato potásico puede resultar erosivo debido a las distintas fases de hidratación por las que pasa, que tienen como consecuencia un incremento considerable de volumen (hasta un 35 %).

Si este aumento se produce en el interior de los poros superficiales o en oquedades próximas a la superficie, es probable que se erosione la superficie del material.

RESUMEN DE LAS CAUSAS Y CONDICIONES MÁS RELEVANTES QUE PARTICIPAN EN EL DESARROLLO DE LAS EFLORESCENCIAS.

- La cristalización de las sales se puede producir por enfriamiento del líquido en el que vayan disueltas o por evaporación del mismo, siempre que la solución esté sobresaturada.

- Los principales fenómenos físicos que condicionan la formación de eflorescencias son: capilaridad, permeabilidad, velocidad de evaporación, tiempo de contacto de la solución, porosidad abierta, distribución de las sales solubles, viscosidad de la solución, cristalización y heterogeneidad de la textura.

- Con respecto a las criptoeflorescencias, el secado se produce por difusión de vapor a través de los poros y su formación es debida a la combinación de un flujo lento por la red capilar y una fuerte evaporación.

- Las condiciones ambientales que favorecen la aparición de eflorescencias en una fábrica son que ésta esté a temperatura relativamente baja (las sales son menos solubles en frío que en calor) y se vea sometida al viento y al sol para que se produzca una rápida evaporación. Es por ello que la primavera es la época del año en la que suele aparecer esta lesión.

- Cada material tiene un valor de absorción de agua por debajo del cual no se forman eflorescencias. En el caso del ladrillo ese valor es del 6 %.

- No todas las sales tienen la misma capacidad eflorescible. Por ejemplo, se sabe que el sulfato de sodio eflorece con más facilidad que el potásico.

SULFATO SÓDICO

El sulfato sódico, que es el segundo en orden de aparición en las eflorescencias, produce un depósito relativamente fácil de limpiar y bastante habitual en los ladrillos de las fábricas vistas, ya que se origina en la arcilla cocida. Esta sal puede provocar roturas, ya que las presiones ejercidas durante su cristalización sobre la microestructura del ladrillo pueden alcanzar valores de 25N/mm^2.

Normalmente, la destrucción de una eflorescencia es más severa cuando las sales pueden existir en más de un estado de hidratación. Es el caso de este sulfato –y, como ya hemos visto, también del potásico–, que a menos de 32 ºC cristaliza con diez moléculas de agua (SO_4Na_2 + $10H_2O$). Este compuesto puede producir graves daños microestructurales en los materiales, por ejemplo en el ladrillo, debido a los fenómenos de expansión de volumen que se desarrollan cuando cristaliza y recristaliza.

En concreto, el compuesto vuelve a la forma anhídrida (SO_4Na_2) por la acción del aire y el sol, que hace evaporar el agua, pero si entonces llueve, se convierte de nuevo en la forma hidratada, que ocupa un volumen cuatro veces mayor y, por tanto, provoca fuertes presiones. La magnitud de los daños dependerán entonces de la localización del sulfato. En caso de que se halle depositado en los poros internos, los cambios de volumen pueden destruir los propios poros y pulverizar o erosionar la superficie del material.

1. Debe evitarse, dentro de lo posible, el contacto entre la mampostería, las sales y el agua. A tal fin, recurrir a barreras impermeables y evitar fisuras y filtraciones.
2. Utilizar morteros y materiales hidrófugos de reconocida calidad.
3. Si se colocan pisos sobre el terreno, intercalar entre el suelo y el contrapiso una película de polietileno para evitar el paso del vapor de agua y la condensación de la humedad.
4. En muros, tener especial cuidado al efectuar la capa aislante y azotado.

PREVENCIÓN DE LA APARICIÓN DE EFLORESCENCIAS EN LAS FÁBRICAS DE OBRA

SULFATO DE HIERRO

Muchas manchas de óxido, especialmente las que aparecen en las juntas de mortero de una obra de ladrillo, se deben normalmente a las sales de hierro que se han transformado en óxido férrico por la interacción del oxígeno y la cal. En los materiales cerámicos no suele haber sulfato de hierro –como tampoco magnésico– y en los casos en que sí que está presente, lo está en cantidades pequeñas.

Sin embargo, las condiciones necesarias para la formación de esta sal son las mismas que se requieren para cocer piezas de cerámica que tengan colores atractivos (atmósfera reducida y alta temperatura de coción). Si en estos casos entra en contacto con el yeso, pueden aparecer manchas.

SULFATO DE VANADIO

Las eflorescencias debidas a este sulfato se manifiestan en forma de manchas de color verde o pardo amarillento y su limpieza resulta más complicada que las producidas por la mayoría de sulfatos, ya que no se pueden eliminar con un simple cepillado.

Es importante recordar que no todas las eflorescencias que aparecen como manchas de colores son debidas a la intervención del sulfato de vanadio, ya que la tonalidad puede deberse también a la presencia de hierro, molibdeno, cobre, cromo, níquel o manganeso.

Por lo general, las eflorescencias de sulfato de vanadio tienen su origen en las materias primas o en los combustibles.

CARBONATO CÁLCICO

Sólo es soluble en aguas con alto contenido de monóxido de carbono o de anhídrido carbónico y suele ocasionar eflorescencias en la piedra caliza, roca de la que es componente fundamental. En concreto, en este material, el carbonato cálcico puede generar sulfato cálcito (por sulfatación) y bicarbonato cálcico (por solubilización), dos compuestos que pueden salir a la superficie en forma de eflorescencia. La lesión provocada por el carbonato cálcico tiene un color blanco muy claro y, evidentemente, aparecerá en cerramientos que incluyan a las piedras calizas en su composición, como los hormigones y morteros con áridos y mamposterías y chapados de esas piedras.

CLORUROS SÓDICOS, POTÁSICOS, CÁLCICOS Y MAGNÉSICOS

Por lo que respecta a los cloruros, hay que decir que son sales bastante solubles pero que sólo suelen encontrarse con frecuencia en edificios de lugares cercanos al mar. En estas atmósferas no es rara su presencia en las fábricas de ladrillo, ya que, por ejemplo, el cloruro cálcico tiene su origen en el mortero. De hecho, esta sal aparece siempre, acompañada del sulfato y del nitrato cálcicos cuando en la elaboración del mortero se ha empleado agua de mar o arena de playa.

En general, los cloruros también pueden provocar graves daños en la estructura interna de los hormigones. En concreto, el cloro procedente de las combustiones que se realizan para la fabricación de este material, se convierte, por efecto del agua y de la humedad, en ácido clorhídrico, que a su vez se combina con la cal de los cementos transformándose en cloruro cálcico. Este cloruro, que cristaliza con bastante facilidad y por tanto favorece la aparición de eflorescencias, también provoca la disminución del pH del hormigón y produce fuertes presiones internas que pueden dar lugar a disgregaciones en la superficie del material.

Por su parte, el cloruro sódico es expulsado a bajas temperaturas y por ello es una sal que no está presente en la cerámica. Ésta es la razón de algunos expertos hayan sugerido que el uso de cloruro sódico puede resolver algunos problemas de eflorescencias cuando en el proceso de cocción no se puede aumentar convenientemente la temperatura.

NITRATOS DE SODIO, POTASIO Y CALCIO

Los nitratos son bastante solubles e incluso delicuescentes, pero en la actualidad su presencia en los materiales constructivos es poco frecuente. En el caso del potásico, sólo puede producirse en presencia de agua fecal, es decir el agua sucia procedente de vertederos, establos o pozos negros. Puesto que hoy en día en la construcción de edificios ya no se utilizan materiales de derribo, es difícil que se produzca su aparición. Sin embargo, algunas veces, en edificios muy antiguos, se han encontrado manchas de humedad y eflorescencias en muros de sillería cargados de nitratos delicuescentes. Habitualmente, a muchas sales eflorescentes, y fundamentalmente a todos los nitratos, se les suele llamar 'salitre', pero es un error, ya que el salitre es exclusivamente la sal anhidra del nitrato de potasio.

Con respecto a los nitratos de sodio y calcio, puede hacerse extensible lo dicho sobre el potásico.

SALES	SOLUBILIDAD	FRECUENCIA EN LOS MUROS
Sulfato magnésico	Muy soluble	Muy frecuente
Sulfato sódico	Muy soluble	Frecuente
Sulfato cálcico	Poco soluble	Frecuente
Cloruro cálcico	Delicuescente	Frecuente en atmósferas marinas
Carbonato cálcico	Soluble (sólo en aguas con CO y CO_2)	Poco frecuente (aunque se suele denominar la eflorescencia moderna)
Nitrato sódico	Delicuescente	Poco frecuente
Nitrato cálcico	Delicuescente	Poco frecuente
Nitrato potásico	Delicuescente (soluble en aguas negras)	Frecuente

DISTINTOS TIPOS DE SALES EFLORESCENTES

CARBONATOS DE SODIO Y POTASIO

Los carbonatos son sales muy poco solubles, pero siempre hay que tener en cuenta que cualquiera de ellos puede transformarse en sulfatos –que, como ya se ha dicho, son las sales que más eflorescencias producen–, especialmente en atmósferas que contengan SO_2 o SO_3.

Los fenómenos de carbonatación, es decir la formación de carbonatos por reacción de óxidos o hidróxidos de metales con dióxido de carbono –que está presente en la atmósfera–, se producirán de manera más rápida y profunda en los elementos constructivos menos expuestos al agua de lluvia.

La humedad óptima para que se desarrolle la carbonatación es entre el 50 % y el 70 % y el fenómeno es más común en zonas industriales, donde la acidez de la atmósfera es más alta.

A continuación ofrecemos una tabla con la solubilidad de las sales que se pueden encontrar con más frecuencia en los muros:

MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS EFLORESCIBLES

Ya hemos insistido en que la mayoría de materiales que se utilizan en construcción pueden verse afectados por lesiones de origen químico y, por tanto, por la aparición de eflorescencias. No obstante, es importante recordar que, puesto que esta patología está íntimamente relacionada con el agua y la humedad –de hecho, la gran mayoría de acciones químicas no se producen en condiciones de sequedad–, cuanto más poroso sea un material, por tanto, cuanto mayor sea su capacidad de absorción de agua, más posibilidades hay de que se vea afectado por las eflorescencias.

A continuación se expone por separado las causas que pueden dar lugar a la aparición de esta lesión en los distintos materiales.

LADRILLOS Y BLOQUES CERÁMICOS

Dos factores hacen que este material sea el origen de la mayoría de eflorescencias que sufren los edificios actuales: por un lado, su proceso de producción lo convierte en el material más eflorescible de los que se utilizan en la construcción y, por otro, es uno de los más utilizados para la edificación de fábricas.

Tres factores determinan la presencia de sales en los ladrillos:

- **LA COMPOSICIÓN DE LA ARCILLA CON LA QUE SE FABRICA**
- **EL MODO EN QUE SE REALICE EL PROCESO DE COCCIÓN**
- **EL AGUA QUE PUEDA LLEGAR HASTA ELLOS.**

En el primer caso, es lógico que la posibilidad de que en un ladrillo aparezcan eflorescencias será mayor cuanto más alto sea el contenido de sulfatos solubles y carbonato cálcico –pero también otros determinados componentes– de la arcilla que se utilice en su fabricación.

Sin embargo, en muchas ocasiones, el contenido de sales en una pieza cerámica se debe principalmente a los combustibles empleados en los hornos, ya que, por reacción con los gases, los componentes de la arcilla pueden formar sales solubles durante los procesos de secado y cocción.

En concreto, se puede originar sulfato cálcico por la oxidación de las piritas o por la reacción de los gases sulfurosos (liberados por los combustibles) con los compuestos alcalinos de la materia prima de la arcilla.

Por último, la formación de eflorescencias también depende del agua que llega hasta el ladrillo que puede proceder del agua o humedad de cantera, del agua de obra (humedecido de los ladrillos), del agua de lluvia, del agua en forma de vapor que por difusión circula por los elementos constructivos y del agua que por capilaridad asciende del subsuelo.

Cada una de esta agua puede transportar, además de elementos contaminantes, distintos tipos de sales, por lo que, en función de éstas, el agua puede convertirse en generadora de la eflorescencia.

En definitiva, lo importante es que el agua que llega al ladrillo contenga la menor cantidad posible de sales y compuestos químicos que favorezcan la aparición de eflorescencias, ya que así, al evaporarse el agua o humedad que circula por la red capilar del ladrillo habrá menos probabilidades de que se formen depósitos salinos sobre la superficie del mismo.

En general, las eflorescencias que se forman en los ladrillos se suelen clasificar en cuatro tipos:

- **DE SECADO**. Son manchas blancas que aparecen cuando se seca al aire una masa húmeda de arcilla cruda que contiene sales solubles.

- **DE SECADERO**. Son las que se forman en la arcilla cuando, tras haber sido amasada y moldeada, se somete a la fase de secado previa a la cocción. En este caso, el fenómeno no depende sólo de la composición de la masa arcillosa, sino también de la atmósfera del secadero. Se ha comprobado que cuando la velocidad y la temperatura de secado son altas, es más difícil que aparezcan eflorescencias.

- **DE HORNO**. Son las que aparecen cuando se cuece el ladrillo y su causa hay que buscarla en las reacciones químicas entre las sales propias de la arcilla original y los gases contenidos en la atmósfera del horno. Estas eflorescencias, de composición muy compleja, suelen ser de color blanco, rosa o amarillento. Existen autores que sugieren que, en esta fase, resulta determinante el contenido de pirita en la arcilla, ya que cuando se descompone en la cocción genera anhídrido sulfuroso que luego pasa a sulfúrico aumentando notablemente el contenido de sales solubles en el ladrillo.

- **DE OBRA**. Es la que aparece en las paredes de los edificios después de que éstos hayan sido construidos.

  Su formación se debe a que el agua transporta sales solubles desde el interior del ladrillo hasta la superficie del mismo.

  Cuando el edificio está recién construido, la aparición de estas eflorescencias es casi inevitable, ya que todos los ladrillos tienen una mínima cantidad de sales solubles.

  Sin embargo, si el material es ‘de calidad’, la lesión no vuelve a aparecer y con una simple limpieza se resuelve el problema.

  Si no es así, es decir si el ladrillo contiene demasiadas sales eflorescibles, las simples humedades de filtración en épocas de lluvia provocarán la reaparición de eflorescencias, ya que, después de la humedad se haya filtrado, al dejar de llover, saldrá a la superficie arrastrando sales solubles, que recristalizarán.

  Esté fenómeno se repetirá hasta que se agoten las sales en el interior del ladrillo. Es importante indicar que si estas eflorescencias salen en la parte central de la superficie del ladrillo, significa que su causa está en el material y en la humedad de obra u otras posteriores.

  En cambio, si se forman en el perímetro del ladrillo, puede significar que las sales provienen del mortero de agarre o por un error concreto de ejecución: no se ha humedecido el ladrillo antes de su colocación en la obra y las sales han sido arrastradas por el agua del mortero.

LADRILLOS Y BLOQUES DE MORTERO

Básicamente, dan lugar a dos tipos de eflorescencias, las provocadas por los áridos y las producidas por el propio cemento. Las primeras aparecen si los áridos son calizos, pero no son muy frecuentes.

En la mayoría de casos de aparición de eflorescencias en las fábricas de ladrillo la causa hay que buscarla en los morteros debido a la facilidad con la que dejan pasar el agua atmosférica, incluso por simple capilaridad, y su gran contenido en sulfatos y carbonatos alcalinos, como por ejemplo, carbonato cálcico, que se forma por la reacción del óxido de calcio liberado al fraguar el cemento y el CO_2 cuando el primero es arrastrado por el agua y llega al exterior, o el carbonato magnésico, que puede transformarse fácilmente en sulfato por la acción de los óxidos del azufre disueltos en el agua de lluvia.

En los ladrillos de mortero, las eflorescencias suelen aparecer en el centro del mismo o en su perímetro. En el primer caso, habrá que pensar que la lesión proviene del propio ladrillo, mientras que en el segundo, puede proceder del mortero de agarre o del bloque (algo que sucede si éste no se ha humedecido previamente).

Por supuesto, como sucedía para los ladrillos cerámicos, la humedad puede aportar otras sales solubles y favorecer así la aparición de eflorescencias.

MAMPUESTOS Y ACABADOS PÉTREOS

Todos los materiales pétreos utilizados en la construcción poseen en su composición una amplia variedad de compuestos solubles y, entre ellos, los más eflorescibles son los sedimentarios (areniscas, calizas) que, además, son los más empleados para hacer las fachadas y muy frecuentes en todo tipo de acabados (pavimentos, chapados y remates de caliza, mármoles).

La sal eflorescible que se encuentra con más frecuencia en estos materiales es el sulfato cálcico que, por ejemplo, en la piedra caliza se origina por sulfatación del carbonato cálcico, componente fundamental de esta roca.

Sin embargo, su cantidad no suele ser muy elevada, por lo que será necesaria la presencia de abundante agua para que se desarrollen las eflorescencias (por supuesto, siempre será un factor importante la porosidad y el coeficiente de absorción del material).

Es importante recordar que, casi siempre, cuando se realizan elementos constructivos con este tipo de materiales, se emplean también morteros de cemento y que es muy habitual que sean enfoscados y revocados, por lo cual las sales eflorescibles también pueden provenir de los primeros o de los segundos.

Las sales eflorescibles pueden cristalizar en distintos lugares de las piezas que conforman las mamposterías y los acabados pétreos y ello puede ser un importante indicativo de la causa de la lesión; por ejemplo, si la eflorescencia se produce en los puntos coincidentes con el mortero, es muy posible que la humedad la aporte el mortero o que, a través de él, pase alguna tubería, mientras que si la sal cristaliza en el perímetro de cada pieza, significa que la humedad entra desde el exterior por filtración de agua de lluvia.

HORMIGONES IN SITU Y PREFABRICADOS

Como sucedía con los ladrillos, en los hormigones existen dos posibles fuentes de sales eflorescibles: los áridos –si son sedimentarios– y el cemento, que al fraguar produce el óxido cálcico que luego, cuando entra en contacto con el CO_2 de la atmósfera, se transforma en carbonato cálcico. En general, las eflorescencias se manifiestan en forma de manchas blancas sobre la superficie de los paneles, pero la causa de su aparición depende en buena medida de las características del elemento constructivo afectado y de los posibles aditivos utilizados en los hormigones prefabricados.

En primer lugar hay que decir que el hormigón se utiliza siempre para las cimentaciones y en toda clase de estructuras, unidades constructivas que, junto con los muros de contención, son en las que con más frecuencia se manifiesta esta lesión. El origen de la misma hay que buscarlo en el agua que absorbe el hormigón por capilaridad (para el caso de las cimentaciones) y en la humedad que se filtra desde el ambiente exterior (para los muros de contención y otros elementos exteriores, como las jardineras).

Además, también es bastante habitual que las eflorescencias se produzcan en pilares, vigas o petos por humedades de condensación, ya que no es raro que constituyan puente térmico en la fachada. Por lo que se refiere a las cimentaciones, las sales solubles que puedan llegar a disolverse suelen cristalizar en los arranques de los muros o en los pavimentos.

En cualquier caso, los expertos tienden a señalar algunos «puntos débiles», de la superficie del hormigón donde es más facil que aparezca la lesión.

Son los poros y coqueras, las juntas de hormigonado y las fisuras de retracción y la razón es que, como es fácil de imaginar, son los lugares por donde el agua puede circular en mayor cantidad.

En relación a los elementos prefabricados que se encuentran en las fachadas el problema es menos frecuente debido a que en su proceso de fabricación se cuida especialmente su porosidad exterior y su coeficiente de absorción (que normalmente es inferior al 0,6 %) para que sean mínimas las filtraciones de agua de lluvia, que es el agente que con mayor facilidad puede provocar la aparición de eflorescencias en este tipo de elementos.

Sin embargo, los prefabricados de hormigón tienen otro problema relacionado con esta lesión: los aditivos que se utilizan para la fabricación de las piezas, ya que pueden ser una fuente distinta de sales solubles.

Es evidente, que si los elementos prefabricados de hormigón se utilizan como contenedores de materiales o elementos húmedos, es más fácil que la humedad se filtre al hormigón y, por tanto, que aparezcan eflorescencias.

En cambio, cuando en lugar de materiales pétreos se utilizan pequeñas piezas de hormigón (la llamada piedra artificial), hay que tener en cuenta que normalmente su unión se realiza con mortero de cemento, material que, como ya se ha explicado al analizar otros materiales, puede ser fuente de nuevas sales solubles que eflorezcan en las piezas de hormigón.

MORTEROS DE AGARRE Y DE REVESTIMIENTO

Sin duda, es el material que más se utiliza en la construcción de edificios y la prueba es que al hablar de otros materiales en los apartados anteriores ya ha sido necesario hacer referencia a los morteros.

Los aditivos utilizados en la fabricación de este material suelen ser un factor importante en la aparición de las eflorescencias. Así, en los morteros que contienen cal, esta aparición puede verse acelerada si la puesta en obra del material se ha realizado con temperaturas inferiores a los 5 ºC y con una humedad ambiental superior al 70 %, ya que en estas condiciones el tiempo de secado es más largo y, por tanto, es más fácil que la cal que se libera durante el fraguado del cemento se disuelva en el agua de amasado y ascienda por capilaridad hasta la superficie del revestimiento, donde se produce la carbonatación.

Además, el coeficiente de absorción de la cal es relativamente alto, por lo que al mismo tiempo que dejan respirar mejor al cerramiento, también permiten una mayor filtración del agua de lluvia, hecho que facilita la posible aparición de eflorescencias. Por otro lado, los cementos que se utilizan en los morteros contienen grandes cantidades de silicatos y aluminatos de calcio que pueden originar fácilmente sales solubles, sobre todo sulfatos de tipo cálcico, muy susceptibles de formar eflorescencias. En concreto, Torraca (1988) hace referencia a la cantidad de sales parcial o totalmente solubles que se pueden formar durante la reacción del fraguado del cemento Pórtland: hidróxido cálcico, hidróxido sódico, silicato sódico, sulfato sódico y sulfato cálcico.

En las fábricas de ladrillo, no es infrecuente que las eflorescencias que aparecen en el mortero de revestimiento se deban a sales procedentes de los ladrillos. En efecto, puede suceder que el agua de lluvia que penetra en la fábrica, o la que asciende por capilaridad desde los cimientos, disuelve las sales solubles que pueda haber en el interior de los ladrillos y luego se dirige hacia la superficie del mortero, donde si el agua entra en contacto con una atmósfera seca se evaporará dejando concentraciones de sales eflorescibles.

No obstante, hoy en día se fabrican modernos morteros acrílicos con gran impermeabilidad que dificultan la entrada de humedad por filtración de agua de lluvia (ésta se limitará prácticamente a las zonas fisuradas).

ORIGEN DE LAS SALES

La procedencia de las sales solubles presentes en los materiales constructivos puede clasificarse en tres grupos: las sales contenidas originariamente en un material, que pueden ser propias de su composición o haberse incorporado a él durante el proceso de fabricación), sales derivadas de la descomposición de un material, es decir las que resultan de las reacciones entre algunos componentes del material y los gases o compuestos de la atmósfera, y, por último, las sales procedentes de fuentes externas. Seguidamente, se analizarán los tres grupos.

DEL PROPIO MATERIAL

Son las sales contenidas en el material antes de que sea colocado en obra. Aunque algunos, como las piedras sedimentarias, las contienen por su propia naturaleza, en general las sales se incorporan al material durante su proceso de fabricación.

Las sales presentes originariamente en algunos de los principales materiales constructivos son:

- ***LADRILLOS**:* en primer lugar, pueden contener sales por la misma arcilla, que a veces tiene sulfato de calcio. Sin embargo, en este caso, aunque la cantidad de sulfato sea importante, no es complicado separarlo del resto del material. También las piritas (sulfuro de hierro) contenida en algunas arcillas puede proporcionar sales, ya que durante la cocción, las piritas, al combinarse con el oxígeno, se transforman en óxidos que después reaccionan con bases de la cerámica y se convierten en sulfatos. Este mismo proceso puede también desarrollarse con otros sulfuros que pueda contener la arcilla. La temperatura de cocción también es importante para la presencia de sales en los ladrillos (o mejor dicho, para la no presencia), puesto que algunas de ellas se descomponen a altas temperaturas, como por ejemplo, el sulfato magnésico que se descompone aproximadamente a los 1.500 ºC. Por tanto, es muy probable que las piezas cerámicas que por alguna razón (por ejemplo por haber sido colocadas en las partes más frías del horno) no alcance dicha temperatura durante la cocción, tengan un alto contenido de sulfato magnésico.

- ***BLOQUES DE HORMIGÓN**:* en general, no presentan sales solubles y, por tanto, si aparecen eflorescencias, su origen habrá que buscarlo en otras fuentes.

- ***PIEDRAS NATURALES**:* las piedras sedimentarias son las que pueden contener sales en su composición originaria. Sin embargo, lo más normal es que el agua de lluvia haya erosionado las sales y que la pequeña cantidad que haya quedado (suelen ser cloruros y sulfatos) no constituyan excesivos problemas en relación a las eflorescencias.

  No es aventurado afirmar que, en la gran mayoría de casos, las sales solubles llegan a las piedras después de que hayan sido colocadas en obra (por descomposición de materias calcáreas o por fuentes externas).

- ***CONGLOMERADOS Y CONGLOMERANTES**:* el contenido de sales de los conglomerados es variable y, por ejemplo, mientras que la arena de río acostumbra a estar libre de sales, la de mar tiene una cantidad relativamente notable. De hecho, los áridos extraídos de las playas poseen importantes cantidades de sales solubles que, unidas a su alto coeficiente de absorción (absorben la humedad de la atmósfera en ambientes húmedos), los convierten en frecuente causa de aparición de eflorescencias. Puesto que algunos conglomerados (arena, grava) se utilizan para fabricar conglomerantes como el mortero o el hormigón, las sales que puedan contener éstos, pueden prevenir de los primeros.

- ***CAL**:* si ha sido obtenida de piedras calcáreas muy puras, lo normal es que prácticamente no contenga sales solubles, pero si las piedras con las que se ha obtenido contienen arcillas, entonces poseerá álcalis solubles de sodio y potasio. En consecuencia, favorecerán la aparición de eflorescencias de carbonatos o sulfatos.

- ***CEMENTO PÓRTLAND**:* Además de álcalis solubles de sodio y potasio, este material también contiene sulfato cálcico (es un aditivo que se añade durante la fabricación para controlar la velocidad de agarre). Cuando se mezclan con agua, el sodio, el potasio y el sulfato se disuelven y, después de unas horas, este último se transforma en una forma insoluble, mientras que los álcalis reaccionan con el dióxido de carbono de la atmósfera y se convierten en carbonatos.

DE LA DESCOMPOSICIÓN DEL MATERIAL

Son las que llegan a los materiales cuando quedan expuestos a una atmósfera polucionada después de haber sido colocados en obra. Esto sucede porque, debido al progreso y al desarrollo tecnológico e industrial, se vierten continuamente a la atmósfera residuos químicos –en forma gaseosa, de partículas sólidas en suspensión (polvo, cenizas, hollín) y de aerosoloes (condensaciones de productos sin quemar, como el gasoil)– que no pueden ser depurados completamente y que, por tanto, pueden llegar agredir a las fachadas, especialmente a través de reacciones químicas.

Las principales fuentes de la llamada polución atmosférica son:

- **LAS EMISIONES RESULTANTES DE LOS GRANDES PROCESOS INDUSTRIALES DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS SEMIMANUFACTURADOS O DE MATERIAS PRIMAS**. Entre ellos están las instalaciones siderúrgicas, las industrias químicas y las fábricas de cemento o papel.

- **LAS EMISIONES PROVOCADAS POR LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASEOSOS UTILIZADOS** en las calefacciones domésticas o industriales.

- **LOS GASES QUE LIBERA LA COMBUSTIÓN DE MOTORES DE EXPLOSIÓN Y DE REACCIÓN.**

Los principales residuos químicos presentes en una atmósfera polucionada son los dióxidos de carbono y de azufre. El primero se halla contenido por naturaleza en la atmósfera, pero su proporción aumenta considerablemente en ambientes polucionados debido a que el producido por actividades industriales y por la combustión de los motores de explosión no es repartido por toda la masa atmosférica, como sí ocurre con el producido naturalmente por el ciclo de la biosfera.

En definitiva, la mayor presencia de dióxido de carbono aumenta la capacidad de disolución del carbonato cálcico (de hecho lo convierte en bicabornato cálcico, que es mucho más soluble), que en agua pura se disuelve muy poco, y por tanto la posibilidad de que aparezcan eflorescencias en los materiales de fachada que contengan esa sal.

Por lo que respecta al dióxido de azufre, es un gas que puede formar ácidos sulfurosos y sulfúricos en función de las partículas atmosféricas con las que se asocie. Cuando entran en contacto con materiales de fachada que contengan carbonato de calcio, a través de distintas combinaciones o reacciones químicas, provocan la formación de sulfato de calcio y, por tanto, un aumento de las sales solubles.

Además, estas reacciones también liberan dióxido de carbono que como hemos explicado más arriba también favorecen el aumento de las sales. En el caso concreto de los morteros de cemento, el carbonato magnésico puede originar con facilidad sulfato de magnesio cuando entra en contacto con el trióxido de azufre (resultante del proceso de catalización que sufre el dióxido de azufre por medio de catalizadores como la luz solar, el vanadio o el manganeso), que llega a las fachadas transportado por el agua de lluvia. Por ello, se puede decir que el sulfato magnésico es uno de los principales causantes de las eflorescencias que aparecen con más frecuencia en zonas industriales.

DE FUENTES EXTERIORES

Existen algunos factores y fuentes ajenos a los materiales que también pueden provocar que aumente el contenido de sales de éstos y, en consecuencia, su facilidad para producir eflorescencias. Las principales fuentes exteriores son las siguientes:

EXISTEN TRES CONDICIONES QUE DEBEN ASOCIARSE PARA QUE APAREZCAN EFLORESCENCIAS EN EL CEMENTO Y EL HORMIGÓN:

- Deben existir sales que sean solubles en agua.
- Debe existir una fuente de humedad para poder disolver este tipo de sales.
- Debe existir un mecanismo que permita que el agua penetre en la construcción y que transporte las sales hasta la superficie

MATERIALES DE UNIÓN:

Como se menciona en otra parte de este mismo capítulo, los conglomerantes o los agregados de los materiales de unión utilizados en un elemento constructivo pueden aportar sales solubles a los materiales constitutivos del mismos. Los morteros, que suelen representar aproximadamente 1/5 o 1/6 de una pared de ladrillos, es un buen ejemplo. En efecto, hay quien opina que las eflorescencias han aumentado en este tipo de unidades constructivas desde que se utiliza cemento para la obtención de morteros y que esas lesiones aumentan cuando se incrementa la proporción de cemento. Así mismo, las sales también pueden llegar desde el mortero al ladrillo cuando el agua que pasa del primer material al segundo transporte sulfatos. Es algo que suele ocurrir cuando el ladrillo está demasiado seco en el momentos de colocarlo en obra.

Por el contrario, un exceso de humedad en los ladrillos antes de su colocación no sólo aumenta la posibilidad de aparición de eflorescencias, sino que favorece la pérdida de adherencia entre los ladrillos y el mortero. Está claro, por tanto, que ésta es una cuestión que debe tratarse con la máxima atención.

MATERIALES DE SOPORTE:

Los aplacados y revestimientos superficiales también son susceptibles de incorporar sales solubles procedentes del material sobre el que se hayan colocado. Por ejemplo, en ocasiones los aplacados de piedra se aplican sobre distintos materiales que, sobre todo si se utilizan piedras sedimentarias porosas, pueden constituir una importante fuente de sales. En cambio, si las piedras son más impermeables (granitos, pizarras, mármoles), entonces son las juntas las que pueden verse afectadas por la migración de sales. Es un fenómeno que, además de las piedras y otros materiales porosos, también pueden sufrir algunas pinturas o materiales adhesivos.

MATERIALES ALEJADOS:

A veces, las sales solubles pueden pasar de un material a otro que se halle relativamente bastante lejos.

La causa hay que buscarla en el agua de lluvia, que es capaz de trasladar las sales propias de un material o las originadas por su descomposición como consecuencia de la acción agentes contaminantes presentes en una atmósfera polucionada.

TERRENO:

El suelo sobre el que se construye un edificio es una de las más relevantes fuentes de sales solubles, fuente que además es prácticamente imposible que llegue a agotarse.

Es bastante normal encontrar terrenos con un alto contenido de sulfatos y nitratos; por ejemplo, los suelos esquistosos arcillosos suelen tener una gran cantidad de sales.

Lo mismo sucede en terrenos urbanos que contienen escorias, escombros o residuos industriales.

La llegada de las sales a los materiales de fachada se produce por el fenómeno de la capilaridad, hecho que debe ser tenido en cuenta a la hora de elegir los materiales como base.

Las eflorescencias que aparecen en la parte exterior del muro –en general de color blanquecino– no suelen presentar más problema que el del aspecto estético (aunque hay que tener presente que si no se soluciona el origen de la lesión, las eflorescencias serán continuas debido a que el aporte de sales procedentes del terreno es constante), pero si las sales se acumulan en el interior del material, aparecerán criptoeflorescencias, cuyo efecto puede llegar a ser muy destructivo.

AGENTES ATMOSFÉRICOS:

Como se ha comentado en el apartado anterior, los agentes contaminantes presentes en la atmósfera, como los dióxidos de carbono y de azufre, representan una importante fuente de sales para los materiales de fachada. Este fenómeno debe de ser controlado en los muros con materiales calcáreos. Otros agentes atmosféricos que pueden afectar de modo parecido a las fachadas son los cloruros derivados de la combustión de los vehículos. Estas últimas sales –sobre todo el cloruro sódico– también están presentas en bastante cantidad en las atmósferas de las zonas marinas o costeras debido a la notable presencia de humedad (que lleva cloruros). Entre los agentes atmosféricos queremos incluir también a la temperatura, aún sabiendo que no lo es exactamente, debido a la gran importancia que tiene en la solubilidad de las sales. En efecto, se puede afirmar que la solubilidad de una sal crece al aumentar la temperatura; por ejemplo, mientras que, en 100 gramos de agua que se halle a una temperatura de 0 ºC, 60 gramos de cloruro cálcico proporcionan una solución saturada, cuando la temperatura sube hasta los 30 ºC, la concentración disminuirá hasta el 60 %. Lo mismo sucede con el sulfato sódico: en 100 gramos de agua a 20 ºC se obtendrá una disolución saturada con 20 gramos de la sal, pero si la temperatura alcanza los 32 ºC, sólo serán necesarios 50 gramos para obtener esa concentración.

PRODUCTOS DE LIMPIEZA:

Si las eflorescencias cristalizadas en una fachada no se disuelven con agua, en muchas ocasiones habrá que utilizar algún producto químico que facilite su limpieza. Estos disolventes pueden convertirse en fuente de sales solubles debido a la posibilidad de que den lugar a reacciones químicas con los compuestos del material que se limpia. Por ello, es muy importante elegir el producto de limpieza en función que mejor se adapte a la composición de las sales de la eflorescencia que se quiere limpiar. Además, la limpieza química implica también el uso de agua (después de haber utilizado el disolvente se efectúa un lavado con agua para eliminar los restos que hayan podido quedar en los poros superficiales del material) y, por tanto, mayor peligro de que los materiales absorban agua y produzcan nuevas eflorescencias. Todo lo que se acaba de decir vale también para los productos que se utilicen para el mantenimiento periódico de una fachada.

OXIDACIÓN Y CORROSIÓN

Globalmente, por oxidación y corrosión se entiende la transformación molecular y la pérdida de material en las superficies de los metales, sobre todo del hierro y el acero.

Dicho de una manera más sencilla, estas dos lesiones se pueden definir como la destrucción química de la superficie de un metal por la interacción con agentes con los que está en contacto.

Aunque son dos lesiones bastante diferenciadas, sobre todo porque sus procesos patológicos son distintos, se suelen agrupar porque normalmente su aparición en un metal es simultánea o, al menos, sucesiva.

En definitiva, son dos procesos patológicos claramente químicos en los que intervienen el medio ambiente que rodea al metal y la propia constitución metalúrgica de este último.

OXIDACIÓN

Es un proceso químico por el cual la superficie de un metal reacciona con el oxígeno del aire que tiene a su alrededor y se transforma en óxido.

Esto se debe a que los metales, normalmente, son inestables químicamente y tienden a convertirse en óxido, que es más estable.

En el fondo, el proceso que sufre el metal no es más que una recuperación de su estado natural. En efecto, los metales no se hallan en la naturaleza en estado puro (excepto los denominados ‘metales puros’, como el oro o el platino), sino que se encuentran en los minerales combinados en distintas formas químicas, entre ellas los óxidos.

Para transformar el mineral en metal es necesario aplicar una energía y, por ello, este último muestra una propensión espontánea a tomar moléculas de oxígeno, es decir, a convertirse de nuevo en óxido.

En la mayoría de los metales, la oxidación forma una película superficial de óxido que tiene una función protectora, ya que impide que el metal se siga oxidando por debajo de su superficie. La oxidación crece más lentamente cuando la atmósfera es seca y su grado de protección de la capa que se forma depende de su adherencia al metal.

En este sentido, la escasa adherencia de la película que se forma sobre el hierro y la mayoría de sus aleaciones se debe a que el óxido férrico es muy poroso y tiene escasa adherencia al metal. Estas dos características favorecen la acumulación de agua y suciedad que, a su vez, facilitan el avance de la oxidación e incluso el paso a la corrosión. De hecho, el hierro es el único metal en el que la película superficial que se forma por oxidación no actúa de protección para el resto del metal.

En cambio, los elementos constructivos de zinc, cobre o aluminio, metales muy empleados en las fachadas de los edificios, al oxidarse forman una película superficial de alta resistencia. El único aspecto negativo de esta lesión es que el elemento afectado adquiere un aspecto y un tacto desagradables. Por ello, cuando se trata de barandillas o carpinterías metálicas de ventanas es casi obligado aplicar algún tratamiento superficial que impida que el elemento se oxide. Por lo que respecta a los elementos constructivos constituidos por metales

férricos (hierro y aceros), puesto que la capa de óxido que se forma no es resistente, se intenta evitar su aparición aplicando distintos tipos de protectores.

En definitiva, hay que concluir que la oxidación es una lesión elemental, de fácil prevención o reparación, y que su parte negativa se halla en el aspecto desagradable que pueden adoptar los elementos constructivos metálicos afectados.

CORROSIÓN

Es un ataque que implica una reacción química acompañada del paso de corriente eléctrica. Por esta razón, la corrosión suele denominarse también oxidación electrolítica. A diferencia de la oxidación propiamente dicha, la corrosión no afecta sólo a la capa superficial del metal, sino que el ataque continúa hasta la destrucción total del mismo.

Este fenómeno se desarrolla entre dos zonas determinadas de la superficie del metal, zonas que reciben el nombre de ánodo y cátodo, y por medio de un fluido conductor (electrolito) capaz de conducir una corriente eléctrica.

Tanto en los ánodos como en los cátodos se producen una serie de reacciones, pero la corrosión se produce como resultado de la interacción de los procesos que tienen lugar en ambos, en ánodos y cátodos.



Inicio del proceso de corrosión de una estructura para pérgola al exterior.

En concreto, en el ánodo, que es la zona donde se hallan los potenciales más bajos, los átomos se disuelven para formar iones y dejan libres a los electrones, los cuales se desplazan a través del metal hasta el cátodo, zona donde están los potenciales más altos y donde los electrones son utilizados para la reducción de otros iones o de oxígeno.

En definitiva, en el metal se forma una pila electroquímica y la migración de electrones del ánodo al cátodo se materializa en la corrosión del metal (que se produce en la zona del ánodo).

De todos modos, para que se cree la pila electroquímica (también llamada circuito galvánico) es necesario que haya una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo y que exista un fluido conductor, que normalmente es el agua, cuya acción se ve potenciada por la presencia de sales contaminantes que facilitan el desplazamiento de los electrones.

Una peculiaridad importante de la corrosión es que el metal, o elemento metálico, corroído ocupa más espacio que antes de verse afectado por esta patología.

Por ejemplo, el óxido de hierro suele ocupar más volumen que el que ocuparía el hierro que contiene.

Es algo que debe tenerse muy en cuenta en la construcción, especialmente cuando un metal se halla en el interior de otro material, ya que al corroerse y aumentar de volumen puede provocar fisuras, grietas e incluso roturas.

Un ejemplo bastante frecuente de este fenómeno son el deterioro de las paredes de hormigón debido a la corrosión de los elementos de hierro que tienen en su interior.

Por tanto, queda claro que los procesos patológicos de la oxidación y la corrosión son muy distintos, aunque ambos son procesos químicos y se producen en los mismos materiales, es decir, en los metales.

METAL	ION	POTENCIAL (voltios)	
Potasio	K+	- 1,922	Más activos: mayor tendencia a la corrosión
Calcio	Ca++	- 1,870	
Sodio	Na+	- 1,712	
Aluminio	Al+++	- 1,670	
Magnesio	Mg++	- 1,340	
Cinc	Zn++	- 0,762	
Cromo	Cr+++	- 0,710	
Hierro	Fe++	- 0,440	
Níquel	Ni++	- 0,250	
Estaño	Sn++	- 0,136	
Plomo	Pb++	- 0,126	
Hidrógeno	**H+**	**0,000**	
Cobre	Cu++	+ 0,345	
Plata	Ag+	+ 0,800	
Mercurio	Hg++	+ 0,850	Menos activos: menor tendencia a la corrosión
Platino	Pt++	+ 1,200	
Oro	Au++	+ 1,420	

ESCALA DE POTENCIALES DE ELECTRODO

HIDRÓXIDO	INTERVALO DE PH ESTABLE
ferroso	5,8-14
férrico	2,2-14
de aluminio	3,8-10,6
de zinc	6,8-13,5
de cobre	5-15
de plomo	7,4-14

DISTINTOS HIDRÓXIDOS PRESENTES EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SU INTERVALO DE PH EN EL CUAL SE PRESENTAN ESTABLES, O SEA, QUE NO TIENDEN A LIBERAR O CAPTAR IONES LIBRES

TIPOLOGÍAS DE LA CORROSIÓN

Como acabamos de indicar, la oxidación es un proceso químico que provoca una simple alteración en la superficie de los metales cuyo efecto llega incluso a resultar protector; por ello, en relación a las patologías de los edificios, no parece necesario profundizar en el fenómeno. En cambio, sí que resulta conveniente analizar los distintos tipos de corrosión, que dependen del electrolito, ya que es éste el que determina las reacciones que se producen en el ánodo y en el cátodo. En definitiva, la corrosión depende de la pila electrolítica que forme.

CORROSIÓN POR OXIDACIÓN

Es uno de los tipos de corrosión más comunes y se desarrolla inmediatamente después de la oxidación, lo que lleva a considerar a las dos lesiones como un único proceso patológico.

Es el caso del hierro, en el que como ya hemos dicho la capa superficial de óxido que se forma es porosa y fisurada –y por tanto poco protectora.

Cuando la capa se humedece (por la humedad ambiental, el agua de lluvia, etc.) se transforma en hidróxido férrico, cuyo potencial eléctrico es superior al del hierro que se halla debajo. Además, los poros de la película permiten que el agua permanezca en la misma, agua que suele contener distintas sales solubles procedentes de la polución atmosférica.

De este modo se llega a crear una pila electrolítica entre el hierro (ánodo) y el hidróxido férrico (cátodo) que, como ya hemos estudiado, da lugar al flujo de electrones que provoca la corrosión del hierro.

Este mismo proceso patológico puede desarrollarse en cualquier otro metal, aunque, en principio, de manera muchísimo más lenta, ya que la película de óxido que se forma en la superficie (por ejemplo, del zinc, del cobre o del aluminio) resulta muy protectora.

CORROSIÓN POR PAR GALVÁNICO

También es bastante habitual, aunque su aparición es muy localizada. Es un proceso que surge entre dos metales distintos inmersos en un electrolito, es decir, en un fluido que actuará como conductor de la corriente eléctrica que se genera.

Para entender este fenómeno, hay que recordar que un metal inmerso en una solución acuosa (o electrolito) adquiere un determinado potencial eléctrico.

Este potencial depende de las características de cada metal y de la naturaleza del fluido, es decir que en un mismo electrolito, dos metales adquirirán un potencial eléctrico distinto y se creará una pila electroquímica, en la que el metal con potencial más alto actuará de cátodo y el que lo tenga más bajo, de ánodo. La corrosión afectará al que actúa de ánodo.

Por tanto, si en esta atmósfera se ponen en contacto dos de estos metales, la corrosión afectará al que tenga el potencial más bajo. De hecho, en las fachadas de los edificios no es nada infrecuente que se formen este tipo de pares galvánicos, por ejemplo, cuando en una ventana metálica entran en contacto las bisagras de latón y la carpintería de aluminio (el latón será el cátodo y el aluminio el ánodo y, en consecuencia, el que sufra la corrosión) o cuando lo hacen los tubos de cobre y los depósitos de hierro galvanizado (el que se corroerá será el zinc).

		CORROSIVIDAD		
AMBIENTE		ALTA	MEDIA	BAJA
Inmersión	Agua de mar	•		
	Agua dulce estancada		•	
	Agua dulce corriente			•
Enterradas en terrenos	Salinos (costeros)	•		
	Ácidos	•		
	Húmedos (neutros)		•	
	Secos			•
Atmósferas	Costera	•		
	Industrial			
	Urbana		•	
	Rural			•

CORROSIVIDAD DE LOS AMBIENTES A LOS QUE PUEDE ESTAR SOMETIDA UN ESTRUCTURA METÁLICA

En general, la velocidad de la corrosión dependerá de varios factores:

- **LA DIFERENCIA DE POTENCIAL** de los dos metales que están en contacto.
- **LA MEDIDA DE LAS SUPERFICIES EXPUESTAS** (la corrosión es más importante cuanto más pequeña sea la superficie del ánodo con respecto a la del cátodo).
- **LAS CARACTERÍSTICAS DEL ELECTROLITO** (la corrosión será más rápida cuanto más fuertes sean los ácidos y las sales contenidas en el fluido).
- **LA TEMPERATURA** (con cierta frecuencia, la velocidad de corrosión crece al aumentar la temperatura).

Además, la diferencia de potencial eléctrico entre dos metales es directamente proporcional a su incompatibilidad. Los siguientes binomios de metales se llevan mal y pueden establecer pares galvánicos: Cobre/Acero; Cobre/Acero galvanizado; Cobre/Hierro; Cobre/Zinc; Acero/Aluminio; Plomo/Aluminio.

Por otro lado, la corrosión por par galvánico también puede producirse sin necesidad de que los metales estén en absoluto contacto.

Por ejemplo, en una fachada con varios elementos de distintos metales, la humedad ambiental o el agua de lluvia pueden arrastrar en solución iones metálicos que, al desplazarse de arriba hacia abajo, pueden entrar en contacto con los otros metales y desencadenar el proceso de corrosión que se acaba de describir.

CORROSIÓN POR AIREACIÓN DIFERENCIAL

Este tipo de corrosión se produce cuando en un mismo elemento constructivo metálico se crea una diferencia de potencial debido a que una zona del mismo está humeda y otra seca.

Es decir que se crea un par galvánico entre dos partes del mismo elemento: la seca actúa de cátodo y la húmeda de ánodo, que por tanto será la que se corroa.

La corrosión por aireación diferencial suele desarrollarse en elementos metálicos horizontales, donde con frecuencia aparecen oxidaciones o «picaduras» puntuales provocadas por la acumulación de agua (incluso de gotas de rocío) en alguna zona del elemento.

En las fachadas de los edificios los elementos constructivos susceptibles de sufrir este tipo de corrosión son, entre otros, los alféizares y vierteaguas de ventanas, las barandillas o las carpinterías de ventanas.

CORROSIÓN INTERGRANULAR

Es un proceso de corrosión no muy habitual y que se desarrolla en las aleaciones metálicas. Su causa hay que buscarla en los errores cometidos durante el proceso de fabricación (tratamiento térmico inadecuado, malas proporciones de algunos metales, etc.).

El resultado de estos errores es que los metales no llegan a completar su proceso de unión y acaban separándose en cristales individuales, hecho que genera la posibilidad de que se creen numerosos pares galvánicos con el peligro de corrosión que conllevan.La corrosión intergranular es, por ejemplo, la única que puede afectar a los aceros inoxidables.

CORROSIÓN POR INMERSIÓN

En este caso, la corrosión no consiste en la destrucción del metal por creación de una pila electrolítica, sino que se desarrolla por disolución del propio material. En efecto, el metal, cuando está inmerso en el agua, resulta ionizado y sus iones se combinan con los del hidrógeno del agua. El resultado es la formación de una capa de hidróxido que, en función del pH de la solución, puede disolverse y provocar una pérdida de material.

La corrosión por inmersión afecta a casi todos los metales y su intensidad depende de los límites del pH en los que el dióxido de cada uno de ellos se mantenga estable.

Si el hidróxido de metal se matiene dentro de sus límites correspondientes de pH, actuará como capa protectora, pero fuera de ellos se disolverá.

Lógicamente, la corrosión por inmersión es típica de los metales sumergidos, sin embargo en ocasiones puede aparecer también en las fachadas de los edificios (jardineras, patillas embutidas, etc.).

EROSIÓN QUÍMICA

La erosión química se puede definir como la destrucción o alteración de la superficie de un material como consecuencia de ciertos procesos o reacciones químicas de sus componentes con otros agentes exteriores atacantes, como los contaminantes atmosféricos, sales o álcalis disueltos en las aguas de capilaridad o filtración, productos aplicados por el hombre, etc. Su resultado final no consiste sólo en la transformación molecular del material –que implica una modificación de su estructura y una variación de su aspecto–, sino también la progresiva pérdida del material –en ocasiones se puede llegar a su total destrucción– como consecuencia de la mayor fragilidad o solubilidad de las nuevas estructuras moleculares.

En realidad, los materiales siempre se han erosionado de manera natural, pero el proceso, debido a la acción de los agentes atmosféricos, se ha desarrollado muy lentamente y, en lo que se refiere a la construcción, no solía representar un motivo de preocupación.

Sin embargo, en los últimos años se ha observado que, en determinadas circunstancias, los materiales de las fachadas sufren alteraciones en un breve período de tiempo, hecho que se debe principalmente al aumento de agresividad de las atmósferas urbanas e industriales, cuya contaminación aumenta día a día.

La erosión química afecta especialmente a los materiales pétreos, en los que, como veremos más adelante, se forman unas costras o capas superficiales que son las que degradan la piedra.

TIPOLOGÍA

Para analizar el proceso patológico de la erosión química hay que considerar dos tipos de factores: los intrínsecos del material, es decir, su composición química, y los extrínsecos o ambientales, tanto si son naturales (agua, sol, viento, organismos vivos) como artificiales (contaminación).

Como ya se ha dicho en las erosiones se pueden advertir dos pasos, la alteración de los materiales, provocada por los agentes antes señalados, y la progresiva desaparición de material. Los resultados de la erosión química se caracterizan sobre todo por la alteración del material y se manifiestan principalmente en los materiales pétreos, hormigones y morteros, muy utilizados en la construcción y revestimiento de las fachadas.

Para entender bien este fénomeno es conveniente mencionar antes la llamada ‘pátina’, una capa fina que se forma sobre la piedra cuando se deja al aire libre y puro y que ya era conocida en la antigüedad.

Esta capa posee características fisicoquímicas propias que la diferencian del resto de la piedra: su porosidad es menor, su densidad más alta y tiene mayor dureza, por lo que se convierte en una pátina protectora para la piedra.

Su formación se debe al aporte de ácido carbónico disuelto en agua que, por efecto de la lluvia y la capilaridad penetra en el interior de la piedra y se transforma en bicarbonato cálcico en forma de sal soluble.

Cuando debido a la evaporación la superficie se seca, el bicarbonato asciende hasta ella y por oxidación se convierte en carbonato cálcico. Éste, al cristalizar y endurecerse, forma la pátina protectora.

Sin embargo, en la actualidad, este proceso natural ha variado claramente debido a que a dicho proceso se han sumado los agentes contaminantes presentes en la atmósfera, cuya acción no es protectora sino nociva. En concreto, la alteración química que sufren los materiales pétreos se suele manifestar de los siguientes modos:

- **COSTRAS**. De distinta textura, consistencia y espesor, difieren de la pátina tradicional en que contienen una gran proporción de sulfatos que provocan que la piedra se exfolie y se desprenda. Existen dos tipos distintos de costras: internas, que provocan la separación de la parte más externa de la piedra (que acaba desprendiédose como si fuese una piel), y externas, que apaecen sobre la superficie de la piedra y poseen una gran adherencia. Normalmente son de color oscuro debido a la particulas ensuciantes que contiene el aire (sobre todo en zonas urbanas e industriales).

- **AMPOLLAS**. Son consecuencia de las costras y de determinados procesos físicos en los que interviene el sulfato cálcico, sal relativamente insoluble.

- **DISGREGACIÓN**. Es decir, la conversión en arena de la zona superficial de una piedra.

A continuación se analizarán los principales elementos y compuestos que originan los procesos químicos que dan lugar a la erosión.

ELEMENTOS Y COMPUESTOS QUE ORIGINAN LA EROSIÓN

DIÓXIDO DE CARBONO

Procede de dos fuentes, ya que es un componente natural de la biosfera y, además, es emitido a la atmósfera como resultado de las actividades industriales.

El dióxido de carbono acidifica las aguas de lluvia (lluvia ácida) y actúa principalmente sobre materiales calizos (piedras, mármoles, hormigones) incrementando en gran medida la velocidad de disolución o disgregación de este tipo de piedras o de aquellas que contengan elementos calcáreos.

En concreto, consigue convertir el carbonato cálcico en bicarbonato cálcico ($CO_3Ca + CO_2 + H_2O = CO_3H_2Ca$), que es mucho más soluble que el primero.

En primer lugar, la acción de este agente, que se limita a las fachadas costruidas con materiales cuyos principales componentes sean el carbonato cálcico y el carbonato magnésico, provoca la alteración, en concreto la disgregación, de los granos más finos de las piedras, que sirven de conglomerante, y de ese modo éstas aumentan notablemente su porosidad y se vuelven mucho más débiles para resistir el ataque de otros agentes.

Este tipo de disgregación también pueden sufrirla las zonas carbonatadas de morteros, hormigones o revocos, algo que puede resultar bastante peligroso en los primeros cuando se utilizan como material de unión de mamposterías y sillerías, ya que esa erosión facilitará vías de penetración al interior. En el caso de los hormigones, esta lesión puede llegar a dejar al descubierto las armaduras.

El dióxido de carbono también puede provocar la formación de costras sobre la superficie de la piedra. Esto sucede si no ha llegado a formarse el bicarbonato cálcico, ya que entonces, al evaporarse el agua, el carbonato cálcico cristaliza en la superficie formando costras de textura muy irregular.

Por otro lado, el CO_2 también puede atacar al granito (cuando está disuelto en agua). En este caso, lo que hace es actuar sobre los feldespatos y micas que lo componen hasta transformarlos en caolín, que con el tiempo acaba por disgregarse.

DIÓXIDO DE AZUFRE

Es tal vez el agente contaminante más peligroso y procede de la combustión de hidrocarburos (vehículos y calefacciones) y carbón mineral. Cuando se acumula en la atmósfera, tiende a asociarse con las partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire.

El dióxido de azufre sufre un proceso de oxidación debido a lapresencia en la atmósfera de ciertos catalizadores (luz solar, vanadio, manganeso, etc.) que le lleva a transformarse en trióxido de azufre ($2\ SO_2 + O_2 = 2\ SO_3$). Éste, que es higroscópico, al combinarse con el agua de lluvia produce ácido sulfúrico ($2\ SO_3 + 2\ H_2O = 2\ H_2OSO_4$).

Al ser un ácido muy reactivo, al entrar en contacto con los materiales suele formar sulfatos de calcio, magnesio y sodio. En concreto, en su ataque a los materiales calizos llega, primero, a producir sulfato cálcico anhidro (al combinarse con el carboato cálcico) y luego sulfato cálcico dihidrato (yeso), que precipita dando lugar a la formación, en el exterior, de costras blancas y pulvurentas. Éstas pueden desaparecer por disolución (el yeso es fácilmente soluble), con la pérdida de material que ello implica.

En el interior, la hidratación del sulfato se desarrolla en los poros superficiales del material, hecho que tiene como consecuencia un aumento de volumen (32 %) que provoca descascarillamientos y pérdida de material por desintegración de la superficie.

En general, la formación de la costra de sulfato va acompañada de un depósito de hollín pegajoso que se adhiere a la superficie de la piedra y retiene polvo y humedad. La capa que se forma es bastante impermeable e impide respirar a la piedra, de modo que el agua 'atrapada' en su interior prosigue su acción debajo de dicha capa favoreciendo la helada, la hidratación de la anhidrita o los cambios térmicos –fenómenos que implican una dilatación del material– y, por tanto, las exfoliaciones y la erosion con pérdida de material.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO

En general, los nitratos están presentes en la atmósfera a causa de los procesos de combustión de los vehículos y de determinadas reacciones que tienen lugar en las zonas industriales, así como en áreas tropicales donde existe una gran actividad tormentosa. Aunque todavía no se conoce toda su magnitud, constituyen una fuente importante de alteración de los materiales, especialmente por el ataque del ácido nítrico. El agua es un elemento que contribuye en buena medida al deterioro de los materiales, ya que con los temporales de lluvia, ésta se acidifica con ácido nítrico y puede llegar a disolver los carbonatos.

Particularmente relevante es el ataque producido por los óxidos de nitrógeno.

CLORUROS

Son contaminantes fuertes y agresivos porque al combinarse con el agua de lluvia provocan la formación de ácido clorhídrico o ácido hipocloroso. En concreto, el primero se puede llegar a combinar con la cal de hidrólisis de los cementos, produciendo cloruro cálcico y rebajando el pH del material. Entonces, el material sufre una fuerte presión de cristalización que disgregará su superficie.

FLUORUROS

Aparecen en la atmósfera como resultado de la contaminación industrial, principalmente la de las industrias siderometalúrgicas. Si actúan en medios ácidos y húmedos (lluvia ácida con presencia de dióxido de azufre), los aerosoles de fluoruros reaccionan con la sílice de los materiales de fachada produciendo tetrafluoruro de silicio, compuesto muy volátil que puede causar importantes alteraciones en los componentes silíceos de los materiales y provocar erosión superficial. Por lo común, ataca a hormigones y morteros con áridos silíceos –especialmente a los morteros de revocos– y a algunos granitos.

AGUA PURA

Aunque en los materiales constructivos aparece con muy poca frecuencia, su ataque puede resultar altamente dañina para los hormigones –material sobre el que suele actuar–, ya que disuelve la cal y arrastra parte de la alúmina provocando disgregaciones. En caso de que su acción sea bastante prolongada, aparecerá un residuo superficial en forma de costra compuesto de sílice hidratada, alúmina de aspecto gelatinoso y óxido de hierro. Este residuo tiene escasísima cohesión y, en consecuencia, puede escamarse y desprenderse erosionando la superficie.

ÁLCALIS DEL CEMENTO

No todos los agentes químicos que atacan a los materiales provienen del exterior. Algunos proceden del interior de los mismos, como es el caso de los álcalis (K_2O, Na_2O). Básicamente, su acción está asociada a materiales y productos obtenidos con cementos, especialmente con cemento Pórtland, ya que generalmente contienen álcalis de sodio y de potasio. De hecho, cuando su porcentaje en los cementos supera el 6 % pueden atacar a algunos tipos de áridos, como las sílices, opalinas, calcedonia, riolita, etc.

El ataque de los álcalis se suele manifestar en forma de expansiones volumétricas, disgregaciones y rupturas del material afectado debidas a reacciones entre los álcalis y ciertos silicatos contenidos en los granos.

ORGANISMOS

La presencia o acción continuada de un organismo sobre los cerramientos puede llegar a provocar erosiones químicas, que aunque constituyen una patología secundaria, pues no aparecen con mucha frecuencia, deben tenerse en cuenta.

De hecho, es lógico considerar a los organismos como agentes químicos, ya que las alteraciones que causan son el resultado de ciertas reacciones químicas derivadas de su interacción, o de la de sus residuos, en los materiales de fachada.

En general, se suelen distinguir los siguientes tipos de organismos:

- **MICROORGANISMOS**. Están presentes en casi todas las zonas exteriores del edificio y pueden atacar químicamente acasi todos los materiales, pero especialmente a los pétreos.

  En general, las distintas especies bacterianas ejercen su acción destructiva segregando substancias –normalmente, subproductos de su metabolismo– que son capaces de producir distintas alteraciones. Entre las bacterias más comunes se encuentran las siguientes:

  - **BIOBACTERIAS**: siguiendo un metabolismo muy complejo, transforman el azufre en ácido sulfúrico y si éste queda depositado sobre materiales calizos dará inicio a un proceso de sulfatación.

  - **ANTINOMICETOS**: atacan directamente a las piedras areniscas disgregándolas.

- **BACTERIAS NITRIFICANTES**: oxidan el nitrógeno presente en la atmósfera y en el agua de lluvia transformándolo en nitratos. Su acción afecta principalmente a las piedras calizas.

- **LÍQUENES**. Tienen una doble acción: por un lado, segregan ácidos orgánicos que disgregan los materiales pétreos sobre los que se depositan y, por otro, son capaces de mantener la humedad en la superficie de los materiales porosos sobre los que se hayan asentado, hecho que favorece ulteriores erosiones, tanto físicas como químicas.

- **RESIDUOS DEPOSITADOS POR ANIMALES**. En concreto, los de las palomas y otras aves muy presentes en las zonas urbanas contienen un 2 % de ácido fosfórico, cuya acción provoca una disgregación paulatina de los materiales con sustrato calcáreo, además de corrosión en los metales.



Las deposiciones de las aves contienen componentes con un ph ácido, lo cual ataca no sólo partes mecánicas sino también a elementos pétreos y arcillosos.

PROCESOS BIOQUÍMICOS

El deterioro causado en los materiales por agentes biológicos no es un fenómeno aislado, sino que es consecuencia de la interacción de numerosos factores, por lo que conviene analizarlo con detalle.

En este apartado se estudia el conjunto de lesiones provocado por el asentamiento incontrolado de organismos vivos, ya sean animales o vegetales, en las fachadas de los edificios y que afecta a la superficie de los materiales de las mismas. Estas lesiones suelen incluirse entre las patologías químicas debido a que su proceso es fundamentalmente químico, a pesar de que algunas de las actuaciones de los organismos vivos sean puramente mecánicas o físicas.

Las lesiones provocadas por los organismos suelen distinguirse por la 'actitud' del mismo, que puede ser pasiva, o sea de simple asentamiento, o agresiva, es decir, de destrucción del material. Aún así, para mayor comodidad, aquí hemos optado por clasificar estas patologías en función del agente que las provoca: animales o plantas.

ANIMALES

Se suelen subdivir en función de su tamaño: pequeños y grandes.

Aunque en los edficios modernos suele detectarse la presencia de algunas arañas –que hacen sus nidos en los pequeños orificios de las paredes exteriores de la fábrica, pero cuya acción no es destructora–, los insectos, es decir los animales pequeños, que causan mayores daños son los xilófagos.

Éstos atacan a la madera, bien creando una red de cavernas en el interior del material, bien por medio de sus larvas, que se alimentan de la madera y, por ello, atacan a sus fibras más resistentes.

Los xilófagos suelen dividirse en dos tipos:

- **COLEÓPTEROS**. atacan a la madera seca durante su período de larva. Los orificios que a veces se observan en la superficie del material, indican que por ellos han salido los insectos y que mientras estaban en estado de larva se han alimentado de la madera.

  Entre los coleópteros más conocidos se encuentran las carcomas y las polillas.

- **ISÓPTEROS**. Los más conocidos, y también los más dañinos, son las termitas, que en el interior de la madera forman colonias sociales parecidas a las de las hormigas y abejas.

  Pueden atacar a todos los elementos leñosos de un edificio.

En cambio, el ataque de los animales de un cierto amaño suele provocar una erosión mecánica de los materiales. Es el caso de los roedores y ratones, que pueden roer y deteriorar ciertos elementos constructivos, como maderas, tuberías de PVC y polietileno o las protecciones de los cables eléctricos, o algunos mamíferos (perros, gatos), que con sus uñas pueden erosionar paredes, puertas y otros elementos. Por lo que se refiere a la erosión química, son las aves los animales que más problemas pueden causar en los edificios.



A pesar de que muchas veces la aparición de vegetales mejora el aspecto de algunos edificios, en este caso se corre el riesgo de hacer “saltar” los sillares de piedra por la presión de las raíces.

En efecto, los excrementos que puedan depositar en las zonas donde tienen por costumbre posarse (aleros, cornisas o paños verticales), además de provocar un ensuciamiento evidente, como ya se ha dicho en otro apartado de este capítulo, pueden erosionar químicamente los elementos en los que se hayan adherido debido a que contienen un 2% de ácido fosfórico.

VEGETALES

El aerosol atmosférico contiene partículas vivas o microorganismos vegetales como bacterias, algas u hongos, que pueden hallarse aisladas o adheridas a otros elementos, como a granos de polvo, de polen o semillas. A continuación analizaremos los principales microorganismos vegetales implicados en los procesos de degradación.

HONGOS: son organismos heterótropos que no se desarrollan a partir de substratos inorgánicos, sino que aprovechan el material orgánico para crecer. Poseen tamaños que oscilan entre las 3 y 100 micras y pueden producir daños mecánicos y alteraciones químicas debido a la presencia de ácidos orgánicos (cítrico, oxálico, fumárico), inorgánicos (carbónico, nítrico) y de sustancias quelantes. En general, su acción requiere oxígeno gaseoso y gran cantidad de agua, superior al 20 % de humedad en el elemento constructivo, además de una temperatura suave (entre 20 y 25 ºC) y deterioran notablemente los silicatos de aluminio, las calizas y los morteros.



Estos musgos deterioran las juntas de mortero, dejando las piezas sueltas y exponiendo el sustrato a humedad y erosiones.

Los llamados hongos de pudrición seca atacan a la madera, aunque en ocasiones, debido a su enérgico crecimiento, penetran en muros de ladrillo o de mampostería. Su acción modifica las propiedades de la madera debido a que dañan seriamente la celulosa y la lignina. En función de la clase de pudrición, estos hongos se pueden clasificar en los tres siguientes tipos:

- **DE PUDRICIÓN BLANCA**. Destruye más la lignina que la celulosa, la cual adopta un tono blanquecino.

- **DE PUDRICIÓN PARDA**. Ataca sobre todo a la celulosa dejando un residuo de lignina que se disgrega fácilmente con los dedos.

- **PUDRICIÓN BLANDA**. Aparece por la acción conjunta de una serie heterogénea de hongos en maderas que se hallan en contacto con el suelo.

Con el nombre de mohos se conoce a diversas especies de hongos que viven sobre materia orgánica en descomposición con la ayuda de humedad. Presentan distintos colores y un mal olor característico que se suele detectar en locales cerrados o poco ventilados. Para su aparición son necesarias unas condiciones ambientales determinadas: rugosidad y porosidad de la superficie del material (para su fácil agarre), humedad abundante en el material donde se asientan (superior al 30 %) y falta de ventilación y soleamiento. Por ello, suelen desarrollarse en determinadas zonas de los edificios, tanto exteriores (zócalos de piedra, ladrillo o mortero, rincones muy protegidos, huecos de ventanas) como interiores (buhardillas y desvanes sin ventilación, interiores de armarios).

ALGAS MICROSCÓPICAS: se presentan en forma de cistos o esporas de menos de un micra y, generalmente, se localizan en zonas donde no llega directamente la luz solar. Son muy sensibles a la luz y a la temperatura y suelen aparecer en rocas calcáreas y morteros, donde pueden producir una disgregación superficial (por ejemplo, en tejados mal conservados, en zonas con filtración de agua o en superficies planas con mal drenaje).

Otros microorganismos vegetales que pueden afectar a los materiales constructivos son los ***líquenes***, los ***musgos*** y las ***bacterias***. Los primeros son asociaciones o simbiosis de un hongo y un alga. El primero proporciona a la segunda humedad y protección en su asentamiento, mientras que el alga le proporciona al hongo compuestos orgánicos sintetizados a través de reacciones fotosintéticas (clorofila-luz). Aparecen sobre materiales porosos como rocas, hormigón, mortero y ladrillos y se pueden distinguir dos tipos distintos:

- **LÍQUENES CRUSTALES**: forman costras planas en la superficie de la piedra, sobre todo areniscas y calizas.

- **LÍQUENES FOLIOSOS**: tienen forma de hojas o escamas y no son frecuentes en los edificios, excepto en zonas expuestas y no contaminadas.

Suelen aparecer en cornisas, terrazas o zócalos y su erosión química es consecuencia de los ácidos orgánicos que segregan, que provocan la disgregación de la superficie del material.

Los musgos son plantas de distintos tamaños –de cierto porte– cuya presencia, al igual que la de las algas, está muy condicionada por la cantidad de agua, por la temperatura y por la luz. Ejercen un efecto destructivo sobre la superficie en la que se asientan, pudiendo llegar hasta una profundidad de más de 1 cm.

No suelen colonizar materiales de superficie dura (ladrillos, mármoles, etc.), pero sí los morteros de cal, que al ser más porosos retienen más la humedad que necesitan.

Por último, las bacterias son organismos unicelulares que atacan a los materiales debido a los procesos exclusivamente químicos derivados de su metabolismo. Tienen su origen en el suelo o en las aguas, en especial las fecales o en proceso de depuración y, fundamentalmente, se pueden distinguir dos tipos distintos:

- **SULFOBACTERIAS**: transforman los sulfitos en sulfatos que, como ya hemos analizado en apartados anteriores, al combinarse en los materiales con el calcio, originan el sulfato cálcico.

- **FERROBACTERIAS**: intervienen en los fenómenos de oxidación del hierro y, además, deterioran los materiales pétreos, los vidrios o las estructuras metálicas.

En general su tamaño está comprendido entre las 0,3 y las 15 micras y suelen encontrarse en atmósferas urbanas.

BIBLIOGRAFÍA

Algunes accions físiques i químiques sobre materials de construció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 319. Barcelona, 1979.*

Conceptos y patología en la edificación. *Manuel Muñoz Hidalgo. Manuel Muñoz Hidalgo. Sevilla, 1988.*

Curso de patología. Tomo 1. *AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Iniciación a las restauraciones pétreas. *Doménico Luis. Caja General de Ahorros de Granada. Granada, 1991.*

Restauración de edificios monumentales. *CEDEX. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas, Inspección y Medio Ambiente. Madrid, 1994.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 2: Metodología de la restauración y de la rehabilitación. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*
Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

Cracking in buildings. *R. B. Bonshor-L.L. Bonshor. Construction Research Communications Ltd. 1996.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Patología de fachadas urbanas. *E.T.S.A.V. Universidad de Valladolid, 1990. Secretariado de Publicaciones.*

Recomendaciones técnicas para la reducción de patologías en el terrazo. *Bautista Carrascosa-Martín de la Morena-Mieres Royo. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. *Grossi-Esbert. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

La torre inclinada de Pisa. Estructuras, materiales de construcción e intervenciones de refuerzo. *Veniale. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción. *Rincón-Romero. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Refuerzo de estructuras con materiales compuestos con fibra de carbono. Sistema SIKA CARBODUR. *Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.*

Refuerzo de estructuras de hormigón con materiales compuestos con fibras de carbono. *Asociación Técnica Española del Pretensado. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.*

Tecnología moderna de durabilidad. *INTEMAC.*

Estrucutras dañadas por corrosión.

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES **PÉTREOS**

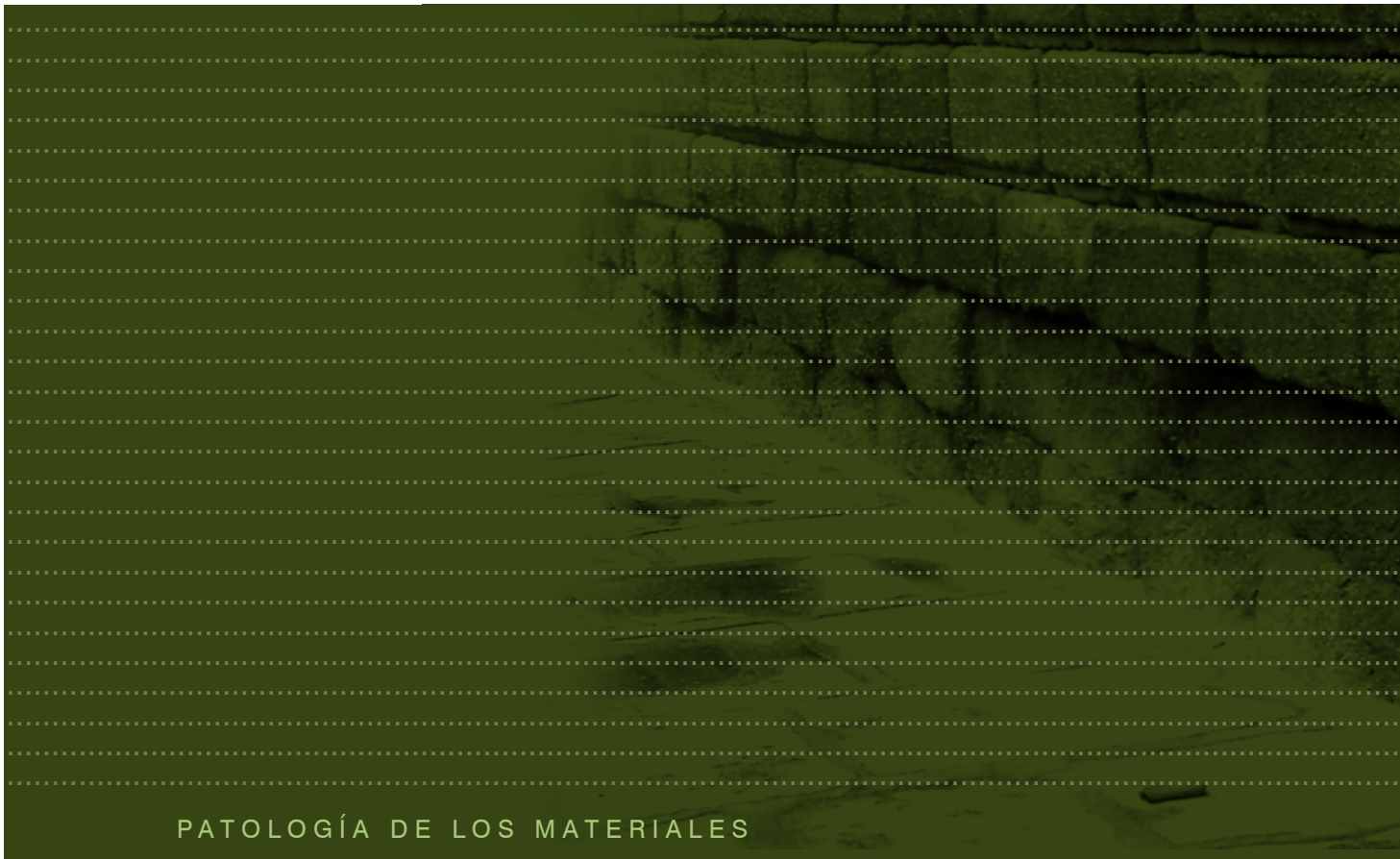
PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES **CERÁMICOS**

PATOLOGÍA DE LA **MADERA**

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS **METÁLICOS**

PATOLOGÍA DEL **HORMIGÓN**

PATOLOGÍA DE LOS **AGLOMERANTESY CONGLOMERANTES**



PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES PÉTREOS

INTRODUCCIÓN.....13
TIPOS DE ALTERACIÓN.....17
CAUSAS DE ALTERACIÓN.....27
DIAGNÓSIS.....47
TRATAMIENTO.....79

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES PÉTREOS

INTRODUCCIÓN 13

TIPOS DE ALTERACIÓN 17

CAUSAS DE ALTERACIÓN 27

ALTERACIONES DEBIDAS A LAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL 27
ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES QUÍMICO AMBIENTALES 29
ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES FÍSICO AMBIENTALES 37
ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES BIOLÓGICOS 41
ALTERACIONES DEBIDAS AL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y COLOCACIÓN 44

DIAGNOSIS 47

ANÁLISIS DEL ENTORNO 47
ANÁLISIS IN SITU DE LA CONSTRUCCIÓN 49
ANÁLISIS DE LESIONES IN SITU 50
(Cartografías, Técnicas no destructivas de diagnóstico)
DIAGNÓSTICO DE LABORATORIO (Petrografía, Determinación de los parámetros físicos, Ensayos de determinación de la durabilidad, para detectar la presencia de microorganismos, de valoración de la corrosión de las armaduras de acero, Análisis de pátinas) 56
EVALUACIÓN DE RESULTADOS 77

TRATAMIENTO 79

LIMPIEZA (Preconsolidación, Desalinización, Métodos húmedos, mecánicos, químicos, Rayos láser y ultrasonidos) 81
CONSOLIDACIÓN (Consolidación estructural, Consolidantes inorgánicos, orgánicos, mixtos) 92
PROTECCIÓN 100
SUSTITUCIÓN Y REPOSICIÓN 103
RECONSTITUCIÓN O REINTEGRACIÓN 104
MANTENIMIENTO Y PREVENCIÓN 106
EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO (in situ, en el laboratorio) 107

BIBLIOGRAFÍA 109

INTRODUCCIÓN

Este capítulo se centra en los ***MATERIALES ROCOSOS*** o ***PÉTREOS***. El término ***MATERIALES PÉTREOS*** se utiliza en un sentido global. Hace referencia tanto a las piedras que se usan en las obras constructivas como a las argamasas elaboradas con materiales naturales sometidos a distintos tipos de tratamientos.

Esos tratamientos tienen, en general, un carácter térmico, que permite la fabricación de muros, de pavimentos y de elementos estructurales varios, formados por piedras y con características pétreas.

A diferencia de los otros materiales que se suelen utilizar para la construcción, las piedras son materiales muy poco homogéneos. Presentan discontinuidades y desigualdades a diferentes escalas.

Además, este material nunca fue fácil de extraer ni económico de maniobrar. Sin embargo, la piedra fue quizás el elemento más utilizado para la construcción, desde la más remota antigüedad. Esto se debe a que presenta gran resistencia y durabilidad, incluso mucho más que otros materiales.

La función de los materiales rocosos en las obras de construcción es múltiple. Normalmente depende de su localización en el edificio y del tipo de piedra en cuestión. Se pueden utilizar piedras como sillares, como parte de juntas y rellenos, como revocos y tratamientos superficiales y como ornamentación.

Las rocas se definen como agregados de minerales que se generan como consecuencia de diferentes procesos naturales. Los distintos tipos de rocas resultan de los diferentes procesos de generación.

Estos procesos pueden ser ***ENDÓGENOS*** o ***EXÓGENOS***, y condicionan la composición, características y propiedades de las rocas.

En cuanto a los tipos de piedras, las rocas se encuentran clasificadas en tres grandes grupos:

- **ROCAS ÍGNEAS**
- **ROCAS SEDIMENTARIAS**
- **ROCAS METAMÓRFICAS**

La clasificación mencionada toma en cuenta la ***MINERALOGÍA***, la ***TEXTURA***, la ***COMPOSICIÓN QUÍMICA*** y los ***ESPACIOS VACÍOS*** que presentan las piedras.

La mineralogía es el estudio de los minerales que componen las rocas, la composición química investiga cuáles son los componentes que actúan y reaccionan para conformar la piedra, la textura habla del modo de agregación que presentan y los espacios vacíos se refieren a los poros y fisuras que caracterizan a las piedras.

Estas propiedades son el objeto de estudio de la ***PETROGRAFÍA***. Si al estudio petrográfico de las piedras se le agrega el estudio de las características físicas que presentan, se constituye la disciplina conocida como ***PETROFÍSICA***.

Las propiedades físicas se refieren a las características mecánicas, hídricas, térmicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales pétreos, y que influyen notablemente en su capacidad de respuesta como material de construcción.

PIEDRAS ÍGNEAS: están formadas por el enfriamiento y consolidación de magmas existentes en el interior de la tierra, a una presión y temperatura muy elevadas. Estas piedras son conocidas como ***ENDÓGENAS***. Están compuestas a base de minerales que contienen moléculas de silicio.

Esta composición, sumada a la gran compacidad que presentan, les otorga importantes características de durabilidad y dureza. Muchas veces contienen también elementos cristalinos.

Por lo tanto, al pulir este tipo de rocas, se revela una superficie rica en formas de colores diversos, muy decorativa. Las rocas ígneas son ideales para la construcción. Ejemplos de rocas ígneas son los ***GRANITOS*** y los ***BASALTOS***.

PIEDRAS SEDIMENTARIAS:, al contrario de las piedras ígneas, no son rocas originales. Se han formado en la superficie de la tierra como resultado de un largo proceso que se inicia con la destrucción de rocas preexistentes.

Aquellas rocas destruidas son transportadas naturalmente hasta que se depositan en forma de sedimentos. Los sedimentos pueden ser considerados roca, aunque disgregada. Sin embargo, los sedimentos sufren un conjunto de cambios físicos y químicos que los convierte en piedras coherentes.

Esos cambios son el resultado de procesos de variación de temperatura y presión, originados por movimientos tectónicos o por el peso de sedimentos depositados posteriormente.

Además de los cambios ambientales, el agua puede llevar sustancias que reaccionan con los minerales sedimentarios y los seres vivos también contribuyen al cambio de características físico-químicas.

Estas piedras, como es natural, presentan una estructura por capas o lechos –la estratificación– y abundancia de restos fósiles. Una gran cantidad de rocas sedimentarias fueron y son utilizadas para la construcción.

No ofrecen, lamentablemente, una composición química o una estructura que les permita tener gran resistencia mecánica. Además, no tienen tanta duración ni son tan decorativas como las rocas ígneas. Las piedras sedimentarias más utilizadas para la construcción son las areniscas, las calizas y las dolomías.

Para comprender el origen de las ***PIEDRAS METAMÓRFICAS***, se requiere conocer los datos siguientes. Las rocas ígneas se forman a temperaturas comprendidas entre los 650 los 1200 ºC, bajo presiones variables (desde la presión atmosférica a la presión de varios kilómetros de profundidad bajo la superficie terrestre). Las piedras sedimentarias, por otro lado, se forman a temperaturas que no llegan a los 50 ºC y bajo presiones débiles.

Los minerales que forman a estas piedras –ígneas y sedimentarias– son estables dentro de unos límites de temperatura y presión definidos.

ORIGEN DE LA PIEDRA		TIPO DE ROCA
Igneas	Volcánicas	Basalto
	Plutónica	Granito
Sedimentarias		Areniscas/Calizas/Dolomías
Metamórficas		Mármoles/Pizarras

TIPOS DE ROCAS MÁS UTILIZADAS EN LAS CONSTRUCCIONES PÉTREAS SEGÚN SU ORIGEN

Si los minerales sufren temperaturas y presiones fuera de estas marcas, se transforman dando lugar a las piedras metamórficas.

Los incrementos de temperatura y de presión que provocan el metamorfismo se deben a la proximidad de magmas en ascensión y a los movimientos orogénicos. Los efectos del metamorfismo hacen variar muchas de las características de las rocas originales, especialmente su estructura.

Además, se pueden producir recristalizaciones, que aumentan la compacidad de las piedras. Los componentes de medida pequeña son reabsorbidos, el grano se agranda y los fósiles se destruyen.

Pueden llegar a aparecer nuevos minerales como consecuencia de los cambios químicos que se producen en la metamorfosis.

Las piedras metamórficas se caracterizan por su total cristalización, por su estructura esquistosa, por la ausencia de cavidades y por su gran compacidad. Las rocas metamórficas más utilizadas en las construcciones son los mármoles y las pizarras.

Como cualquier otro material que se interrelaciona con el ambiente circundante, las piedras sufren alteraciones y daños con el paso del tiempo. La magnitud de los daños que pueden sufrir las piedras dependen de los tipos de agentes agresores y de la composición química, física y estructural de las rocas.

Los materiales pétreos, que siempre se han considerado casi eternos, que incluyen ventajas de resistencia y de estética simultáneas, pueden perder su valor artístico e histórico debido a la alteración de su superficie y de su seno.

Si las alteraciones o daños son muy graves, y no se procede a tiempo en su detección y saneamiento, las rocas pueden perder sus funciones de resistencia mecánica, por pérdida progresiva de la cohesión o por reducción de su masa.

El estudio de las patologías de los materiales pétreos es imprescindible a la hora de conocer y prevenir las causas de alteración y de intervenir en su cura, mantenimiento y conservación.

TIPOS DE ALTERACION

Desde que el hombre comenzó a construir edificaciones utilizando a las piedras como elemento base, tuvo que lidiar con ciertos problemas inherentes a ellas.

Estos problemas, más o menos importantes, están relacionados con la degradación del material. Al verse expuestos al medio ambiente, los materiales pétreos comienzan a sufrir una serie de procesos de alteraciones y desgastes.

Los procesos de alteración se originan porque las nuevas condiciones en que se encuentran los materiales pétreos distan mucho de aquellas condiciones termodinámicas en las que se formaron.

De este modo, las rocas sufren reajustes estructurales y composicionales tendientes a encontrar un nuevo equilibrio, aunque muchos de estos procesos pueden derivar en daños de los materiales pétreos.

Las piedras pueden sufrir alteraciones originadas en propiedades intrínsecas del material, en la forma en que se extrajo el material de la cantera, en su utilización en la obra y en su cuidado posterior.

Pero es especialmente a partir del uso del carbón y del petróleo como combustibles que los fenómenos de degradación de las rocas se agudizaron.

La razón está en que estos tipos de combustibles dejan grandes cantidades de residuos en el aire, que luego se depositan sobre las superficies rocosas, alterándolas.

Las alteraciones que pueden sufrir los materiales pétreos son muy variadas e introducen distintos tipos de cambios en las piedras, ya sea en el color, en su textura, en su composición química o en su aspecto en general. Cada cambio es signo de un tipo de deterioro característico, siempre relacionado con la composición y estructura de la piedra en sí misma.

Hay que tener en cuenta que no todas las alteraciones implican daños físicos irreparables en los materiales pétreos, sino que son indicadores de la acción del ambiente sobre la roca. El estudio de las alteraciones es lo que proporcionará la información necesaria para su tratamiento y mejora.

La definición correcta de los tipos de alteración que se encuentran presentes en las piedras de construcción, junto con el análisis del material alterado y de la ubicación de las lesiones en el edificio, proporcionan las claves para poder entender los mecanismos de alteración que están teniendo lugar.

Así, la catalogación y descripción de los tipos de alteraciones o daños con que se enfrentan las rocas permite identificar la naturaleza de los diversos procesos de alteración.

Estos procesos, como se verá más adelante, pueden ser físicos, químicos, biológicos, sociológicos, etc.

ALTERACIONES DE LAS ROCAS

A continuación, se enunciarán y describirán las formas de alteración más comunes que se pueden encontrar en las piedras de construcción. Muchos de estos tipos de daño están relacionados entre sí. Es el caso en que una alteración, con el tiempo, deriva en otra más grave y más profunda. Por ejemplo, cuando una escama se desprende y cae, se produce una descamación.





Dos tipos de erosión. Erosión atmosférica sobre piedras calcáreas (arriba), y formación de pátina y descamación (abajo).

PÁTINAS: son las películas o capas delgadas que recubren las piedras, a nivel superficial. Constituyen una alteración y una modificación superficial de los materiales pétreos, pero no implican necesariamente que exista un proceso de deterioro del material.

Esta forma de alteración produce variaciones del aspecto superficial de la piedra, como consecuencia de su exposición al medio ambiente durante períodos de tiempo considerables.

Las pátinas se manifiestan en general como cambios de coloración de la superficie de las rocas y pueden tener su origen en causas naturales o artificiales.

Dentro de las pátinas existen distintos grupos:

- ***PÁTINAS DE ENVEJECIMIENTO***.

  Se denomina de esta manera a la tonalidad típica o aspecto externo que adquiere una piedra, cualquiera que sea, con el paso del tiempo y con los efectos de su exposición al medio ambiente.

- ***PÁTINAS DE DECOLORACIÓN***.

  Se denomina de esta manera a la decoloración natural o artificial que pueden sufrir los materiales pétreos. Estas pátinas implican la pérdida de color de la piedra. Pueden ser consecuencia del continuo lavado de los materiales rocosos con el agua de lluvia, por ejemplo.

  Es frecuente que este tipo de pátina lleve asociada pérdida más o menos importante de material pétreo de superficie.

- ***PÁTINAS CROMÁTICAS***.

  Se denomina así a la capa de color artificial o natural que presentan algunas de las piedras en las construcciones humanas.

- ***PÁTINAS BIÓTICAS.***

  Son películas de carácter orgánico. Estas pátinas pueden ser de tonalidades muy variables.

  Las pátinas biogénicas son capas muy finas compuestas de organismos vivos que se desarrollan sobre las superficies pétreas.

  Generalmente, estos organismos son líquenes, algas o musgos.

  Los organismos de las pátinas biogénicas confieren una coloración que puede variar desde el pardo oscuro al amarillo, y que incluyen también en su gama a los tonos verdes y rojizos.

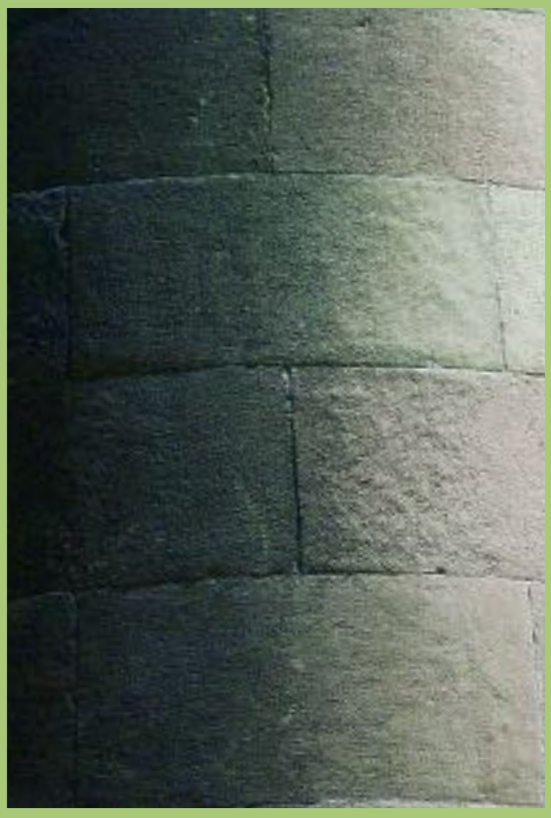
  Evidentemente, el color de este tipo de pátina dependerá del organismo que se encuentre en ella, del clima circundante y del ciclo de vida del organismo que la componga.

- ***PÁTINA DE TINCIÓN.***

  Son cambios cromáticos o tinciones superficiales de las piedras. Estas pátinas pueden estar generadas por diversas sustancias, como por ejemplo el orín, el verdín, etc.

- ***PÁTINA DE SUCIEDAD, PÁTINAS NEGRAS***.

  Este tipo de pátinas se produce por ensuciamiento de las superficies rocosas.





Manchas en muros de piedra. Depósito de hollín en la parte que no recibe el lavado de la lluvia (arriba), y erosión por filtración de humedad (abajo).



Deplacación de material pétreo.



La desagregación granular es una forma de desprendimiento del material pétreo.

EFLORESCENCIAS: son capas o adiciones cristalinas de sales solubles.

Son de color blanquecino, no presentan gran consistencia y se forman en la superficie de piedras porosas, gracias a los fenómenos de migración y evaporación de agua.

Se verá más adelante que el agua suele contener sales disueltas entre sus componentes.

Pero cuando el agua se evapora, estas sales cristalizan y se acumulan en el seno de la piedra o en su superficie, formando entonces las eflorescencias.

En general, las sales y las eflorescencias que provocan varían periódicamente en extensión y espesor.

Esto es una consecuencia directa de las variaciones climáticas del medio ambiente circundante.

Pueden ser la causa de importantes alteraciones en la piedra, desde picaduras a disgregaciones.

SUBESFLORESCENCIAS: son eflorescencias que se forman debajo de la superficie, pero muy cerca de la misma.

CRIPTOESFLORESCENCIAS: se producen si las esflorescencias se sitúan en secciones más internas de las piedras.

DEPÓSITOS SUPERFICIALES: son una forma de alteración que se produce con la acumulación, a través del tiempo, de materiales de diversos orígenes sobre las superficies pétreas.

Estos elementos depositados pueden ser el polvo, el hollín, los excrementos de aves, el humo o cualquier tipo de organismo biológico. Los depósitos superficiales no suelen presentar cohesión y su espesor es muy variable.

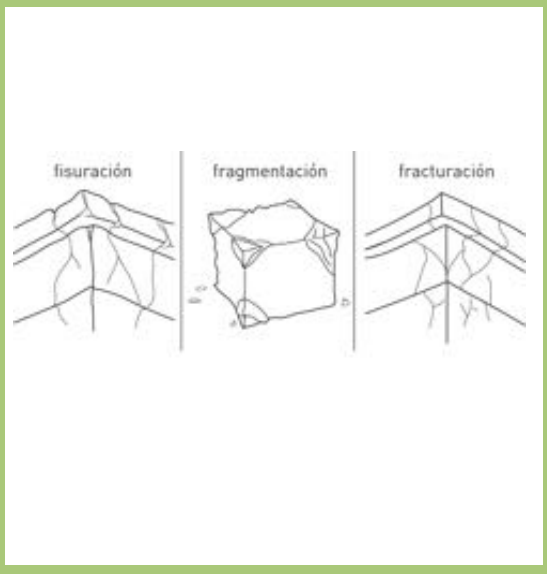
Tampoco presentan gran adherencia al material pétreo sobre el que se acumulan. El color de los depósitos superficiales puede variar desde el gris oscuro (cuando se deben a acumulación de polvo del ambiente) hasta el blanquecino (cuando proceden del material rocoso pulverulento que se puede haber desprendido por la existencia de otras alteraciones de las rocas o de las sales solubles de las eflorescencias).

Los depósitos de origen orgánico, y especialmente los excrementos de palomas y de otras aves, son los más relevantes en cuanto a las alteraciones de los materiales pétreos. Esto se debe a que presentan un carácter ácido, por lo que se convierten en agentes nocivos para las capas de piedra subyacentes.

ALVEOLIZACIONES: se producen con la aparición de ciertas cavidades o alvéolos en la superficie de las piedras. Los alvéolos presentan formas más o menos globulares y un tamaño centimétrico.

Los alvéolos pueden alojar en su interior material pétreo disgregado, eflorescencias o microorganismos. Esta forma de degradación encuentra su origen en causas físico-químicas.

Es una alteración característica de algunos materiales rocosos granudos y porosos (especialmente de las areniscas). Este tipo de alteración está en general relacionada con la presencia de sales solubles. A la alveolización se la llama también ***EROSIÓN ALVEOLAR***, ***TAFONIZACIÓN*** o ***METEORIZACIÓN EN PANAL***.



Distintas roturas de piezas rocosas.



Desgaste del material pétreo debido a la erosión eólica y de lluvias. Este fenómeno se acrecenta en piedras porosas y en situaciones edilicias de gran exposición.

LESIÓN	TIPOS
Pátinas	Pátinas de envejecimiento Pátinas de decoloración Pátinas cromática Pátinas biótica Pátinas de tinción Pátinas negra o de suciedad (enmugrecimiento)
Eflorescencias	Subeflorescencias Criptoeflorescencias
Depósitos superficiales	
Alveolizaciones	
Escamas	
Costras	Costras negras Costras bióticas
Ampollas	
Descamaciones y esplacaciones	
Disgregación o desagregación	Arenización o disgregación granular Pulverización o disgregación pulverulenta
Picaduras	
Acanaladuras	Estriaduras Vermiculaduras
Fisuras	Rango que va de las microfisuras hasta las grietas
Erosión	
Otras formas	Excoriaciones/manchas/ desconchaduras

TIPOS DE LESIONES MÁS HABITUALES EN LOS ELEMENTOS DE PIEDRA

ESCAMAS: son películas o láminas superficiales. Se caracterizan por tener un espesor de alrededor de un milímetro. Las escamas pueden llegar a desprenderse fácilmente de las superficies pétreas. Este proceso constituye la alteración denominada ***DESCAMACIÓN***. A través del tiempo las escamas pueden devenir en ***COSTRAS***.

COSTRAS: son láminas o cortezas compactas de material que se forman en la parte externa de las piedras. Son el resultado de una transformación superficial por la influencia de aportes exógenos.

La naturaleza químico-mineralógica de las costras y sus características físicas son parcial o totalmente distintas de las del sustrato rocoso sobre el que se asientan.

En general, las costras se desarrollan en capas y pueden llegar a alcanzar varios milímetros de espesor. Se las identifica con relativa sencillez debido a que tienen rasgos morfológicos particulares.

Forman parte del estrato superficial, a veces con forma de caparazón o incrustaciones; presentan mayor dureza respecto al material rocoso alterado y muestran un color oscuro. El color que las caracteriza es generalmente negro o gris, ya que contiene productos carbonosos de contaminación.

COSTRAS NEGRAS: presentan partículas sólidas de contaminación. Estas partículas sólidas están mayoritariamente producidas por diversos procesos de combustión, como ser calefacciones, motores de vehículos, fuentes generadoras de energía (las centrales térmicas) o procesos industriales de todo tipo.

Esta forma de alteración suele evolucionar a través del tiempo, espesándose y hasta desprendiéndose del sustrato, lo que provoca que se generen otras alteraciones como las ***AMPOLLAS***, las ***DESCONCHADURAS*** y las ***DISGREGACIONES***.

Otro tipo de costras son las de origen biológico, llamadas:

COSTRAS BIÓTICAS: Estas costras están generadas por la acción de diferentes organismos, como ser líquenes, algas y musgos. A través de los productos metabólicos de estos seres se desarrollan o acentúan distintas alteraciones. Especialmente importantes en esta clase de costras es la acción de los líquenes endolíticos, porque estos líquenes pueden llegar a generar graves lesiones actuando desde el interior de la roca, incluso sin manifestación exterior.

AMPOLLAS: son costras y escamas abombadas y ahuecadas. Las ampollas también pueden eclosionar y despegarse de la superficie de las rocas. Este proceso posibilita que se generen ***descamaciones*** y que quede al descubierto una superficie pétrea disgregada, que cuando la rotura es reciente presenta un color blanco intenso.

DESCAMACIONES y ***DESPLACACIONES*** : son dos formas de alteración que presentan cierta relación mutua.

La descamación es el levantamiento y separación de las escamas formadas en la superficie de las piedras.





Dos casos similares de erosión mecánica. A la izquierda debido al rozamiento de carros y transeúntes y a la derecha por el uso natural de la escalinata.

Si este fenómeno de descamación tiene lugar en una escala mayor y lo que se desprenden son superficies de roca grandes (de varios milímetros de espesor), la alteración se denomina desplacación y las partes que se han desprendido se denominan placas. Las placas son lajas compactas, de cierta extensión y espesor uniforme aunque variable.

La desplacación se realiza de forma paralela a los planos estructurales o de debilidad mecánica de la roca. Los procesos de descamación y de desplacación se relacionan con diferentes mecanismos, tales como los cambios de temperatura y humedad y la cristalización de sales solubles.

DISGREGACIÓN o ***DESAGREGACIÓN:*** es una alteración física que implica desprendimientos de material rocoso. Estos procesos ocurren cuando existe una pérdida de coherencia –o ***DESCOHESIÓN***– entre los componentes elementales de las piedras.

Al necesitar que los componentes se encuentren descohesionados para producirse, la desagregación tiene lugar de manera natural, o bajo un mínimo esfuerzo.

Las disgregaciones se distinguen morfológicamente de manera fácil por las áreas de color más claro que se pueden ver en la superficie de la piedra y por la retracción evidente que se observa respecto al nivel y volumen original de la superficie externa de las piedras. Siempre que existen procesos de disgregación, el grado de alteración del material pétreo es muy elevado.

Según el tamaño de los elementos petrográficos desprendidos se puede hacer una distinción entre dos tipos de disgregaciones:

- ***DISGREGACIÓN GRANULAR O ARENIZACIÓN***. Se produce cuando los granos son del tamaño de la arena.

- ***DISGREGACIÓN PULVERULENTA O PULVERIZACIÓN***. Se produce cuando el tamaño de grano es más fino que la arena.

PICADURAS: son pequeñas cavidades u orificios formados en las piedras. El origen de las picaduras se encuentra en los procesos de erosión o de corrosión puntiforme. Se las conoce también como ***PICOTEADO***.

En general, las picaduras se forman a partir de pequeñas secciones de material más alterables que el resto. También por ***MICROKARST*** o ***DISOLUCIÓN KÁRSTICA*** en materiales calcáreos.

ACANALADURAS: son cavidades o excavaciones que otorgan a los materiales pétreos un aspecto acanalado u ondulado. Si existe presencia de heterogeneidades en las rocas –como ser diferencia de estratificaciones o bandeados– la aparición de acanaladuras se ve muy favorecida. Estas alteraciones son más profundas cuanto más cuantiosas sean las aguas de lluvia que reciben las piedras de la construcción.

ESTRIADURA: se llama así a las excavaciones o acanaladuras largas y delgadas, con forma de estrías o rasgaduras. En cambio, si éstas tienen forma de pistas de gusanos, es decir que son finas y sinuosas, reciben el nombre de ***VERMICULADURAS***.

FISURAS: son discontinuidades planares, hendiduras o fracturas de dimensiones variables. Pueden tener un rango que va desde las ***MICROFISURAS*** hasta las ***GRIETAS***. El origen de este tipo de daño es diverso.

La gravedad de esta forma de alteración dependerá del origen de la misma y del tamaño y localización que presenten.

Las fisuras pueden ser inherentes a la roca (los pelos de la cantería), pueden ser generadas por esfuerzos mecánicos, estar debidas a procesos de puesta en obra y colocación (como ser sobrecargas, asentamientos defectuosos de sillares, etc.), originadas por corrosión de elementos metálicos en contacto con la piedra o estar ocasionadas por los diversos ciclos hidrotérmicos.

EROSIÓN: es la abrasión o el desgaste que se produce en los materiales pétreos y que comportan una pérdida de volumen y una desaparición de las formas originales que presentaban las piedras de la construcción originalmente.

El principal agente de la erosión es el viento, combinado con el paso del tiempo, el agua y otros agentes medio-ambientales.

Los efectos erosionantes provocan incidencias de desgaste mecánico sobre la superficie de la roca. La erosión es una categoría que engloba alteraciones mencionadas anteriormente, como las picaduras, la disgregación y la arenización.

Además de las mencionadas anteriormente, se pueden mencionar otros tipos de alteración, que suelen producirse sobre la superficie de las piedras.

Estos son las ***EXCORIACIONES***, el ***BURILADO***, las ***DESCONCHADURAS***, las ***MANCHAS*** o ***MOTEADOS*** y las ***ZONAS DE LAVADO***.

CAUSAS DE ALTERACIÓN

El estudio y conocimiento de las causas de alteración y destrucción de las piedras es fundamental, ya sea para poder escoger las piedras de la manera más adecuada en una obra constructiva, ya sea para decidir acerca de su disposición en la obra y también para llevar a buen término un trabajo de restauración, limpieza o consolidación de los materiales rocosos.

En términos generales, se pueden nombrar como agentes agresores de los materiales pétreos:

- **AGUA**
- **SALES SOLUBLES**
- **ORGANISMOS VIVOS**
- **CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**.

Por otro lado, y en combinación con estos agentes, las piedras pueden sufrir degradaciones debidas a sus características inherentes o a los distintos sistemas de extracción y colocación.

Cada uno de los agentes de alteración se comportará diferencialmente según los diferentes contextos. Las causas de alteración se pueden agrupar en cinco instancias, según:

- **CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL.**
- **FACTORES QUÍMICO-AMBIENTALES**
- **FACTORES FÍSICO-AMBIENTALES**
- **FACTORES BIOLÓGICOS**
- **PROBLEMAS DE EXTRACCIÓN Y COLOCACIÓN**

En general, se considera al agua como el peor enemigo de los materiales pétreos. Es cierto que el agua juega un papel en ocasiones definitivo en la actuación de los procesos químicos y de algunos procesos físicos y biológicos, pero es importante saber que el agua pura es casi inofensiva para las piedras.

Sin embargo, el agua, también es el vehículo que transporta la mayor parte de los agentes destructivos (o bien colabora activamente con ellos).

Si las piedras pudieran ser mantenidas completamente secas a través del tiempo, la mayoría de las causas de alteración serían eliminadas.

Evidentemente, no se ha encontrado todavía una forma de garantizar una protección total de las piedras contra el agua sin alterar su apariencia.

ALTERACIONES DEBIDAS A LAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL

Los factores intrínsecos que afectan la durabilidad de los materiales rocosos dependen de las características petrográficas de las piedras, es decir, de la mineralogía, la textura y la composición química de estos materiales.

Asimismo, la durabilidad también se encuentra condicionada por ciertas propiedades físicas que presentan las piedras, entre las que se deben destacar la porosidad y configuración del sistema poroso, la superficie específica y las propiedades hídricas, que están relacionadas con el movimiento de fluidos al interior del material.

Las degradaciones intrínsecas se relacionan con una cantidad de reacciones endógenas que experimentan los distintos minerales de los que se componen las rocas. Las reacciones mencionadas pueden ser de carácter químico o petrográfico y se pueden verificar sin excepción, con el paso del tiempo.

Es decir, que si bien se considera en general a las piedras como un material perdurable, éstas están también sujetas al proceso evolutivo, lo que quiere decir que tras un período de eficacia, culminarán en un estado de desintegración.

Dentro de los factores intrínsecos de alteración de los materiales pétreos, se pueden mencionar a las degradaciones producidas por:

- ***COMPUESTOS DE ÓXIDO DE HIERRO***
- ***COMPUESTOS PIRITOSOS***
- **PROCESOS DE *CAOLINIZACIÓN Y CLORITIZACIÓN***

DEGRADACIONES INTERNAS POR COMPUESTOS DE ÓXIDO DE HIERRO. En general, en el seno de los mármoles, piedras calizas y con frecuencia en areniscas y pizarras se pueden encontrar componentes de óxido de hierro.

Al tener una preferencia por la humedad del medio ambiente, se transforman en un mineral denominado goetita –Fe(OOH)– que es un óxido de hierro hidratado.

Lo que se observa es un proceso de aumento de volumen, que puede llegar a generar fisuras y grietas, localizadas en el mismo lugar del asentamiento de los compuestos ferruginosos. Esta topoquímica o acción puntual incrementa la degradación de material.

La goetita tiene una composición de gel que retiene el agua absorbida, lo que le permite un desplazamiento no muy rápido a través del sistema de poros de la piedra.

De esta manera, el resultado son zonas de tonos rojizos separados de los núcleos originales del hierro, con formas arbitrarias.

DEGRADACIONES INTERNAS POR COMPUESTOS PIRITOSOS. En lugares muy puntuales y localizados de las areniscas, calizas, mármoles, pizarras y muy raramente en los granitos, es donde se pueden encontrar a las piritas o sulfuros de hierro.



Esta columna de mármol erosión está sufriendo una descamación producto de una erosión química propia de muchos centros urbanos.

Cuando se expone a estos minerales al medio ambiente experimentan un proceso de oxidación e hidratación, con la consiguiente formación de óxido de hierro y ácido sulfúrico.

El resultado de esta reacción es un aumento considerable de volumen por oxidación de hierro, formación de "orín" y alteraciones de tonalidad que viran a colores ocres o rojizos.

Si se trata de calizas y mármoles, este tipo de ácido provoca acciones agresivas de consideración. En las piedras areniscas ataca con preferencia a las matrices carbonatadas y las pizarras resultan en una disgregación total.

Con el tiempo, el óxido de hierro evoluciona, capta humedad del ambiente y se convierte en el óxido de hierro hidratado mencionado anteriormente: goetita.

DEGRADACIONES INTERNAS POR CAOLINIZACIÓN Y CLORITIZACIÓN (REACCIONES DE HIDRÓLISIS). Estos procesos de degradación suceden en aquellas rocas que están compuestas por feldespato y micas, especialmente las de tipo granítico.

También se pueden observar estos procesos de alteración en las rocas areniscas que contienen feldespatos o en las rocas pizarras con altas contenidos de micas (micacitas).

Gracias a la acción de los compuestos ácidos que se encuentran en la atmósfera, el proceso de caolinización disgrega a los feldespatos y los fragmenta en partículas pequeñas, lo que se conoce como ***ARENIZACIÓN DE LOS GRANITOS***.

Si los feldespatos contienen hierro se obtienen arcillas de colores rojizos, pero si solamente contienen aluminio se verán arcillas blancas denominadas ***CAOLÍN***.

El proceso de cloritización solamente afecta a las micas, que liberan óxido de hierro de forma lenta hasta que se transforma en goetita, compuesto citado con anterioridad.

ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES QUÍMICO-AMBIENTALES

El agua es un agente de alteración de los materiales rocosos fundamental. La fuerza que ejerce se basa en su poder de ***DISOLUCIÓN***.

La resistencia de todo material pétreo resulta afectada cuando partes de su estructura se disuelven.

Debido a que muchos materiales son heterogéneos, las partículas de la superficie no tienen la misma solubilidad.

Entonces, el agua penetra en diferentes puntos hasta distintas profundidades, lo que resulta en superficies que se hacen paulatinamente desiguales y cada vez más corroídas.

Una vez que las partículas más solubles son eliminadas por disolución, los salientes que quedan en la superficie desigual pierden estabilidad y cohesión, destruyéndose a lo largo del tiempo.

Pero la capacidad de disolución del agua se intensifica porque casi siempre tiene adiciones de carácter ácido. Los gases ácidos contribuyen con la reacción del material, siendo especialmente importante en las rocas carbonatadas.

Estas adiciones ácidas se encuentran en el aire en forma de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, etcétera., compuestos ácidos que se incrementan en áreas poluidas.

En las zonas industriales y urbanas, los procesos de alteraciones de las piedras están estrechamente relacionados con la contaminación atmosférica.

A mediados del siglo XX, se agudizó un proceso en gran medida universal: las migraciones de las áreas rurales, originando y acentuando las grandes concentraciones urbanas alrededor de los diversos polos industriales y administrativos.

Este hecho provocó que aumentaran drásticamente las necesidades de movilidad y el consumo energético. Desde ese momento se ve cada vez más incrementada la cantidad de óxidos del carbono, azufre, nitrógeno en el aire, como también aumenta la presencia de aerosoles que modifican la composición porcentual de lo que se puede denominar “aire puro”.

Es de esta manera que la mayoría de los contaminantes presentes en el aire tienen su origen en la combustión de combustibles fósiles, tales como el carbón, el petróleo y el gas natural.

Por otro lado, los depósitos de materias en forma de partículas actúan ennegreciendo las piedras, favoreciendo la oxidación del dióxido de azufre a sulfato y el posterior ataque químico de éste a la piedra.

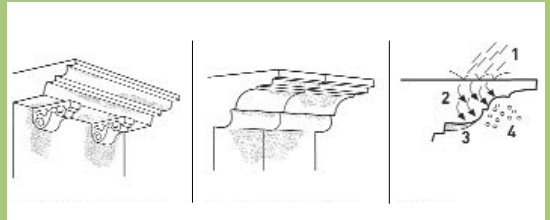
La acción de los contaminantes se puede relacionar con la deposición de gases ácidos y de material en forma de partículas, sobre la superficie de las piedras.

Se pueden considerar como algunos de los contaminantes atmosféricos más importantes a los compuestos de azufre y de nitrógeno, a los óxidos de carbono, a los cloruros y fluoruros, a los compuestos orgánicos volátiles y a las partículas sólidas.

Los gases anteriormente mencionados ascienden hasta las capas más altas de la atmósfera y allí reaccionan liberando compuestos de peso específico más alto que el del aire.

Luego descienden disueltos en el agua de lluvia, como ácidos que se depositan en las plantas y en las construcciones. Este hecho desencadena diferentes acciones deteriorantes de los materiales pétreos.

De todas maneras, no hay que presuponer que la polución es el único responsable de todos los problemas que afectan a las piedras. Si esto fuera así no se podría explicar la degradación de los materiales pétreos ubicados en las zonas rurales, alejados de las fuentes de contaminación humana.



ennegrecimientos de las zonas protegidas	formación de costras	1. lluvia 2. aguas que disuelven sales 3. recristalización 4. evaporaciones

Costras y depósitos de suciedad.

Por ese motivo, los contaminantes atmosféricos también encuentran su origen en causas naturales, como son las emanaciones y las erupciones volcánicas, los incendios forestales y también la putrefacción de materia orgánica.

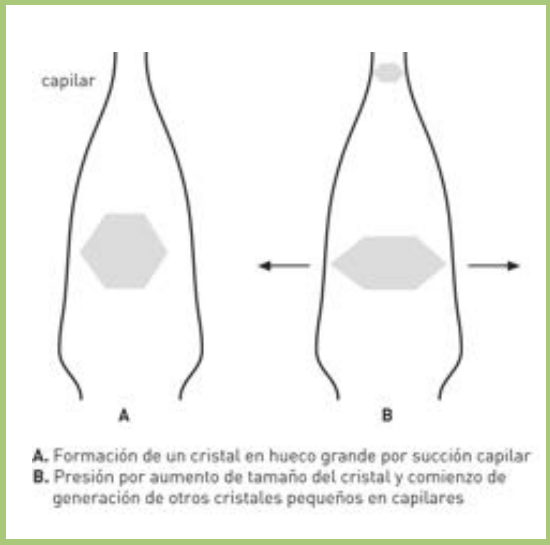
Las causas ambientales químicas que se consideran más importantes son las acciones de:

- ***ÓXIDOS DE AZUFRE***
- ***ÓXIDOS DE CARBONO***
- ***ÓXIDOS DE NITRÓGENO* Y DE *COMPUESTOS DE NITRÓGENO***
- ***CLORUROS Y FLUORUROS***
- ***COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES***
- ***PARTÍCULAS SÓLIDA***
- ***CRISTALIZACIÓN/HIDRATACIÓN DE SALES SOLUBLES***

ACCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE

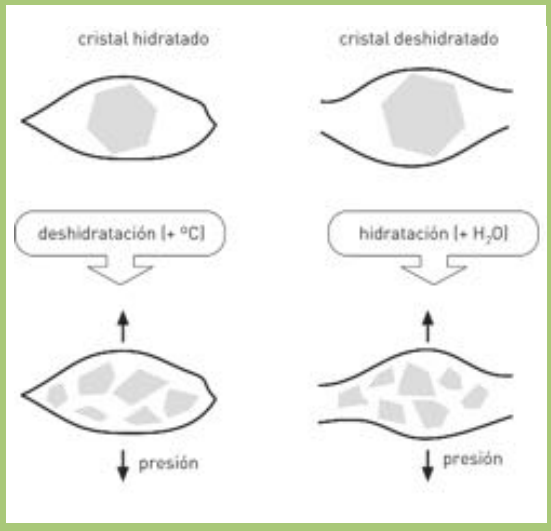
Este tipo de óxido procede en general de la combustión de productos que presentan compuestos de azufre, es decir, combustibles fósiles. Evidentemente, se encuentran mayor número de casos de degradación pétrea por acción de estos óxidos en las zonas urbanas e industriales. Este es uno de los factores que afecta con mayor profundidad a las piedras.

Una vez que el dióxido de azufre (SO_2) está en el aire se oxida rápidamente (SO_3) y así, combinado con la humedad presente en el ambiente, surgen una serie de sulfatos que alteran las piedras en forma muy contundente. Uno de estos sulfatos es el yeso.



A. Formación de un cristal en hueco grande por succión capilar
B. Presión por aumento de tamaño del cristal y comienzo de generación de otros cristales pequeños en capilares

Cristalización de sales solubles.



Acción de una criptoeflorescencia. La hidratación y deshidratación de las sales solubles contenidas en los capilares del material genera presiones que erosionan el mismo.



Arenización del material pétreo: una consecuencia de la hidratación de sales solubles depositadas o contenidas en la piedra.

Cuando se forma yeso se produce un incremento de volumen muy importante, que crea costras sulfatadas y favorece las ***DESCAMACIONES***, las ***DESPLACACIONES*** y otras formas de deterioro. Si el agua de lluvia limpia la superficie de las piedras atacadas, éstas permanecerán limpias, aunque manifestando una superficie áspera.

En el caso de las piedras que no pueden limpiarse con el agua de lluvia pero que se humedecen de una manera intermitente por la aportación de agua de cualquier otro origen, se formará una capa dura e impermeable de sulfato cálcico (yeso). La capa formada, eventualmente puede provocar la formación de ***AMPOLLAS*** o influir en la ***EXFOLIACIÓN*** de la superficie.

Algunas piedras arenosas son proclives a generar con facilidad en su parte exterior ***ESCAMAS*** y ***COSTRAS*** que, al tener sus poros tapados por el yeso, se desprenden en caras paralelas a la superficie original de la piedra.

Es principalmente a través de dos vías que se realiza la acción de dióxido de azufre en la piedra: la vía seca y la vía húmeda. En el caso de la vía de deposición seca, el dióxido de azufre llega a la superficie de la piedra en forma de gas.

Cuando contacta con el carbonato cálcico se produce una reacción que da origen al sulfito cálcico, que en presencia de catalizadores y agua se convertirá en sulfato cálcico (yeso).

El otro tipo de deposición, la vía húmeda, es la más común. Allí el dióxido de azufre se oxida en la atmósfera (se disuelve en las gotas de agua de nieblas y nubes) o en la misma superficie del material pétreo (durante la condensación de vapor de agua).

Ya sea que se trate de la vía húmeda o de la vía seca, el ataque a la roca se realiza a través del ácido sulfúrico diluido.

Un dato a tener en cuenta es que si la acción del ácido sulfúrico es evidente en las piedras que están constituidas por carbonatos, no es tan clara en las piedras arenosas formadas por cuarzos.

ACCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE CARBONO

El dióxido de carbono (CO_2) es un elemento que se encuentra siempre presente en la atmósfera y es uno de sus componentes naturales, aunque en pequeñas cantidades. Estas medidas se ven incrementadas notablemente en las áreas industriales y urbanas. Su concentración normal media es de 340 ppm, y ha llegado a crecer en los últimos decenios en áreas urbanas hasta un 0,3 %. El aumento es resultado, fundamentalmente, de la combustión de fósiles.

El monóxido de carbono (CO) no supone un grave peligro para las rocas, y la mayor parte de CO que existe en el aire se debe a causas naturales, como son las erupciones, las emanaciones volcánicas y las acciones de bacterias. El problema es que el CO se oxida normalmente a CO_2. Este gas, disuelto en el agua de lluvia, reacciona con los minerales que aparecen comúnmente en las piedras que son utilizadas para la construcción. Los efectos negativos del CO_2 se asocian con los materiales calcáreos, ya que en presencia de agua llegan a disolver a los carbonatos constituyentes de dichas piedras.

El dióxido de carbono disuelto ataca los feldespatos y otros silicatos, convirtiéndolos en minerales arcillos, mediante un proceso de meteorización, que se conoce con el nombre de ***CAOLINIZACIÓN***.

Además, y de manera mucho más activa, provoca la transformación de los carbonatos –que son poco solubles– en bicarbonatos, con características de solubilidad mucho más elevadas.

Estas acciones causan una desintegración superficial constante en algunas piedras eruptivas y, especialmente, en las piedras calcáreas y en las arenosas con cimiento calcáreo, cuando se ven expuestas a la lluvia. Se conoce este mecanismo como ***DISOLUCIÓN***. El *Bureau of Standards* de los Estados Unidos ha determinado que una calcárea colítica perdería 1 mm. en cien años y una piedra calcárea cristalina 0,3 mm. en el mismo tiempo. Si las piedras se encontraran en una atmósfera industrial, las pérdidas serían seguramente más pronunciadas.

ACCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO Y DE COMPUESTOS DE NITRÓGENO EN GENERAL

En épocas recientes, se comenzó a otorgar cada vez más importancia al papel destructivo de los óxidos de nitrógeno, presentes en las atmósferas contaminadas. Los óxidos de nitrógeno proceden, en su mayoría, de los fertilizantes nitrogenados y de los combustibles de los automóviles.

El NO_x puede generar depósitos en la superficie de las rocas. Es en la conversión fotoquímica de los NO_x en ácido nítrico donde se esconde el proceso más dañino para las piedras. Las piedras carbonatadas son muy sensibles a la acción de estos contaminantes carbonatados.

Por otro lado, en presencia de humedad el NO_x puede favorecer la oxidación del SO_2, que se ha mencionado en el apartado de óxidos de azufre. El amoníaco (NH_3), otro contaminante nitrogenado, ejerce de manera indirecta una acción destructiva sobre las rocas, ya que también favorece la oxidación del SO_2.

ACCIÓN DE CLORUROS Y FLUORUROS

La naturaleza es la fuente de los productos clorurados que se encuentran en la atmósfera. Surgen de los mares, de los volcanes, de los desiertos; pero también gracias a la actividad humana. Los hombres, con sus plantas de fabricación de HCl, de elaboración de plásticos y papel con cloro potencias el incremento de los productos clorurados en el medio ambiente.

La acción de estos químicos se puede ver cuando, a través del ácido clorhídrico, atacan a las piedras calizas, a los mármoles y a las areniscas con cemento calcáreo. El ácido clorhídrico actúa disolviendo el material carbonatado y formando sales higroscópicas que favorecen importantes deterioros.

Entre los deterioros que produce están la ***ALVEOLIZACIÓN*** y la ***DESAGREGACIÓN ARENOSA***.

Los compuestos con presencia de fluoruro tienen una fuerte acción agresora, pero no es tan importante su presencia cuantitativa en la atmósfera.

De esta manera, su acción sobre las piedras es relativamente escasa. Los compuestos fluorados provienen, en general, de actividades industriales como la fabricación de fertilizantes, de acero, aluminio, vidrio, etc. El F_2, al ser altamente reactivo, se convierte de manera fácil en HF.

Éste ataca a las piedras calizas y genera fluoruro cálcico, que tiene menor volumen que la calcita, con lo que tiende a aumentar la porosidad del material. Las rocas silíceas también se ven afectadas, lo que origina nuevas fases minerales.

ACCIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

La mayoría de los compuestos orgánicos volátiles provienen de combustibles utilizados por los medios de transporte y locomoción, especialmente los hidrocarburos de diferentes tipos, como los alkanos, alquenos y aromáticos.

Evidentemente, existe mayor presencia de compuestos orgánicos volátiles en las áreas urbanas e industrializadas. La acción de los compuestos orgánicos volátiles sobre las piedras contribuye a su ennegrecimiento y a la formación de ***COSTRAS*** y de ***PÁTINAS NEGRAS***.

ACCIÓN DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

El polvo, las cenizas volantes, el hollín, los aerosoles salinos, se encuentran en el aire como partículas sólidas y en diferentes concentraciones. Su tamaño es variable y pueden oscilar entre los 0,001 a 100 micras de diámetro.

Presentan formas muy diversas, ya que pueden ser esféricas, huecas, macizas, horadadas, irregulares. Asimismo, la composición de las partículas sólidas incluye partículas metálicas, partículas carbonosas, partículas sulfuradas y partículas carbonatadas.

Cuando este material se sedimenta sobre la superficie de las piedras, contribuye en su ***ENSUCIAMIENTO***.

Además, y gracias a su gran superficie específica, tiende a aumentar la humedad de los materiales rocosos. Esta acción se da cuando las partículas absorben vapor de agua atmosférico, facilitando reacciones de las piedras con los contaminantes, por su efecto catalizador en la oxidación del dióxido de azufre a sulfato.

La medida del ennegrecimiento que la sedimentación de este material particulado genera está determinada por la variación de reflectancia de la superficie. La porosidad y la rugosidad superficial son dos de las características de la superficie del material rocoso que favorecen el depósito de partículas.

Las piedras generan, por la acción de la contaminación, una serie de productos secundarios, cuyo resultado más frecuente son las sales solubles. Las sales solubles más importantes son los sulfatos, nitratos y cloruros.

ACCIÓN DE LA CRISTALIZACIÓN / HIDRATACIÓN DE SALES SOLUBLES

La cristalización de las sales solubles es el proceso más importante en lo que refiere a alteraciones de material rocoso. La intensidad del daño que causan las sales solubles a las piedras es variable y depende tanto de las características de la sal como de las condiciones ambientales que controlan los mecanismos de disolución y precipitación.

Las sales solubles pueden tener diversas procedencias. Su fuente más común es la externa: el suelo, los materiales de construcción, los aerosoles atmosféricos o marinos. Se esquematiza normalmente el origen de las sales solubles de la siguiente manera:

- **EN UN AMBIENTE CONTAMINADO, UNA ATMÓSFERA ÁCIDA PUEDE ATACAR A LA PIEDRA**. Así, los carbonatos de calcio se transformarán en yeso en las rocas carbonatadas. Los feldespatos hidrolizados en ese medio ácido liberarán álcalis y calcio que junto con los iones sulfato producen sales solubles.

- **LA PIEDRA PUEDE TENER ORIGINALMENTE UN CONTENIDO DE SALES SOLUBLES**. Esa composición se relaciona con la cantera de donde se extraen los materiales pétreos, que pueden albergar yacimientos salinos.

- **LOS MATERIALES UTILIZADOS EN RESTAURACIONES ANTERIORES Y EN LA CONFECCIÓN DE MORTEROS PUEDEN SER PORTADORES DE CONTENIDO EN SALES SOLUBLES** (especialmente importante es el cemento de Pórtland). Si los tratamientos de restauración no fueron lo suficientemente cuidadosos, pueden aportar compuestos de sales solubles. Los tratamientos que las generan son las limpiezas ácidas o alcalinas, los detergentes iónicos, ciertos consolidantes e hidrofugantes, etc.

- **EL AGUA ARRASTRA SALES SOLUBLES CUANDO ASCIENDE POR CAPILARIDAD DESDE EL SUELO**. Estas sales proceden de los abonos, de los ácidos húmicos, de los tratamientos contra plagas, de las salmueras antihielo, de la orina o de los excrementos.

- **LOS ESTUCOS ANTIGUOS** pueden aportar yeso, y las **ARGAMASAS** que fueron realizadas con cales magnesianas pueden aportar magnesio, que junto a los contaminantes producen sales solubles.

La presencia de las sales en las piedras, ya sean de origen en la cantera o debida a su incorporación durante el transporte hasta el taller, es casi inevitable.

Además, esta presencia es difícilmente detectable a ojo y sin la ayuda de análisis químicos. Las sales que se encuentran en la arena y en los aglomerantes de mortero son más fáciles de controlar, ya que aparecen en la superficie de las piedras que están unidas por esos morteros.

Pero sea cual sea su origen, las sales solubles que están disueltas en la humedad que se encuentra en el sistema poroso de la piedra se cristalizan mediante el proceso de evaporación del agua. La evaporación se suele producir desde la superficie de la piedra hacia el interior de la misma. Si la temperatura es baja, la evaporación tiene lugar en la superficie de las piedras y los depósitos cristalizados toman la forma de ***EFLORESCENCIAS***, ***COSTRAS*** y/o ***PÁTINAS***, según la naturaleza de las sales.



El viento, el agua y el hielo se han combinado intermitentemente para erosionar este muro de piedras. Las partes bajas y altas siempre son las más castigadas por los agentes atmosféricos.

Si la temperatura es más alta, la evaporación es más rápida y comienza por debajo de la superficie de la piedra. Las sales se depositan en el interior en forma de ***SUBEFLORESCENCIAS***.

Estas subeflorescencias, al principio, se encuentran hidratadas. Pero en determinadas condiciones de temperatura y humedad se pueden transformar en anhídridos que, al encontrase con un nuevo incremento de la humedad ambiental, incorporan moléculas de agua al circuito, con la consecuente expansión volumétrica y presión sobre las paredes de los poros.

Por otro lado, como resultado de la cristalización, los poros finos se tapan y los gruesos quedan obstruidos parcialmente. El resultado de este proceso provoca un incremento de la compacidad de la superficie de la piedra, formando una ***COSTRA*** endurecida.

La zona inmediata, más interna, al haber perdido las sales que se han disuelto, se vuelve más débil y presenta una consistencia arenosa que favorece el desprendimiento de la capa exterior en forma de costra.

Este tipo de costra posee aristas vivas, copia la forma de la superficie y presenta fractura concoidal que ofrece mayor grosor en el centro que en los bordes.

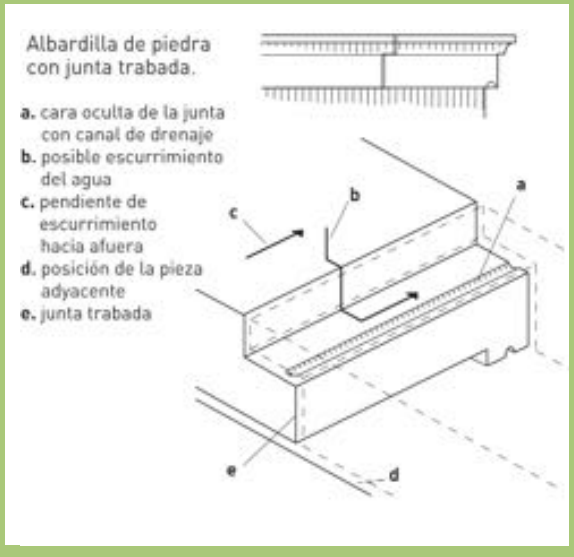
Existe otro proceso que merece ser mencionado. Si las sales se mueven al exterior constantemente y el sentido del fluir del agua es único (de adentro hacia fuera) y las sales son poco solubles y la lluvia no limpia muy seguido la superficie, entonces se forma una capa resistente y bien adherida, que se conoce con el nombre genérico de ***COSTRA EXTERNA***.

Esta capa contiene, más allá de las sustancias disueltas de la piedra, muchas otras sustancias que fueron depositadas por el aire. De hecho, incluye carbonatos, sulfatos, cenizas carbonosas y, a veces, silicio.

Esta costra externa puede ser blanca o gris en zonas rurales o pueblos alejados, pero en las grandes ciudades y en las zonas industriales es negra como resultado del hollín del aire contaminado.



El devastador efecto del ciclo hielo-deshielo en una pieza.



Recorrido del agua de lluvia entre bloques de piedra.

Las sales más peligrosas y destructivas son los sulfatos, sobre todo los de sodio y magnesio. El yeso puede formar costras endurecidas en la superficie de los materiales pétreos y admite varios estados de hidratación.

La acción de los cloruros es predominantemente química, y por ser higroscópicos son muy móviles. El efecto suele ser la ***ALVEOLIZACIÓN*** y la ***ARENIZACIÓN*** de la piedra.

En la costa, se suma el hecho de que los cloruros pueden proceder de aerosoles marinos.

Además de la cristalización e hidratación de sales solubles, existen otros mecanismos que deterioran las piedras, como los cambios estructurales en la sal.

ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES FÍSICO-AMBIENTALES

Las agresiones ambientales-físicas están representadas fundamentalmente por cuatro tipos de agresores o mecanismos de agresión: el ***HIELO***, el ***VIENTO***, las ***VIBRACIONES*** y la ***TEMPERATURA***.

Estos agentes mencionados pueden actuar de manera independiente, aunque en general lo hacen de forma combinada, lo que incrementa aún más su poder destructivo.

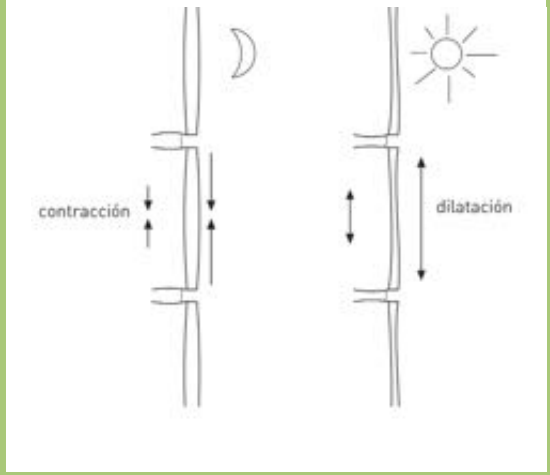
Si bien la piedra es uno de los elementos constructivos considerado como más durable, no es indiferente a la acción de factores ambientales que la va desgastando o quebrando lentamente.

Cada uno de los agentes de agresión física, actúa además en relación con las características propias de la piedra, es decir, con su conformación mineral, textural, química y con sus propiedades físicas particulares. Entonces, este apartado se refiere a diferentes acciones que son resultado de las siguientes actividades:

- **CICLOS DE HIELO Y DESHIELO**
- **CICLOS DE CAMBIOS DE TEMPERATURA**
- **LOS VIENTOS**
- **LAS VIBRACIONES**

ACCIONES PRODUCIDAS POR LOS CICLOS DEL HIELO

El hielo es un agente de agresión física para los materiales rocosos muy importante. La transformación total o parcial en hielo del agua contenida en el interior de poros y fisuras de las piedras, implica un incremento de volumen notable. El volumen específico del hielo (el espacio que ocupa por unidad de masa) a 0 ºC es de 1,089; lo que implica un incremento de volumen del 9 %.



Diferencia térmica entre el paramento exterior y el interior del muro. Esto genera desprendimientos si el material de revestimiento no está bien aplicado o si el material que constituye el muro no es de calidad.

Este incremento de volumen que experimenta el agua al helarse origina tensiones y presiones internas en las paredes y poros de las piedras.

Esas presiones llegan a unos 500 kg/cm², si la congelación es brusca a -5 ºC, y van acompañadas de alargamientos longitudinales del orden de los 0,3 mm/m, por lo que son superiores a los alargamientos de rotura de las rocas que son del orden de los 0,2 mm/m.

Los daños que provienen de este fenómeno tienen mayor o menor importancia según el clima. Simultáneamente, son más intensos cuanto más frecuentes son las oscilaciones térmicas respecto de los 0 ºC.

Las temperaturas que se mantienen por sobre los 0 ºC durante varios días producen, por lo tanto, el mismo efecto que una helada corta. Esta acción puede llegar a ser bastante intensa en aquellos climas fríos que presentan frecuentes heladas nocturnas, especialmente si el clima es también húmedo.

Los daños que produce el fenómeno de congelación se relacionan directamente con el tamaño del diámetro de los poros.

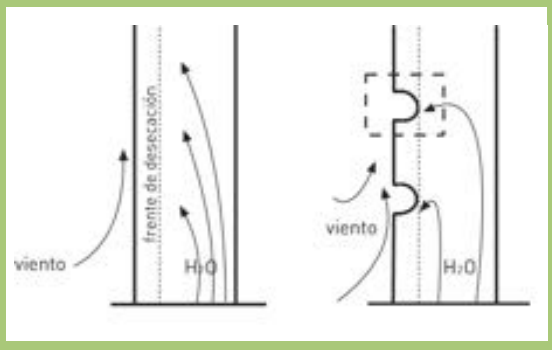
Esto justifica que estructuras de poros grandes no resulten afectadas por la congelación del agua en el interior de ellos y que, por otro lado, estructuras menos porosas pero de menor diámetro de poros sí resulten afectadas.

Esto es así debido a que la acción destructora del hielo se manifiesta sólo en el caso de que el incremento del volumen del agua al congelarse no encuentre suficiente espacio.

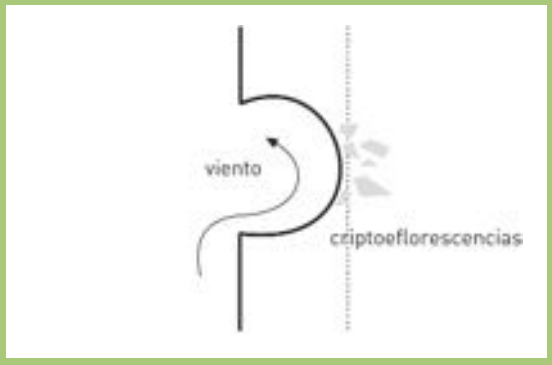
Es decir, el hielo es dañino cuando todos los poros de la zona afectada se encuentran llenos hasta el 9/10 de su volumen. Así, las piedras se pueden calificar en “heladizas” (cuando su coeficiente de saturación es superior a 0,9), “poco seguras” (cuando su coeficiente de saturación se encuentra entre 0,8 y 0,9) y “no heladizas” (cuando su coeficiente de saturación es inferior a 0,8).



Erosión eólica notoria sobre las hiladas superiores de este muro de piedra. Si el viento suele arrastrar muchas partículas, como ser arena, el desgaste se produce más rápido.



Erosión fisicoquímica del material.
Formación de alvéolos por cristalización de sales y la acción del viento. Este proceso se acelera dramáticamente cuanta más agua absorba el material y los vientos sean conatantes.



Existen estudios que concluyen que la resistencia al hielo depende de la cantidad de agua susceptible de helarse, pero también de la estructura de la red capilar y de la distribución, dimensiones y formas de los poros que son constitutivos del material pétreo.

La ***HELADICIDAD*** o vulnerabilidad de la piedra al hielo está en relación constante con el tamaño de los poros y con el grado de conexión y continuidad de los mismos, es decir, con su tortuosidad.

El mecanismo se podría describir como sigue: los cristales comienzan a desarrollarse en los poros de mayor tamaño y en las fracturas de la piedra.

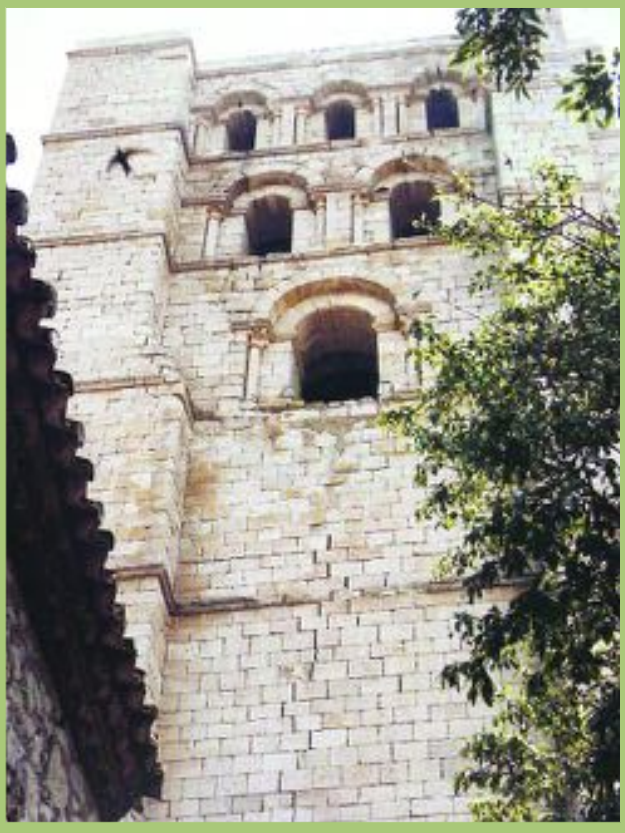
Durante este proceso se alimentan por succión capilar a partir de agua que se encuentra contenida en los capilares que los comunican. Cuando se han llenado estos espacios, y si aún queda líquido, la congelación precedente crea la presión necesaria para la formación de cristales de hielo en los huecos pequeños.

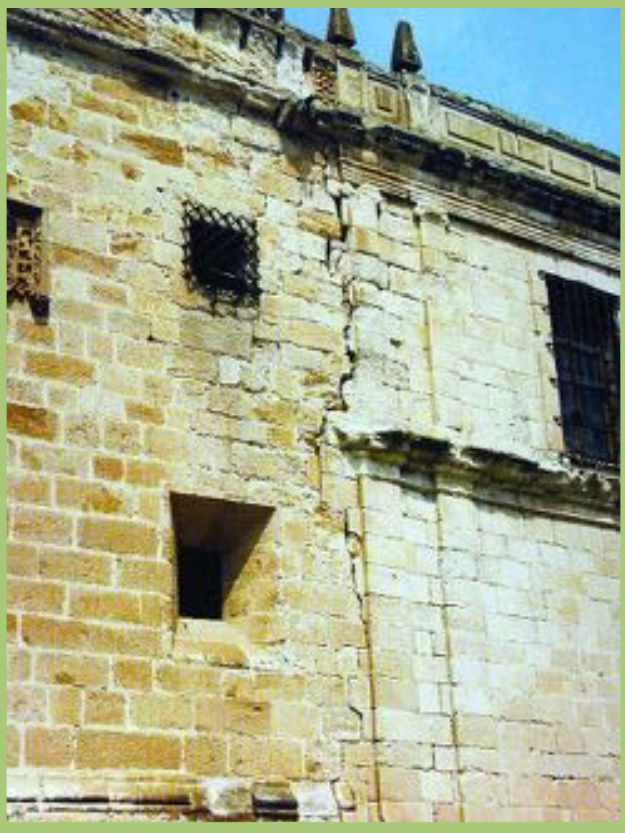
Este mecanismo es independiente del incremento de volumen concomitante a la congelación.

Para que los efectos del hielo se vean de forma notoria, la porosidad de la piedra debe ser importante, por ejemplo, superior al 5 %.

ACCIONES PRODUCIDAS POR TENSIONES DEBIDAS A CAMBIOS TÉRMICOS

Los materiales pétreos poseen gran inercia y conductividad térmica. Estas características provocan que, en situaciones de gran amplitud térmica, las piedras sufran tensiones diferenciales entre la superficie y el núcleo. Las tensiones internas resultantes son capaces de producir ***MICROFISURAS*** y ***DESCOHESIONES*** en el material rocoso.





Al ser la piedra un material muy duro, en el caso de asientos diferenciales, son las juntas, la mayoría de las veces, las que absorben el movimiento.

La materialización de los cambios térmicos se da en acciones mecánicas de cambios de volumen. Esos cambios son consecuencia de las dilataciones y las contracciones del material que se expone a cambios de temperaturas. Los movimientos cíclicos de estos cambios de temperatura pueden llegar a originar roturas en las rocas.

Un segundo mecanismo producido por las variaciones térmicas es el que provocan los carbonatos, el componente fundamental de las piedras calizas y calcarenitas. Los carbonatos son fuertemente anisótropos, y esto resulta en coeficientes de dilatación térmica diferentes según la orientación.

Los dos mecanismos en combinación se ven claramente en las construcciones que combinan lugares sombreados y soleados, así como entre las capas profundas y las superficiales.

La razón es que se producen diferentes movimientos térmicos entre unas y otras zonas como consecuencia de dilataciones diferenciales.

Aparecen así tensiones por movimientos diferenciales entre la superficie y el interior, que pueden llegar a resultar en rotura, cuando se separa la capa superficial del resto e iniciándose un proceso de ***ARENIZACIÓN*** de la piedra.

Sin embargo, con excepción de los climas tropicales y desérticos, la acción de la temperatura es fundamentalmente indirecta, ya que modifica la humedad contenida en los poros de las rocas y la solubilidad de las sales y los gases, lo que acelera las reacciones químicas y facilita la hidrólisis. Las acciones de los cambios bruscos de temperatura también se pueden ver en los edificios incendiados.

De todas maneras, las piedras son muy estables frente a las variaciones lentas de la temperatura. Los diferentes coeficientes de dilación de sus materiales constitutivos son, generalmente, muy pequeños.

Sin embargo, después de producirse una expansión fuerte (por ejemplo un incendio), no se produce una contracción equivalente, por lo que queda una deformación permanente que puede provocar, de no haber juntas de dilatación suficientes, curvaturas y torcimientos de placas.

ACCIONES DE EROSIÓN DEBIDAS A PARTÍCULAS LLEVADAS POR EL VIENTO

La acción del viento es puramente mecánica. El viento puede llevar consigo partículas sólidas, que ejercen un impacto sobre las superficies rocosas, produciendo su ***EROSIÓN***, ***ABRASIÓN*** o ***DESGASTE***.

El efecto del impacto está en relación con la energía cinética de la partícula, que a su vez depende del tamaño y densidad de la misma, como también de su velocidad.

La incidencia de los vientos depende mucho de la situación de la piedra, es decir, de cuán protegida esté por defensas naturales (como los árboles) o artificiales (por ejemplo, construcciones aledañas).

Los efectos del viento considerados más importantes son: ***PULIMENTO*** de la piedra, ***ABRASIÓN*** de la parte inferior de las edificaciones, producción y agrandamiento de ***ALVÉOLOS*** (ya que se forman en ellos remolinos con material abrasivo en suspensión) y, por último, destrucción por ***COMBINACIÓN CON SALES SOLUBLES***.

Este último punto es importante ya que el viento influye en la cristalización de sales al aumentar la velocidad de evaporación del agua capilar, eliminándose el agua de la superficie. El viento mismo puede servir de transporte a estas sales.

ACCIÓN DE LAS VIBRACIONES

Las vibraciones que afectan a las piedras pueden ser naturales, como son los sismos, los terremotos, etc. opueden ser provocadas por el hombre como las vibraciones debidas al tráfico.

La forma en que las vibraciones pueden afectar a una edificación depende de las características de estas vibraciones (amplitud y frecuencia) y de las características de la edificación (densidad de los materiales, forma y tipo de construcción).

Evidentemente, las vibraciones provocadas por causas naturales como los sismos y los terremotos, son las más destructivas.

Las vibraciones que produce el tráfico suelen ser en general de baja intensidad.

Pero son las irregularidades de la calzada por la que circula el tráfico lo que influye de manera decisiva en la acción que pueden tener las vibraciones en la alteración de las construcciones pétreas.

Cada objeto tiene unas frecuencias propias de la vibración, que dependerán de la masa del objeto y de su forma.

Si las frecuencias de vibración de las edificaciones coinciden con la frecuencia de vibración del tráfico –que en general son parecidas–, se producirá el fenómeno conocido como resonancia.

Este fenómeno consiste en que cada vez que el objeto oscila, la vibración original le produce un nuevo impulso, y esto dará lugar a la amplificación de la amplitud de la vibración original.

Al mismo tiempo, la naturaleza de los materiales amortigua o aumenta las vibraciones.

Mientras que el cemento de Pórtland transmite las vibraciones por ser un material rígido, los materiales elásticos (como pueden ser las argamasas de cal) tienen mucha capacidad de absorción de vibraciones.

El efecto producidopor las vibraciones pueden ser grietas que tengan forma de “x”.

ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES BIOLÓGICOS

La presencia de organismos vivos no supone, de por sí, un daño para la piedra. Sin embargo, existen determinados organismos que se asientan sobre los materiales rocosos y que juegan un papel importante en la alteración química y física de los mismos. A este daño se le conoce como ***BIODETERIORO***.

Entre los agentes bióticos de mayor importancia se pueden nombrar a las bacterias, a los hongos, a las algas, a los líquenes, a las briofitas, a las plantas superiores y a los animales. Las alteraciones de origen biológico se deben, entonces, a la acción de:

- **MICROORGANISMOS (HONGOS Y BACTERIAS)**
- **ALGAS Y MUSGOS**
- **LÍQUENES**
- **ÁRBOLES Y PLANTAS SUPERIORES**
- **ANIMALES**

ACCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS (HONGOS Y BACTERIAS)

En general, los hongos aparecen en la superficie de las piedras en forma de moho, de color gris o verde, negro o marrón. Con su presencia desfiguran los relieves y atacan a las piezas esculpidas. La existencia de hongos en las piedras es un indicador muy importante de un alto contenido de humedad.

Además, algunos hongos (junto con algunas bacterias) pueden generar ácidos orgánicos, de efectos lentos pero dañinos para el material pétreo.

La presencia de contaminantes atmosféricos, sumados a la humedad ambiental, pueden favorecer el crecimiento de distintos tipos de microorganismos sobre las rocas, lo que contribuye significativamente a su biodeterioro. El ciclo de vida de algunas bacterias conduce a la formación de ácidos.

Un ejemplo es el de los tiobacilos, que producen ácido sulfúrico a partir de sulfuros naturales en las rocas o de productos de contaminación. En general, el resultado de la producción de ácidos por parte de los microorganismos es la formación de sulfatos y ***COSTRAS NEGRAS***, de manera similar a la acción del ataque químico.

Además de los ácidos sulfúricos, los microorganismos pueden producir otro tipo de ácidos inorgánicos, como el ácido nítrico y el ácido carbónico.

Las bacterias atacan los soportes lapídeos a través de procesos químicos. Las sulfobacterias oxidan el azufre a sulfato, las nitrificantes producen nitritos y nitratos y las bacterias del hierro tienen participación en los fenómenos de oxidación-reducción de ese metal.

Existen otras actividades que pueden influir en el biodeterioro de los edificios y que involucran a los microorganismos, como la producción de ácidos orgánicos, de agentes quelantes, de adhesivos y surfactantes, de polisacáridos. Incluso, los microorganismos están relacionados con mecanismos físicos, como la presión.

La presencia de microorganismos sobre las superficies pétreas puede tener un origen variado, ya que pueden llegar a través del aire (su medio fundamental) o a través del suelo. Dependiendo del tipo de piedra, los microorganismos llegan a penetrar hasta varios centímetros en el interior de la misma. Por esta razón, la acción de los microorganismos no debe considerarse como meramente superficial.

Los microorganismos pueden provocar pérdidas de peso en las rocas, aunque esto varía según los microorganismos, el tipo de roca y las condiciones ambientales.

ACCIÓN DE LAS ALGAS Y BRIOFITAS (HEPÁTICAS Y MUSGOS)

La presencia de algas y briofitas es indicadora clara de humedad. De hecho, se las suelen encontrar cerca de desagües y en las partes inferiores de los edificios con problemas de capilaridad. Las algas tienen forma de filamentos verdes, rojos o marrones.

Se las puede ver en toda clase de superficies exteriores, incluyendo lugares de gran contaminación. Los efectos sobre la piedra son indirectos, ya que favorecen la colonización de otros organismos (bacterias, hongos, líquenes y plantas superiores).

La presencia de musgo en la piedra y sobre sus juntas indica un grado de humedad anormal, y con ello la posibilidad de daños importantes en el material pétreo.

Pero, a diferencia de las algas que no producen altos grados de degradación, el musgo puede degradar hasta un centímetro o más por debajo de la superficie. Si existe presencia de cales o de cemento, la aparición de los musgos se favorece.

Las algas y los musgos producen, además, agentes quelantes, que se combinan con ácidos orgánicos, inorgánicos y con metales. Estos, luego, reaccionan con los minerales y forman sales solubles.

ACCIÓN DE LOS LÍQUENES

Los líquenes son organismos de doble naturaleza, ya que son una simbiosis entre ciertas especies de hongos y de algas. Su presencia es frecuente en las superficies pétreas, aunque no aparecen en atmósferas contaminadas debido a que son poco resistentes a ese ambiente.

Los líquenes crecen y se expanden a un ritmo muy lento (1 milímetro de diámetro por año), toleran temperaturas extremas y sobreviven en ambientes poco húmedos por períodos de tiempo largos.

Existen muchas variedades de líquenes, pero los que provocan mayores daños son los blancos incrustantes. La piedra se descompone bajo los líquenes en algunos milímetros, y se carga de oxalato cálcico por la acción del ácido oxálico que estas plantas generan.

Los líquenes generan ácidos, por lo que colaboran con la destrucción de la piedra. El resultado es un cambio de textura superficial.

Los líquenes, junto con las algas y los musgos, generan ***PÁTINAS BIOGÉNICAS***, como así también ***COSTRAS BIOGÉNICAS***. Los líquenes endolíticos que generan costras biogénicas pueden causar graves lesiones, ya que pueden actuar desde el interior de la roca sin manifestación exterior.

ACCIÓN DE ÁRBOLES Y PLANTAS SUPERIORES

Estas plantas no ocasionan daños directos a las piedras, con excepción de la acción de las raíces, cuya savia ligeramente ácida puede provocar alteraciones en forma de manchas en los mármoles y en las piedras calcáreas de colores claros.

Además, las raíces se introducen en las grietas y ejercen así su efecto químico, pero también mecánico, de alteración. El crecimiento de estas raíces puede provocar tensiones muy fuertes en las piedras, y generar su fisuración.

ACCIÓN DE LOS ANIMALES

Los animales más destacables en cuanto a su acción deteriorante de las piedras son las aves. Sus excrementos contienen nitratos que contribuyen al deterioro de la piedra, además de ensuciarla. Las materias fecales originan ácidos orgánicos que, al ser transportados por la lluvia, pueden provocar alteraciones.

En este punto habría que incluir la acción destructiva del hombre, cuya evidencia más dañina para las piedras son los incendios, que ocasionan daños irreversibles. Otras formas de alteración directa son los grabados en piedra, los usos de pinturas inadecuadas, los actos de vandalismo, etc.

ALTERACIONES DEBIDAS AL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y COLOCACIÓN

Se puede decir que las piedras son materiales muy estables, que soportan su peso propio y, en menor proporción, soportan la carga de la cubierta, las vigas o los forjados.

Por eso, la capacidad portante de las piedras es superior a las cargas actuantes. Es debido a esta gran resistencia que las piedras ofrecen grandes márgenes de seguridad.

Cuando las fábricas de piedra presentan una grieta, se puede encontrar la causa en fuentes exógenas,es decir, en fuentes que provienen del exterior, como por ejemplo, en un apoyo en terreno flojo, en estribos que se separan, etc.

La grieta puede ser también resultado de defectos del diseño, puede ser producto de fuerzas fuera del tercio central, también puede ser línea de empujes diferida del antifunicular de cargas, etc.

Las alteraciones en las piedras se pueden buscar, muchas veces, en defectos de extracción y transporte. En general, cuando se ha producido el fallo, la fábrica vuelve a equilibrarse, agrietándose ligeramente por tracción.

Entre los causantes de alteraciones en las rocas se incluye a las alteraciones producidas por:

- **DEFECTO DEL MATERIAL**
- **DEFECTOS DE EJECUCIÓN**
- **ANCLAJES METÁLICOS**
- **DISPOSICIÓN INADECUADA EN SU FORMA DE TRABAJO/PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN**
- **SUSTITUCIÓN DE SILLARES**
- **MORTEROS**
- **DEFECTOS DE EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE**

ALTERACIONES PRODUCIDAS POR DEFECTO DEL MATERIAL

Si existe una veta terrosa en un sillar, en general no ocasiona anomalías en su fábrica.

Pero de existir en un elemento esbelto como es una pilastra o una columna de una arquería, podría ocasionar daños de imprevisible consideración.

ALTERACIONES DEBIDAS A DEFECTOS DE EJECUCIÓN

Las fábricas de piedras mal aplomadas, mal trabadas o con baja calidad de material pétreo pueden llegar a generar alteraciones.

De la misma manera, el daño puede surgir en aquellas fábricas que utilizan morteros con dosificación inadecuada o sin tiempo suficiente de fraguado, especialmente los realizados de cal.

Existen dos etapas de ruina de los materiales pétreos en estos casos: primero se produce la disgregación del mortero y segundo, se produce la fisuración y posterior rompimiento de la piedra.

ALTERACIONES DEBIDAS A ANCLAJES METÁLICOS

Los anclajes metálicos, como los grapados y zunchados que se utilizan en la sujeción de sillares, pilastras, etc., se oxidan cuando entran en contacto con la humedad o la lluvia.

Este proceso provoca la formación de sucesivas capas de óxido de hierro, aumentando consecuentemente el volumen del anclaje.

Estas capas realizan un empuje en la piedra que provoca fisuras y desconchamientos en el sillar.

Por otro lado, este proceso de oxidación, deja manchas rojizas que son absorbidas por la piedra del sillar y que son muy difíciles de eliminar.

ALTERACIONES DEBIDAS A LA DISPOSICIÓN INADECUADA EN SU FORMA DE TRABAJO/PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN

El ideal de colocación de la estratificación del material –en relación con las cargas o esfuerzos– es que ambas direcciones, la acción de las cargas y los planos de estratificación, sean perpendiculares.

Si existen fallos en la colocación, se generan roturas de los dinteles pétreos resueltos monolíticamente o en ménsulas. Lo mismo sucede en las cornisas cuando tienen un vuelo desmesurado.

ALTERACIONES DEBIDAS A LA SUSTITUCIÓN DE SILLARES

Se constatan daños de los materiales pétreos originados por reparaciones en la sillería que no han sido del mismo tipo de piedra ni de canteras originales.

Esto provoca un aumento del daño a los sillares alterados, ya que la escorrentía del agua de lluvia, o de la misma manera, la condensación por descenso de temperatura, es mayor y puede llegar a incidir en los sillares sanos durante el proceso de degradación.

ALTERACIONES DEBIDAS A LOS MORTEROS

El envejecimiento de los morteros, debido a cambios hidrológicos, lluvias, resecados, etcétera, pueden provocar unas situaciones de avanzado estado de disgregación.

Se pueden llegar a provocar fallos mecánicos en las fábricas de piedra.

ALTERACIONES DEBIDAS A DEFECTOS DE EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE

Hoy en día, los métodos de extracción de piedra se pueden sintetizar en cuatro métodos:

- **GRANDES ROZADORAS DE CADENA Y DIAMANTE**
- **SIERRAS DE CABLE DE ACERO Y ABRASIVO DE ARENA METÁLICA O DE CUARCITA**
- **LANZA TÉRMICA** (que utilizan llama concentrada a 1200 ºC y penetración continua)
- **HENDIDURAS HIDRÁULICAS.**

En este último se suelen practicar pocos taladros pero de gran diámetro, paralelos al plano del lecho y con martillos hidráulicos de presión, de 250 a 400 Tn (400 a 500 atmósferas).

Los métodos de transporte se basan en la tracción mecánica, específicamente de tractores, apiladoras y grúas.

Sea durante la extracción o durante el transporte, las piedras pueden sufrir alteraciones que condicionen su posterior durabilidad y efectividad como soporte constructivo.

Es el hombre quien tiene la responsabilidad, en este caso, de evitar la fisuración producida por malos cortes, por no respetar las vetas o por dejar pasar humedades de cantera.

En el caso del transporte, la deficiente colocación en los lugares de almacenamiento y el esfuerzo indebido a que se somete a las fábricas pétreas, también puede provocar serias alteraciones que se descubren, generalmente, cuando la solución es mucho más costosa.

DIAGNOSIS

Antes de comenzar una intervención o tratamiento sobre los materiales rocosos es necesario definir el estado actual de los mismos. Se debe investigar cuál es el grado de deterioro que afecta a las piedras, como así también determinar los procesos de alteración que los hubieren generado. Es decir, hay que indagar en las causas de ese posible deterioro. Se conoce como ***DIAGNOSIS*** a este proceso de investigación del que resultará el tipo y profundidad de deterioro de las piedras. Los tratamientos o intervenciones que se apliquen a las piedras pueden ser de conservación y/o de restauración, pero siempre dependerán de estos estudios previos. Los estudios de diagnosis de lesiones proporcionan una imagen del problema que hay que afrontar. Las investigaciones de diagnóstico se basan en observaciones, análisis y ensayos diversos, y todos ellos contribuyen a caracterizar de manera clara y precisa el tipo de ambiente en el que se encuentra la piedra, el tipo de piedra utilizada en la construcción, su comportamiento frente a diferentes agentes exógenos (como el agua, los contaminantes, el clima) y los productos que la alteración ha generado. Esas investigaciones incluyen aspectos cualitativos y cuantitativos.

La diagnosis de lesiones comprende investigaciones que deben realizarse in situ (en el lugar) e investigaciones de laboratorio. Los estudios in situ están relacionados con la construcción y su entorno. Los análisis de laboratorio tienen que ver con la caracterización y diagnóstico de las piedras propiamente dichas. Las dos metodologías son necesarias y complementarias para obtener un buen resultado a la hora de enfrentarse a una restauración –o conservación– de construcciones que involucren a los materiales pétreos.

DIAGNOSIS IN SITU	DIAGNOSIS DE LABORATORIO
Análisis del entorno	Petrografía
Análisis de la construcción	Determinación de parámetros físicos
Cartografías	Ensayos de durabilidad
Ensayos no destructivos	Otros ensayos de laboratorio

DISTINTOS TIPOS DE DIAGNOSIS DE LOS ELEMENTOS PÉTREOS

ANÁLISIS DEL ENTORNO

El estado de conservación de las edificaciones que incluyan materiales rocosos depende, en gran medida, de las características del ambiente en que esas edificaciones se encuentran inmersas.

Cualquier construcción siempre establece un intercambio constante con el medio. Este intercambio incluye aspectos físicos, químicos, biológicos, geológicos; pero también históricos y sociales.

El ***CLIMA*** es, en gran medida, un causante de alteraciones en los materiales pétreos. La presencia de humedades en el interior de las piedras se debe, en la mayoría de los casos, al clima circundante.

Como se ha visto anteriormente, la humedad es el medio por que el que se desarrollan la mayoría de los procesos de alteración de las rocas.

Estas alteraciones se deben a la acción de frentes de sales –combinadas con el viento– y a las heladas. La variación térmica pronunciada es también un factor de alteración importante.

Los cambios de temperatura originan tensiones internas de magnitud en las rocas, especialmente en los mármoles (ya que debido a su coeficiente de dilatación, la calcita presenta una gran variabilidad de su volumen). Entre los cambios térmicos más importantes se incluye la variación de temperatura entre día y noche.

Es importante asimismo conocer la orientación e intensidad de los vientos dominantes. También se hace necesario conocer la pluviosidad, la temperatura media y la frecuencia de las heladas. Del mismo modo, es imprescindible conocer la variación de la tensión de vapor del agua y el punto de rocío.

La orientación cardinal de la construcción en relación con los aspectos climáticos mencionados es otro de los puntos a tener en cuenta cuando nos encontramos realizando un análisis del entorno para el diagnóstico de lesiones de las piedras.

Como se ha especificado anteriormente, cuando el agua que recorre una construcción pétrea alcanza la superficie de la misma, se evapora produciéndose así frentes de sales. Esta evaporación, evidentemente, se acentuará cuanto mayor sea la temperatura y la velocidad del viento en el ambiente circundante.

Cuando esta evaporación se produce en la superficie genera ***EFLORESCENCIAS*** de sales y si se produce por debajo de ella, genera ***CRIPTOEFLORESCENCIAS*** de sales. Si el tamaño del poro no permite que el cristal se expanda, la presión puede vencer la resistencia mecánica de la piedra.

En ese momento se producirá la ***ARENIZACIÓN***. El hielo actúa de manera similar a las sales cuando se cristalizan y se hidratan.

Para estudiar y caracterizar a la piedra según el ***TAMAÑO DE SUS POROS***, se hacen necesarias técnicas de laboratorio. Las técnicas de laboratorio son una parte fundamental del proceso de diagnosis y se verán a continuación.

Los ***FACTORES GEOLÓGICOS*** son importantes a la hora de establecer un análisis del entorno donde se halla la construcción pétrea. Determinar la existencia de ciertos procesos geológicos es imprescindible para poder confeccionar un diagnóstico acertado de la patología de las piedras.

Este estudio geológico-ambiental puede indicar la presencia de movimientos freáticos, que pueden ser causa de problemas de asentamiento de las edificaciones. Asimismo, estos movimientos exponen a las construcciones a vibraciones sísmicas.

Es importante tener en cuenta que incluso en regiones con bajos niveles de sismicidad existen muchos temblores que pasan totalmente desapercibidos para los sentidos del ser humano.

Sin embargo, frente a esos mismos temblores que el hombre no puede sentir, los materiales de construcción pueden reaccionar si contienen armónicos de la misma frecuencia en que se producen las vibraciones.

El estudio de la influencia de la ***CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*** sobre la construcción pétrea es parte ineludible de un análisis del entorno. Conocer el grado de contaminación ambiental que rodea a la edificación es fundamental para establecer una diagnosis correcta de las patologías.

Lo que antes eran procesos lentos de degradaciones pétreas, hoy se han acelerado debido a la polución ambiental. Cuanto más cercana se encuentre la construcción a las áreas urbanas o industriales, más rápido serán estos procesos de degradación.

Se debe estudiar qué contaminantes contiene el ambiente en la zona, su origen, cómo llegan hasta la edificación (su medio de transporte) y el nivel de exposición que tiene la construcción a los mismos.

Hay que investigar los contaminantes gaseosos que pueden hallarse en el medio. Pero es fundamental también investigar otros tipos de contaminantes, como son los pesticidas y los abonos.

Esta clase de contaminantes tiene acceso a las construcciones pétreas mediante el proceso de ascensión capilar de agua contaminada que se halle recorriendo el terreno.

FACTORES SOCIOLÓGICOS, CULTURALES Y POLÍTICOS: –que son inherentes al medio ambiente que rodea a las edificaciones– son parte constituyente del entorno a ser estudiado. A estos factores que dependen básicamente de la acción humana se los conoce también como factores ***ANTRÓPICOS***.

Los aspectos urbanísticos influyen en el entorno, modificándolo. Los asentamientos humanos originan fuego y orines que deterioran los muros de piedra. Los actos de vandalismo constituyen uno de los aportes más dañinos del hombre a los materiales pétreos.

Pero no es sólo la presencia humana lo que puede provocar alteraciones en las piedras. Hay que estudiar también la ausencia de hombres –en tanto ausencia de cuidado a la edificación– que puede provocar daños aún mayores.

Los factores antrópicos, que parecen secundarios a la hora de establecer un diagnóstico de la construcción mediante el estudio del entorno, no deben pasarse por alto.

Por último, cabe agregar que, al no ser usual que se pueda disponer de aparatos de medida meteorológica colocados en las cercanías de la edificación, los datos pueden ser solicitados a los respectivos centros meteorológicos. También se los puede solicitar a las Consejerías de Medio Ambiente.

El análisis de los datos climáticos, tanto microclimáticos como nanoclimáticos, y el análisis de los datos de contaminantes se realiza en el laboratorio.

De esta manera se pueden establecer los ***AGENTES Y MECANISMOS DE DETERIORO***, que nos llevarán a un diagnóstico de lesiones más certero.

ANÁLISIS IN SITU DE LA CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS HISTÓRICO: es fundamental. Obliga a reunir toda la información referente a los materiales que fueron utilizados para la construcción pétrea. Esta información destacará las canteras de procedencia, los métodos de labrado y colocación, restauraciones que pueda haber tenido la edificación, los métodos de protección que pudieren haberse empleado y las sucesivas capas pictóricas. La investigación histórica de la construcción permite localizar fuentes de material para efectuar reposiciones, en el caso de ser necesario. Además, colabora en la confección del diagnóstico, ya que permite comparar la alteración en origen y en la edificación.

El análisis de las ***CARACTERÍSTICAS Y ESTADO DE LA CONSTRUCCIÓN*** es una parte ineludible del proceso de diagnosis de patologías. Entre los puntos a ser analizados hay que incluir los defectos de construcción. Los defectos de construcción pueden ser originales, aunque también se pueden producir por deterioro o modificación de alguno de sus elementos constructivos.

Las humedades interiores a las construcciones pétreas, formadas por condensación o mala ventilación, es otro de los puntos a ser investigados. Estas humedades son absorbidas por los muros que luego movilizan sales solubles hacia el exterior, lo que ocasiona lesiones en los materiales pétreos. Las sales solubles también se pueden movilizar hacia el interior de la construcción, deteriorando pinturas murales y frescos. Si bien este tipo de fenómenos suele deberse a la mala planificación de la construcción, lo más frecuente es que las causantes sean modificaciones posteriores. El cerramiento o apertura de huecos que antes no existían, o las labores de impermeabilización de las paredes de piedra o del tejado llevadas a cabo sin el suficiente estudio previo que pueden llegar a impedir la transpiración, son algunos de los factores que inciden en la generación de alteraciones. Los rejuntados con cemento Pórtland u otros productos pueden introducir sales o elementos de hierro que se oxidan y dilatan, lo que provoca la posterior fractura del material. Los tratamientos con resinas que se oxidan y se tornan amarillentas, cambian el tono o endurecen las capas superficiales de los materiales pétreos, que terminan por quebrarse y desprenderse.

El estudio de la escorrentía de las aguas sobre las fachadas es otro de los temas fundamentales que no debería pasarse por alto en el momento de establecer un estudio de diagnosis. La eliminación de una gárgola o de un canalón puede, a través del paso del tiempo, dar comienzo a un proceso de deterioro de fachada. Las barreras hídricas, debidas a salientes o a cambios litológicos con materiales de distinta porosidad, crean zonas de acumulación de humedad que vienen de la mano de los problemas salinos, proliferación de algas, musgos, hongos y bacterias.





Técnicas de inspección para determinar el movimiento de estructuras pétreas. Al ser un material muy poco elástico la piedra sufre agrietamientos y fisuras con mínimos desplazamientos diferenciales.

Análisis del entorno	Clima
	Factores geológicos
	Contaminación ambiental
	Factores sociológicos, culturales y políticos
Análisis de la construcción	Análisis histórico
	Características y estado de la construcción

DIAGNOSIS INTEGRAL DE LAS LESIONES PÉTREAS EN EDIFICIOS

DIAGNOSIS DE LESIONES IN SITU

Como ya quedó dicho, los estudios que deben realizarse en el lugar de la edificación están relacionados con la construcción y con su entorno. Los trabajos en el lugar (in situ) implican la realización de ***CARTOGRAFÍAS SOBRE ALZADAS***, tanto de los ***TIPOS DE PIEDRA*** como de las ***LESIONES*** (humedades de edificación, lesiones estructurales, lesiones de la piedra). También es necesario establecer un ***REGISTRO DE LAS CARTOGRAFÍAS EN SOPORTE DIGITAL*** o informático, a través de la digitalización de imágenes. Luego habrá que establecer ***CORRELACIONES ENTRE LOS TIPOS DE PIEDRA Y LAS LESIONES***. Este proceso de trabajo incluye, asimismo, la recolección de datos climáticos, ambientales y de niveles y tipos de contaminación. Por otro lado, cuando las posibilidades lo permiten, se pueden aplicar al estudio de la diagnosis de lesiones de las piedras de construcción una serie de técnicas y ensayos conocidos generalmente como ***TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS***. Estas técnicas se pueden aplicar en el sitio de la construcción, son fáciles de utilizar, económicas y proveen de resultados casi inmediatos. Además, y sobre todo, no causan daños irreversibles en los materiales bajo estudio.

Es importante señalar que, previo a la utilización de las técnicas que se mencionarán, es muy conveniente realizar un primer ***EXÁMEN DE LA PIEDRA A SIMPLE VISTA***, con ayuda de una lupa. El mejor lugar para la realización de esta inspección es una superficie plana, y si fuera posible, pulida. El mencionado procedimiento provee de una primera valoración del material, y no debe subestimarse ni desecharse. Una primera valoración de la textura, de las fisuras y de los macroporos, de la granulometría, de las discontinuidades, del estado de alteración, de la mineralogía y del color se obtienen gracias a este simple análisis. Por otro lado, aspectos tan importantes como la compacidad, el grado de coherencia y el estado de alteración pueden ser valorados mediante el análisis de observación. La ***COMPACIDAD*** se detecta a partir de la velocidad de absorción de una gota de agua depositada en la superficie de la piedra. El grado de ***COHERENCIA*** se detecta a partir de la facilidad de disgregación de la roca frente a presiones ligeras. El estado de ***ALTERACIÓN*** se detecta mediante la observación de cambios de color, de compacidad y de coherencia.

CONTRASTACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DE LOS MUROS PÉTREOS CON LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD AMBIENTAL: constituye un método para diagnosticar y prever la formación de humedades por condensación. Dentro de las mediciones de humedad del aire, interesa especialmente conocer la humedad absoluta (gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire húmedo) y la humedad relativa, razón expresada en porcentaje entre humedad absoluta y saturación del aire a la misma temperatura y presión. La humedad relativa de valor 0 caracteriza el aire totalmente seco y la de 100 el aire saturado.

Las mediciones se pueden efectuar mediante hidrómetros y sicrómetros. Aunque los hidrómetros son poco fiables, los sicrómetros son muy seguros y muestran de inmediato la lectura de valores (mediante sensores) de la humedad relativa y de la humedad absoluta. También muestran los valores de la temperatura ambiental.

La humedad de condensación proviene de partículas de agua originadas en ambientes cálidos y húmedos, en contacto con superficies que se encuentran a menor temperatura. Se puede medir la humedad de condensación mediante aparatos que detectan las diferencias de resistencias eléctricas que presentan una superficie húmeda y otra seca. Para realizar esta medición hay que aplicar dos terminales del aparato a cada una de las superficies.

La temperatura superficial y ambiental resulta de conocimiento imprescindible para evaluar correctamente todo fenómeno de condensación. La temperatura superficial se puede medir con el termómetro óptico (mide a través de rayos infrarrojos) y nos permite conocer la temperatura de un cuerpo a distancia de manera instantánea. La termografía infrarroja también es necesaria para realizar la confección de cartografías sobre alzadas. La temperatura ambiental se puede medir a través de termómetros semiconductores, que son muy precisos y rápidos (mucho más que los clásicos termómetros de mercurio). Existen también termómetros eléctricos que son más rápidos que los termómetros de mercurio.

Los datos y mediciones que arrojen las investigaciones, deben ser recogidos y deben quedar reflejados en la cartografía sobre alzados.

CARTOGRAFÍAS

La forma más sencilla y práctica de realizar los mapeos es la de disponer de alzadas de las fachadas de la construcción sobre las que realizar la cartografía. Las cartografías que se deben realizar son de los diferentes tipos de piedra *(**LITOLOGÍAS**)* y de los diferentes tipos de lesiones o formas de alteración que pueda presentar. La cartografía tanto de las lesiones como de los tipos de piedra es una herramienta muy importante de la diagnosis. Esta herramienta permitirá observar la distribución espacial de los parámetros relevados y su relación con la agresión del entorno.

1. ***CARTOGRAFÍA DE LOS TIPOS DE PIEDRA:*** se debe incluir:

- los registros gráficos de distintos tipos de piedras que se utilizaron en la construcción.

- los muestreos del material no alterado, o sano. Este muestreo puede ser en forma de polvo o de escamas.

- pequeños trozos de roca (lámina delgada).

2. ***CARTOGRAFÍA DE LESIONES:*** se incluyen:

- **registro de lesiones estructurales**

• fisuras y grietas que se encuentren en la construcción. Estas fisuras y grietas deben relevarse en relación con la fábrica y en relación con el subsuelo.

• grado de estabilidad mecánica de las fisuras.

- **registro de humedades de edificación**. Aquí hay que analizar y registrar:

• cómo se distribuye la humedad en los distintos muros del edificio y en las distintas partes de cada uno de ellos.

• cuál es la relación entre la orientación de los paramentos y su contenido en humedad.

• cuál es la relación entre la humedad y el diseño arquitectónico.

• cuáles son las fuentes que generan la humedad.

- **registro de lesiones en la piedra.** Aquí hay que estudiar:

• las formas de alteración. Las formas de alteración en la piedra se deben estudiar en relación con la orientación del paramento en el que se ubican. También hay que analizar las en relación con las características constructivas del paramento.

• las zonas de alteración. Hay que establecer la existencia o inexistencia de alteración diferencial.

• muestreo del material alterado. Este muestreo se realiza para conocer la naturaleza química del material alterado. Si se comparan los resultados de este muestreo con la naturaleza química del sustrato se podrán identificar los agentes exógenos que pueden estar actuando en la alteración de la piedra También permitirá efectuar una aproximación a los mecanismos de deterioro. El muestreo debe incluir al material pul-

CARTOGRAFÍA DE TIPOS DE PIEDRA	Registro de los tipos de piedra utilizados	
	Muestreo de material sano	
	Pequeñas porciones de roca	
CARTOGRAFÍA DE LESIONES	Lesiones estructurales	Grietas y fisuras (en relación con la fábrica y en relación con el subsuelo)
		Grado de estabilidad mecánica de las fisuras
	Humedades de edificación	Distribución de la humedad en los muros y en sus partes
		Relación entre la orientación de los paramentos y su contenido en humedad
		Relación entre la humedad y el diseño arquitectónico
		Determinación de las fuentes generadoras de humedad
	Lesiones en la piedra	Formas de alteración (relaciones con la orientación del paramento y con las características constructivas del mismo)
		Establecimiento de zonas de alteración
		Muestreo del material alterado (material pulverulento para análisis químicos, sales solubles y costras y escamas)

ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS

verulento, a las sales solubles y a las costras y escamas. Las sales solubles deben extraerse mediante apósitos. Es importante destacar que es conveniente registrar sobre alzadas el muestreo de material. Si se realiza este registro se pueden correlacionar más fácilmente los resultados de los análisis con características de la piedra o con el lugar que ocupan en la construcción. De este modo, el registro sobre alzadas del muestreo de material ayuda a establecer con mayor precisión los factores y procesos de alteración que pueden estar actuando en la construcción pétrea.

TÉCNICAS INSTRUMENTALES: se suelen utilizar para llevar a cabo la cartografía, la ***FOTOGRAMETRÍA*** y la ***TERMOGRAFÍA***.

FOTOGRAMETRÍA: se utiliza para obtener las alzadas del edificio. Estudia y define con la mayor precisión posible las formas, las dimensiones y la posición en el espacio de un objeto, cualquiera que éste sea. Para hacerlo utiliza sobre todo medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto a estudiar. Aunque parezca una técnica contemporánea, la fotogrametría ya era utilizada en el siglo XVIII. En esa época las mediciones se realizaban sobre dibujos hechos a mano. Hacia mediados del siglo XIX se lo utilizaba empleando la cámara oscura para el dibujo de las perspectivas, pero ya se utilizaba también la cámara fotográfica.

FOTOGRAMETRÍA ARQUITECTÓNICA: de acuerdo con el Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica (CIFA), es una técnica que permite levantar o restituir un objeto, particularmente un objeto arquitectónico o arqueológico. Para poder llevar a cabo el levantamiento o la restitución se utilizan perspectivas del objeto en cuestión, pero registradas fotográficamente.

TERMOGRAFÍA: es una técnica de estudio no destructiva, que se debe aplicar en el lugar de la construcción. En general se utiliza para facilitar la distinción entre materiales constructivos de un edificio. Además, permite obtener información de la zona más superficial de estos materiales. Especialmente importante es la información acerca de la localización de zonas con diferente grado de humedad, de fenómenos de capilaridad, de discontinuidades constructivas y acerca de las fases constructivas del edificio. Las técnicas termográficas se basan en el análisis que se realiza sobre la radiación electromagnética que refleja y/o emite todo cuerpo. La termografía es de gran sencillez de aplicación e instrumentación. Además, no es necesario el contacto para llevarla a cabo.

Dentro de la termografía se pueden distinguir a la termografía infrarroja y a la espectrorradiometría.

TERMOGRAFÍA INFRARROJA: es una técnica que logra convertir la radiación térmica que emite el material (y que el ojo humano no puede captar) en señales eléctricas. Así se vuelven visibles y mensurables. Los parámetros utilizados son la emisividad y la temperatura. El equipo instrumental incluye un videograbador, que debe ser sensible a la radiación infrarroja. De este modo, las imágenes pueden verse en tiempo real e *in situ*.

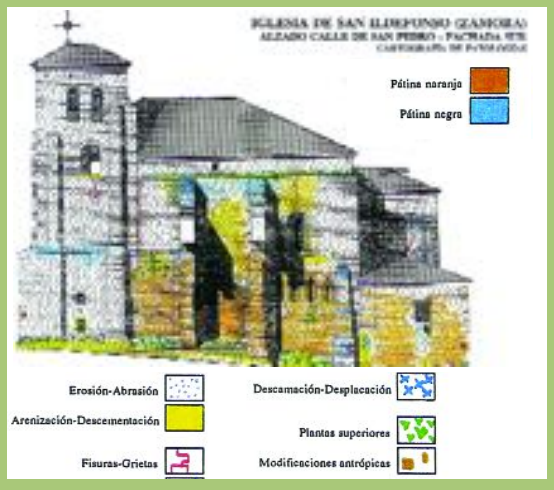
ESPECTRORRADIOMETRÍA: aunque menos utilizada, esta técnica posibilita la medición del flujo energético emitido por una fuente de radiación (o superficie donde incida). Para hacerlo, discrimina las diferentes longitudes de onda de su espectro. La espectrorradiometría es una técnica más compleja que la termografía infrarroja y además es menos inmediata. Sin embargo, sus resultados son muy precisos.

Cuando la cartografía de lesiones y la litografía se digitalizan, el trabajo se vuelve mucho más aprehensible. La ***DIGITALIZACIÓN DE LAS CARTOGRAFÍAS*** permite establecer correlaciones entre los diferentes aspectos que se consideren necesarios. Por ejemplo, se pueden extraer porcentajes de las variedades de piedras utilizadas, o de tipos de lesiones, o incluso se pueden comparar lesiones entre sí. La técnica instrumental a ser empleada es el proceso digital de imágenes.

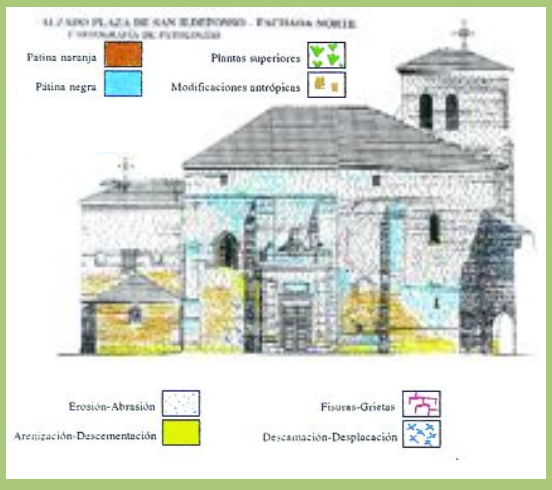
Entonces, la sistematización de lo expuesto es que para la realización de la diagnosis in situ se necesita de la confección de cartografías. Estas cartografías relevan especialmente los tipos de materiales utilizados y las lesiones que pudiere haber. Para que se puedan llevar a cabo estas cartografías hay que utilizar ciertas técnicas instrumentales, como ser la fotogrametría y la termografía. Además, la digitalización de cartografías ayuda y simplifica los análisis de diagnosis. No hay que olvidar que los datos climático-ambientales y de niveles y tipos de contaminación, de recopilación histórica de la construcción, etc., deben ser correlacionados con los resultados obtenidos para que la diagnosis sea acertada.

La metodología de trabajo in situ y la forma en que ésta se ejecuta, son útiles para el intercambio de información entre los diferentes profesionales y técnicos que se ven involucrados frente a una intervención en las construcciones de piedras (arquitectos, aparejadores, petrólogos, restauradores).









TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS DE DIAGNÓSTICO

Se verá en el siguiente apartado que las técnicas y ensayos para caracterizar a los materiales pétreos usados en la construcción requieren, en la mayoría de los casos, de la extracción de material y posterior obtención de probetas de ensayo. De este modo, estos procedimientos causan cambios irreparables en la naturaleza original de la construcción y de la piedra. Se conoce a estos tipos de estudios como "análisis destructivos". La metodología de trabajo in situ propone técnicas no destructivas, que además, proporcionan una diagnosis rápida. Por otro lado, las técnicas no destructivas permiten la repetitividad en las mediciones, son de gran eficacia y, en general, de bajo costo.

Dentro de los ensayos no destructivos se pueden mencionar a los de ***ULTRASONIDOS*** (ver también el apartado de caracterización de los materiales pétreos), las pruebas de ***EMISIÓN ACÚSTICA***, la ***TOMOGRAFÍA*** y la ***TERMOGRAFÍA*** y también a una serie de instrumentos que registran el relieve gráfico métrico y geométrico de la estructura. Este registro se conoce como ***PLANIMETRÍA***.

PROPAGACIÓN DE ONDAS ELÁSTICAS O ULTRASONIDOS: es uno de los ensayos no destructivos más utilizados. Los resultados se basan en las variaciones que experimenta la velocidad de propagación de las ondas durante su paso por el interior del medio bajo análisis. Las técnicas de ultrasonidos permiten determinar la existencia o no de anisotropías. También, habilitan a deducir el estado de porosidad y de fisuración interna, detectar niveles de alteración y evaluar daños causados por los distintos ensayos de durabilidad. Los ultrasonidos se generan de manera artificial. Se los debe inyectar en la roca, luego hay que detectarlos, registrarlos y procesarlos. Por último, se debe determinar el parámetro físico que va a servir de base interpretativa.

EMISIÓN ACÚSTICA: se puede decir que, a diferencia de los ultrasonidos, no debe ser inyectada al medio rocoso sino que se fuerza su liberación espontánea. La emisión acústica o la ***ACTIVIDAD MICROSÍSMICA*** es una liberación repentina de energía de deformación elástica que se encuentra almacenada en la roca, cuando la piedra es sometida a tensiones. De este modo, se generan en el interior de la piedra ondas elásticas que se propagan hacia todas direcciones. Estas ondas pueden ser captadas en la superficie de la piedra mediante transductores.

El sistema de captación, medición y registro de la emisión acústica es bastante simple. Está compuesto de un sistema de captación –el transductor– y un sistema de monitoreo que registra las señales que se detectan. Las señales de emisión acústica son muy débiles, por eso se necesita que se las amplifique.

La amplificación se logra a través de un pre-amplificador que debe ser situado cerca del transductor, o mismo dentro de él. Los ultrasonidos que son generados por actividad cultural, es decir, por el entorno de actividades humanas que rodea a la construcción, se filtran mediante un sistema que selecciona la banda de frecuencias útiles al objetivo que se persigue.

Los ensayos de emisión acústica son extremadamente útiles para descubrir posibles inestabilidades mecánicas de las piedras. Esto se debe a que el fenómeno de emisión de ondas se relaciona con los procesos de deformación y rotura de las rocas.

Las emisiones acústicas, en escala microscópica, están originadas por dislocaciones, microfisuras, rozamiento de bordes de grano, maclaciones. En escalas macroscópicas, estas ondas se generan por fracturación y fricción a lo largo de discontinuidades en la piedra. En escala megascópica, se generan por rotura de grandes volúmenes de roca o por el movimiento de unidades estructurales.

Todas las escalas son importantes en la diagnosis de la construcción, tanto la microscópica, la macroscópica y la megascópica, ya que en todas se pueden plantear problemas de estabilidad: desde el basamento rocoso que sustenta el edificio hasta el sillar en el que se pueden producir las cristalizaciones de sales, desarrollándose así tensiones y fisuras locales.

La emisión acústica se mide en ***VELOCIDAD DE EMISIÓN ACÚSTICA***, que se expresa en ***SUCESOS*** (compuestos por ***CUENTAS***) por unidad de tiempo. Un suceso es cada uno de los cambios físicos que se producen en el material que es capaz de generar emisión acústica.

La diagnosis mediante emisión acústica es muy útil frente a problemas de inestabilidad de una construcción. Esa inestabilidad puede ser monitoreada en su evolución mediante una red de sensores.

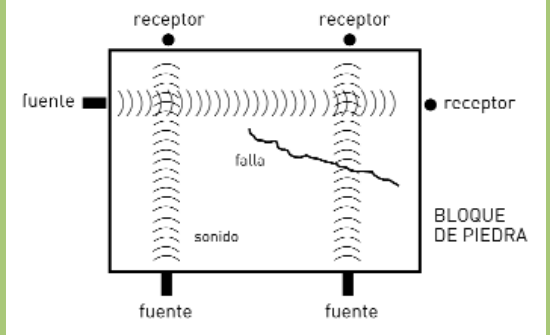
Las ***TOMOGRAFÍAS*** permiten la obtención de imágenes del interior de un cuerpo a partir del análisis de señales que se envían a su interior. Estas imágenes se tratan de un conjunto de valores numéricos de una determinada propiedad física. Las señales que se envían al interior del cuerpo pueden ser ultrasonidos, rayos X o señales de radio.

Dentro de los diferentes tipos de tomografías, la ***TOMOGRAFÍA ULTRASÓNICA*** es la más útil y utilizada dentro del estudio de materiales pétreos. A través del uso de la tomografía ultrasónica se puede obtener un mapa de los valores de la velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido en cada punto de la masa pétrea. Este ***TOMOGRAMA*** obtenido (el mapa resultante) se interpreta en términos de fisuración, alteración, etc. La presentación gráfica de un tomograma se realiza en mapas que describen rangos de valores diferentes para una propiedad física. El tomograma, al no ser un mapa geológico, requiere de una interpretación petrofísica posterior. La tomografía ultrasónica permite identificar zonas de fisuración y de fracturación internas no identificables a simple vista.

Ya se ha mencionado en este apartado la utilidad de la ***TERMOGRAFÍA*** para la realización de la cartografía de sobre alzadas. Además, la termografía se utiliza, comúnmente, para identificar y obtener información acerca del estado de la humedad en los muros de piedra.

PLANIMETRÍA: tiene el objeto de registrar el relieve gráfico métrico y geométrico de la estructura de la construcción. Los resultados de las técnicas planimétricas junto con los diferentes análisis que se deben realizar ayudan a efectuar un diagnóstico definitivo. Además, una planimetría bien hecha ayuda a establecer un presupuesto más exacto y una planificación y control de trabajo mejorado ante un proceso de restauración o conservación de la piedra.

La planimetría de relieve permite evaluar la entidad del movimiento estructural de una construcción. Los instrumentos que se utilizan para la planimetría de relieve son el ***FISURÓMETRO***, el ***DEFORMÓMETRO***, el ***CALIBRE ACÚSTICO*** y la ya mencionada ***FOTOGRAMETRÍA***. La ***VERIFICACIÓN DE VERTICALIDAD*** también forma parte de las técnicas de planimetría.



Esquema de funcionamiento del método de ultrasonido para inspección de elementos pétreos.

FISURÓMETRO: es un aparato calibrador que se adosa al soporte, a ambos lados de la fisura y gradúa la intensidad del proceso fisurativo. El fisurómetro sustituye a los antiguos testigos de yeso u otros materiales utilizados.

DEFORMÓMETRO: se utiliza para detectar todo tipo de deformidades. El deformómetro mecánico está formado por una barra de metal especial, en cuyos extremos se insertan dos terminales cónicos calibrados. El deformómetro eléctrico puede hacer mediciones de 1/1000 milímetros.

CALIBRE ACÚSTICO: está constituido por un hilo fino de metal con dos terminales. Este hilo se extiende sobre la lesión y se lo estimula eléctricamente provocando su vibración. La frecuencia que así se obtiene se capta por un selenoide y se transforma en medición sobre un gráfico.

La verificación de la verticalidad es una técnica que no debe ser pasada por alto. El fenómeno de variación de la verticalidad de un paramento puede estar motivado por la propia alteración de los materiales.

También puede deberse a la construcción en sí misma (aunque este caso es poco frecuente) o a la cesión del terreno por cambios geológicos del mismo.

Las causas atmosféricas pueden incidir en la verticalidadde un paramento, ya sea por sí mismas o en coordinación con otras causas.

Un método para verificar la verticalidad exige instrumentos ópticos. Uno de ellos es el ***TEODOLITO***, un instrumento topográfico que define un plano vertical paralelo a la base del muro o columna. También están los ***APARATOS CLINOMÉTRICOS***, que actúan adosados al plano a examinar.

Por último, se puede efectuar una evaluación *in situ* de la ***PERMEABILIDAD*** de la construcción mediante ensayos simples.

La duración de un material depende, entre otras cosas, de la permeabilidad del muro soporte del que forma parte. Las infiltraciones acuosas, además de los daños que produce por la congelación de agua, puede producir otros efectos como disoluciones, sulfataciones y formaciones bacterianas deteriorantes.

Un análisis previo de la permeabilidad se puede llevar a cabo gracias a dos instrumentos: el ***TUBO DE ABSORCIÓN*** y la ***CAJA DE PRESIÓN***.

TUBO DE ABSORCIÓN: consiste en un tubo de 10 a 20 milímetros, que es curvo en su parte inferior, en forma de pipa. El tubo, poseedor de una escala, se llena con una cantidad de agua. Esta cantidad puede variar entre 100 y 150 milímetros.

El agua queda en contacto con el muro y es absorbida por éste de manera gradual. La operación se efectúa durante un período de tiempo de 10 a 30 minutos. Una vez pasado el tiempo, se procede a la medición del agua absorbida, que queda reflejada en la escala.

CAJA DE PRESIÓN: es una caja que tiene una cara abierta. Esta cara abierta se pone en contacto con el muro de piedra y se separa del mismo por un cerco de goma flexible.

Simultáneamente, se ejerce una presión sobre la caja mediante un peso. Esta presión debe ser constante a fines de mantener la presión hidrostática.

Hay un tubo calibrado a intervalos de 1 milímetro acoplado a la caja, que debe ser aplicado durante un período que oscila entre los 10 y los 30 minutos.

Como la absorción de agua debe producirse sólo en el área en contacto con la caja, la piedra circundante debe ser tratada con algún producto hidrofugante.

Este tipo de pruebas debe realizarse dos o tres veces para poder evaluar correctamente la absorción de la piedra y poder calibrar las mediciones.

TÉCNICA
Ultrasonidos
Emisión acústica
Tomografía (tomografía ultrasónica)
Termografía (infrarroja, de espectrorradiometría)
Planimetría
Permeabilidad

TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS DE DIAGNOSIS DE LESIONES EN LAS PIEDRAS

DIAGNOSIS DE LABORATORIO

El trabajo en el laboratorio comprende distintos objetivos. La caracterización petrofísica de las variedades de piedras que se hayan inventariado es uno de los objetivos más importantes.

También se estudia el deterioro de las piedras. Se analiza el material alterado y las diferentes pátinas. Se aplican ensayos hídricos y ensayos mecánicos. El resultado implica que se puedan identificar los agentes agresores y los mecanismos por los cuales los materiales pétreos se deterioraron.

Para investigar cómo responden los materiales pétreos bajo análisis a la agresión del medio y cómo podrían responder ante un tratamiento se necesita tener una caracterización de los mismos muy precisa.

Para ello se debe realizar una ***PETROGRAFÍA*** y se deben determinar los ***PARÁMETROS FÍSICOS***, entre los que se encuentran los ***PARÁMETROS HÍDRICOS*** y también los ***PARÁMETROS MECÁNICOS***, los ***PARÁMETROS TÉRMICOS*** y los ***PARÁMETROS DINÁMICOS***.

Las determinaciones de parámetros necesitan para su realización de ciertos ***ENSAYOS MECÁNICOS Y ENSAYOS HÍDRICOS***.

PETROGRAFÍA

PETROGRAFÍA: es el estudio de los minerales que presentan las rocas (***MINERALOGÍA***), de su modo de agregación –incluyendo los poros y las fisuras– (***TEXTURA Y POROSIDAD***) y de su ***COMPOSICIÓN QUÍMICA***. Para llevar a cabo una petrografía se hacen necesarias técnicas de ***MICROSCOPÍA, TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN Y TÉCNICAS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS QUÍMICO Y MINERAL***.

TEXTURA Y POROSIDAD

Es la disposición y las relaciones tridimensionales que presentan los componentes de las rocas, es decir, los minerales y espacios vacíos. En general, los materiales pétreos muestran una elevada variabilidad textural.

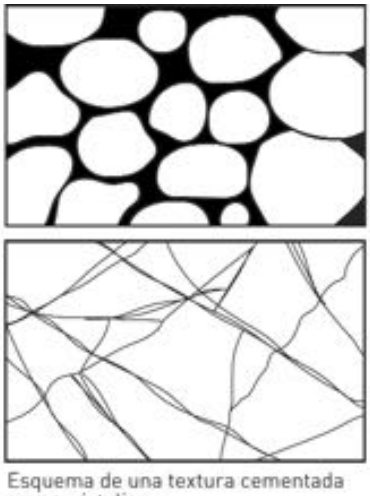
Sin embargo, podemos establecer dos tipos característicos de modelos texturales. Estos modelos están en relación con el origen de la roca y con la presencia o ausencia de fase aglomerante entre sus componentes. Los dos tipos de textura son las ***CRISTALINAS*** y las ***CEMENTADAS***.

- ***CRISTALINA:*** está constituida por minerales cristalizados. Estos cristales presentan formas poliédricas en contacto directo, de lo que resulta una especie de mosaico. Este tipo de textura se puede encontrar en las rocas ígneas y metamórficas, entre las que se incluyen variedades masivas (granitos y mármoles) y foliadas (pizarras). Las piedras con textura cristalina son, en general, poco alterables.

- ***CEMENTADA:*** está formada por granos minerales unidos por una fase aglomerante. La fase aglomerante puede ser material cristalino precipitado (cemento) o material fino depositado (matriz). La mayoría de las rocas sedimentarias, como las calizas y las areniscas, pertenecen a este grupo. Las rocas cementadas presentan una marcada alterabilidad diferencial de sus componentes petrográficos.

Petrografía	Textura
	Porosidad
	Composición mineralógica
	Composición química
Parámetros físicos	Propiedades físicas elementales
	Propiedades hídricas
	Propiedades deformacionales

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PÉTREOS EN LABORATORIO



Esquema de una textura cementada y una cristalina.

Cracterísticas petrográficas de los materiales rocosos.

Uno de los elementos texturales que se debe tener en cuenta cuando se estudia la textura de la piedra son las anisotropías. Las anisotropías a esta escala se deben a alineaciones minerales o a presencia de fisuras orientadas. En cuanto a los componentes, es interesante conocer su tamaño y forma, y es importante estar al tanto de su valor medio como de sus variaciones.

POROSIDAD: se puede decir que es uno de los aspectos fundamentales de la caracterización de las rocas, en tanto su textura. La existencia de huecos o espacios vacíos implica también lugares de paso o de albergue de fases fluidas, como el aire o el agua. Estos huecos o espacios vacíos son un componente más de la piedra, y deben analizarse como tal. La porosidad es el conjunto de estos huecos o espacios vacíos. Es la característica más importante en cuanto al comportamiento de los materiales pétreos. La porosidad condiciona las propiedades físicas y el comportamiento físico de los materiales pétreos de forma mayoritaria. Por lo tanto, la porosidad está en relación directa con la calidad y durabilidad de la piedra.

Se puede establecer una diferencia entre dos conceptos dentro del estudio de la porosidad: ***EL VOLUMEN DE POROS Y EL SISTEMA POROSO***. El ***VOLUMEN DE POROS*** es el volumen total ocupado por los huecos de la piedra, su cantidad. El ***SISTEMA POROSO*** incluye a las características geométricas, como el tamaño, la forma, la conexión, aparte del volumen. El ***VOLUMEN DE POROS*** está en relación con las propiedades físicas de las piedras y quedan explicados en ese apartado.

El ***SISTEMA POROSO*** hace referencia a la configuración textural de la piedra e incluye dos tipos o modelos, que están en relación con los dos modelos texturales que se definieron previamente: los cristalinos y los cementados. Los dos tipos, o modelos, son los *medios porosos* y los *medios fisurados*.

- ***POROSOS:*** se encuentran huecos equidimensionales –que se pueden definir como poros– comunicados por otros de menos tamaño (accesos o conductos). Los medios porosos suelen presentar valores de porosidad elevados, rondando el 20 %.

- ***FISURADOS:*** los espacios vacíos son planares –que se pueden definir como fisuras– presentando valores de porosidad bajos (rondando el 1 %). Los huecos características están bien comunicados.

El sistema poroso quedará caracterizado por el tamaño y forma de los poros o huecos, por el nivel de comunicación que se encuentre entre ellos y por su distribución.

MINERALOGÍA

Se puede decir que las piedras no presentan una cantidad elevada de componentes minerales, sino todo lo contrario. Pero incluso, de esos pocos minerales, sólo algunos se aprecian en porcentajes significativos (superiores al 5 %).

MINERALES PETROGRÁFICOS: son estos que aparecen en volúmenes superiores al 5 % y son los formadores de rocas. Los minerales más abundantes se pueden dividir en dos grupos:

- **ROCAS SILÍCEAS:** (granitos, areniscas, pizarras) como el ***CUARZO***, los ***FELDESPATOS*** y ***MICAS***.

- **ROCAS CARBONATADAS:** (mármoles, calizas y dolomías) como la ***CALCITA*** y la ***DOLOMITA***.

La mineralogía está en relación directa y estrecha con la composición química de las piedras. Una caracterización mineralógica completa no debe olvidar que además de identificar los materiales presentes, se debe determinar el volumen de cada especie mineral presente en la piedra y se debe valorar el grado de alteración de los minerales, especialmente de los más abundantes.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Al igual que ocurre con la mineralogía, son pocos los elementos químicos que constituyen de forma mayoritaria las piedras. A esos pocos elementos se los llama también “elementos mayores”. Estos elementos son: oxígeno (O), sílice (Si), hierro (Fe), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), aluminio (Al) y carbono (C). De acuerdo con la menor o mayor presencia de estos elementos químicos, se pueden distinguir dos grupos de piedras: las rocas silíceas y las rocas carbonatadas.

- ***ROCAS SILÍCEAS:*** están compuestas de forma mayoritaria por Si y en porcentajes menores por Al, Fe, Ca, Mg, Na y K. Las piedras más conocidas de este grupo son las areniscas, granitos y pizarras.

- ***ROCAS CARBONATADAS:*** están constituidas carbono, calcio y a veces magnesio, sin ningún otro elemento que se presente en proporciones significativas. Su composición mayoritaria son los carbonatos. Las piedras más conocidas de este grupo son las calizas, los mármoles y las dolomías.

Se puede decir que las rocas de un mismo grupo presentarán comportamientos más parecidos en comparación con las del otro grupo. Esto hace que la distinción química de las rocas en silíceas y carbonatadas sea especialmente importante para la utilización de piedras en la construcción.

En la realización de la petrografía, se requieren de técnicas específicas que se deben realizar mediante el uso de microscopios. Por lo tanto, para obtener los datos petrográficos completos se requieren ciertas técnicas de microscopía. Estas técnicas proporcionan la información necesaria acerca de la textura, del sistema poroso, de la mineralogía y de las uniones intergranulares de las piedras.

En cuanto a la composición química y mineral existen técnicas instrumentales a ser llevadas a cabo en el laboratorio que se describirán en el siguiente punto. Por otro lado, para el estudio de la cuantificación del volumen que ocupan los poros y los componentes minerales se realizan técnicas diferentes, aunque también basadas en muestras analizadas microscópicamente.

Ejemplo de estas técnicas son los ***PROCEDIMIENTOS ESTEREOLÓGICOS*** y el ***PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES***.

Las técnicas de microscopía requieren esfuerzos de preparación de las muestras. Las muestras deben recogerse con especial cuidado, para no introducir efectos no deseados causados por la manipulación indebida. Estos efectos pueden ser nuevas fisuras, saltaciones de grano, contaminación de hierro, contaminación electrónica, entre los más importantes.

Las rocas que hubieren sido cortadas con sierras de alta velocidad de giro y con discos gruesos de borde continuo o discontinuo no deben tomarse en cuenta como muestra. Esto se debe a que la fisuración introducida por estos tipos de corte escondería la realidad de la roca anterior al corte.

Si las superficies se hubieren obtenido mediante sierras de baja deformación son plausibles de ser utilizadas, ya que las sierras no deformantes aplican un esfuerzo mínimo sobre la zona de corte y utilizan además un disco diamantado muy delgado, que gira a menos de 100 revoluciones por minuto.

Se pueden mencionar como técnicas principales de microscopía para la caracterización petrográfica de los materiales rocosos a la microscopía óptica de polarización con luz transmitida, a la microscopía de fluorescencia, a la microscopía electrónica de barrido y a la microscopía láser confocal.

MICROSCOPÍA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN CON LUZ TRANSMITIDA: es una técnica que necesita de una lámina de piedra de 30 mm. Esta lámina debe ser colocada sobre un soporte de vidrio o portaobjetos. La utilización de la microscopía óptica de polarización permite la identificación de los minerales que constituyen a la roca. La identificación de minerales se hace a través de las propiedades ópticas que posean, del tipo de textura, de los componentes texturados (granos minerales, matriz, cemento, poros) y de sus características (tamaño, forma y distribución).

MICROSCOPÍA DE FLUORESCENCIA: se deben impregnar láminas delgadas de la piedra con fluoresceína y se examinan mediante luz ultravioleta. Se provoca así la excitación de fluorescencia de las zonas impregnadas. De este modo, se logran obtener imágenes del sistema poroso y fisural comunicado de la piedra en cuestión.

MICROSCOPÍA ÓPTICA DE BARRIDO: se realiza con pequeños fragmentos de roca o con una lámina delgada de la misma (pero sin la necesidad de un porta-objetos). Los materiales se deben metalizar con una capa fina de Au-Pd o C, para hacer conductora a la superficie de la piedra. Esta técnica tiene un poder de resolución superior a la de la microscopía óptica. Por lo tanto, la microscopía óptica de barrido permite observar con gran detalle los aspectos morfológicos de los poros y fisuras que sean menores a 1 mm y de las partículas sólidas de contaminación.

MICROSCOPÍA LÁSER CONFOCAL: es una técnica novedosa que permite la reconstrucción del sistema microfisural de una roca, pero en tres dimensiones. La reconstrucción se realiza a través de secciones “virtuales” seriadas al interior de una lámina delgada de piedra. Los cortes virtuales o secciones ópticas son imágenes de dos dimensiones, x e y, que se obtienen a diferente profundidad z, en la lámina delgada. Esta lámina debe ser prepara del mismo modo que para la utilización de la microscopía de fluorescencia, es decir, impregnada con fluoresceína.

Microscopía	Microscopía óptica de polarización con luz transmitida
	Microscopía de fluorescencia
	Microscopía óptica de barrido
	Microscopía láser confocal
Técnicas de cuantificación	Procedimientos estereológicos
	Procesamiento digital de imágenes
Análisis químico y mineral	microscópicas
	Fluorescencia de rayos X
	Difracción de rayos X
	Microsonda electrónica
	Microanálisis por energía dispersva de rayos X

TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA CONFECCIÓN DE LA PETROGRAFÍA

Para realizar una petrografía completa se necesitan ciertas ***TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN***. Para la cuantificación del volumen de ocupación de los componentes minerales y de los poros en las rocas, se utilizan *procedimientos estereológicos* y el *procesamiento digital de imágenes*.

PROCEDIMIENTOS ESTEREOLÓGICOS: son técnicas que cuantifican el volumen que ocupan los poros y componentes minerales de las piedras. Su utilización en sencilla, económica y simultáneamente genera resultados muy precisos.

Para llevar a cabo estas técnicas de cuantificación se requieren imágenes microscópicas de la roca. Sobre estas imágenes se van a realizar las mediciones y, por lo tanto, deben ser claramente identificables en ellas los distintos componentes a ser evaluados.

Para el caso de la cuantificación de minerales las imágenes obtenidas mediante microscopía de polarización son las más útiles.

Para la cuantificación de poros, las más útiles serán las imágenes obtenidas por la electrónica de barrido. En todos los casos se trabaja con una plantilla estereológica de cruces. Se puede determinar la densidad y anisotropía de las fisuras a través de la medición del número de intersecciones que tengan respecto a un recorrido de dirección perpendicular, de 10 milímetros (por ejemplo).

En general, se superpone al azar sobre la imagen microscópica de la piedra a la plantilla y se cuentan las intersecciones mediante el número de cruces en cada una de las especies minerales o poros. Repitiendo este procedimiento varias veces con imágenes diferentes se puede estimar el porcentaje en volumen.

PROCESO DIGITAL DE IMÁGENES: se basa en el tratamiento informático de imágenes microscópicas. Los resultados de este procedimiento son muy certeros y permiten realizar cartografías de los componentes petrográficos.

Pero, al contrario de los procedimientos estereológicos, requieren de costosos equipos instrumentales.

Además de las técnicas de microscopía y de las técnicas de cuantificación, se deben implementar ***TÉCNICAS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS QUÍMICO Y MINERAL***, ya que la información química y mineral es indispensable a la hora de obtener la petrografía.

Las técnicas que se emplean con mayor frecuencia para el análisis químico y mineral son las de ***FLUORESCENCIA DE RAYOS X***, ***DIFRACCIÓN DE RAYOS X***, ***MICROSONDA ELECTRÓNICA*** y ***MICROANÁLISIS POR ENERGÍA DISPERSIVA DE RAYOS X***. Existen otras técnicas no tan comunes para el análisis químico y mineral –son más específicas y costosas– como: ***ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA***, ***ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN HORNO DE GRAFITO***, ***ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN POR PLASMA DE INDUCCIÓN ACOPLADO***, ***ESPECTROGRAFÍA DE EMISIÓN***, ***CROMATOGRAFÍA IÓNICA*** y ***ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJOS CON TRANSFORMADA DE FOURIER***.

FLUORESCENCIA DE RAYOS X: es una técnica que se considera clásica, ya que es muy habitual y rápida. Se utiliza para analizar los elementos mayores y trazas en las rocas. Para realizarse requiere de una cantidad de muestra pequeña, inferior al gramo. Su límite de detección es de ppm.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X: es una técnica multielemental que sirve para la identificación de fases cristalinas. También se utiliza para el análisis semicuantitativo de los porcentajes de esas fases cristalinas que hay en la roca. La cantidad de muestra rocosa que se necesita para llevar adelante la difracción de rayos X es de unos 0,5 g pulverizada en mortero de ágata hasta 50 mm. El error de medida del análisis semicuantitativo es del 5 %.

MICROSONDA ELECTRÓNICA: también es una técnica multielemental. Se utiliza para el análisis de elementos químicos al interior de un mineral visualizado gracias a la microscopía óptica de barrido. La microsonda electrónica permite analizar muestras muy pequeñas, con un límite de detección de 10-100 ppm. Además, permite la realización de perfiles de variación de un elemento químico o la cartografía de su distribución cuantitativa en el seno de un mineral. Es por esto que es de gran interés para el análisis cuantitativo de elementos que se encuentran en rocas y minerales, especialmente elementos mayores y menores.

MICROANÁLISIS POR ENERGÍA DISPERSIVA DE RAYOS X: necesita que se acople un detector de rayos X a un microscopio electrónico de barrido. Así, se podrán realizar mediciones análogas a la técnica de microsonda electrónica (análisis de elementos químicos y realización de perfiles de variación química). Es muy utilizada para el análisis de material alterado coherente y de partículas sólidas de contaminación.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS

Los materiales pétreos presentan diferentes propiedades físicas, que se expresan con parámetros que cuantifican determinados comportamientos. Estas propiedades están relacionadas con las características petrográficas de las rocas. Para evaluar la calidad de una piedra, las propiedades físicas indican la calidad de la piedra, cuantificando los cambios experimentados como consecuencia de los procesos de deterioro. Muchas de las propiedades físicas inciden en la alteración de los materiales pétreos de edificación, especialmente en materiales expuestos a la acción medioambiental. Establecer los parámetros físicos ayuda a configurar una valoración de la durabilidad.

La determinación de las propiedades físicas de las piedras se realiza con la aplicación de ensayos. Estos ensayos se encuentran normalizados. Los métodos y normas más empleados dentro del área de los materiales pétreos son las NORMAL del CNR-ICR (Centro Nationale della Ricerca-Istituto Centrale per il Restauro), las RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais de Matériaux) y las ISRM (International Society for Rock Mechanics). Se pueden usar las normas específicas de distintos países, como las UNE (españolas), las ASTM (norteamericanas), las DIN (alemanas) y las BS (británicas). Para la determinación de ciertas propiedades existe más de una norma aplicable. En esos casos se debe elegir la norma que más se adecue al campo de aplicación y a los objetivos propuestos.
En general, las propiedades físicas se agrupan de la siguiente manera:

- **PROPIEDADES FÍSICAS ELEMENTALES**: son las propiedades que caracterizan el aspecto y la constitución física de los materiales pétreos. Aquí se pueden incluir el color, la densidad, la porosidad, la distribución porométrica.

- **PROPIEDADES HÍDRICAS**: caracterizan el comportamiento de las rocas frente al agua, relacionadas con los procesos de captación, circulación y pérdida de agua desde el seno de las rocas. Se incluyen los procesos de absorción y desorción de agua, absorción de vapor de agua, succión capilar, expansión hídrica y permeabilidad al vapor de agua. Las propiedades hídricas son fundamentales para la caracterización del material pétreo y es el punto en el que habrá que prestar especial atención ante un estudio de diagnosis de lesiones.

- **PROPIEDADES DEFORMACIONALES**: Caracterizan a las rocas cuando se ven sometidas a diferentes tipos de tensiones, ya sean mecánicas, térmicas o dinámicas. Entre las propiedades dinámicas se puede mencionar a la velocidad de propagación de ondas; entre las propiedades térmicas al calor específico, a la conductividad térmica y a la expansión térmica; y entre las propiedades mecánicas a la dureza, la resistencia a la abrasión, la resistencia al choque y la compresión, tracción y flexión.

I. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS ELEMENTALES

Para determinar los parámetros físicos elementales se deben realizar una serie de ensayos. Estas pruebas determinarán el color, la densidad, la porosidad y la distribución porométrica de las piedras bajo diagnóstico.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL COLOR

Con la puesta en obra y el paso del tiempo, el color de las piedras puede variar. Esto se debe a que su exposición a la intemperie, a la acción del agua, del sol y de los contaminantes atmosféricos le producen alteraciones. De este modo, el color sirve de indicador del nivel de alteración que puede haber alcanzado la piedra y de la contaminación presente en el ambiente. La determinación del color mediante criterios científicos y escalas objetivas importa para la caracterización macroscópica de las piedras. La precisión en la asignación del color permite establecer comparaciones y diferenciaciones de posibles variedades de piedras según sus respectivas tonalidades, dejando de lado apreciaciones subjetivas.

Las piedras pueden variar su color, además, como consecuencia de la aplicación de tratamientos de conservación, por lo que la determinación de los cambios es de sumo interés en la evaluación de la idoneidad de los productos y métodos de un tratamiento a seguir.

El color de las rocas depende de sus características petrográficas (composición, textura y estructura) y también de la fuente de iluminación, del medio en el que las radiaciones luminosas pueden ser absorbidas, filtradas, reflejadas o refractadas, etc.

El color se puede expresar de diferentes maneras, sea de forma ***CUALITATIVA***, ***SEMICUANTITATIVA*** y ***CUANTITATIVA***. La forma ***CUALITATIVA*** es de observación visual. Esta forma es, por lo tanto, subjetiva. La manera ***SEMICUANTITATIVA*** de expresar un color es a partir de una clave alfanumérica, que se establece tras una comparación con patrones establecidos (carta de colores). La forma ***CUANTITATIVA*** de expresión del color se realiza mediante parámetros numéricos obtenidos mediante técnicas instrumentales. Estas técnicas instrumentales pueden ser la utilización de ***COLORÍMETROS*** y de ***ESPECTROFOTÓMETROS***.

Se puede detectar mediante estas técnicas el grado de ennegrecimiento de las piedras. Existen indicadores de la reflectancia de la superficie de los materiales que pueden utilizarse como medida del ennegrecimiento debido al depósito de partículas, mediante el uso de un colorímetro. Hay, para poder llevar a cabo este cálculo, expresiones matemáticas que relacionan la superficie de material cubierta por partículas con el cambia de reflectancia de la misma.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD

La densidad de un material se define como la masa (M) por unidad de volumen (V) y se expresa generalmente en kg/m³. En líneas generales, los materiales pétreos presentan minerales que no muestran diferencias de densidad grandes. Se ve así que la densidad de la roca depende fundamentalmente de la porosidad que posean. En los materiales porosos se determinan dos tipos de densidad: la ***DENSIDAD DE LOS GRANOS MINERALES (O DENSIDAD DE LA FRACCIÓN SÓLIDA, DENSIDAD REAL O DENSIDAD VERDADERA)*** **Y LA *DENSIDAD DE LA ROCA SECA (O DENSIDAD DE LA ROCA EN BLOQUE, DENSIDAD APARENTE O PESO DEL VOLUMEN)***.

DENSIDAD VERDADERA: mide el volumen sin sus espacios vacíos, ya que se define como la masa de material seco por unidad de volumen de la parte sólida. Se puede obtener su valor mediante un ensayo clásico conocido como la ***PRUEBA DEL PICNÓMETRO*** o ***PICNÓMETRO DE HELIO***.

DENSIDAD DE LA ROCA APARENTE: mide el volumen incluyendo su parte sólida y todos sus espacios vacíos. Su definición es: masa del material seco por unidad de volumen total.

MÉTODO DE LA PESADA HIDROSTÁTICA: ensayo clásico muy adecuado para esta medición. Este método está basado en el principio de Arquímedes.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA POROSIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN POROMÉTRICA

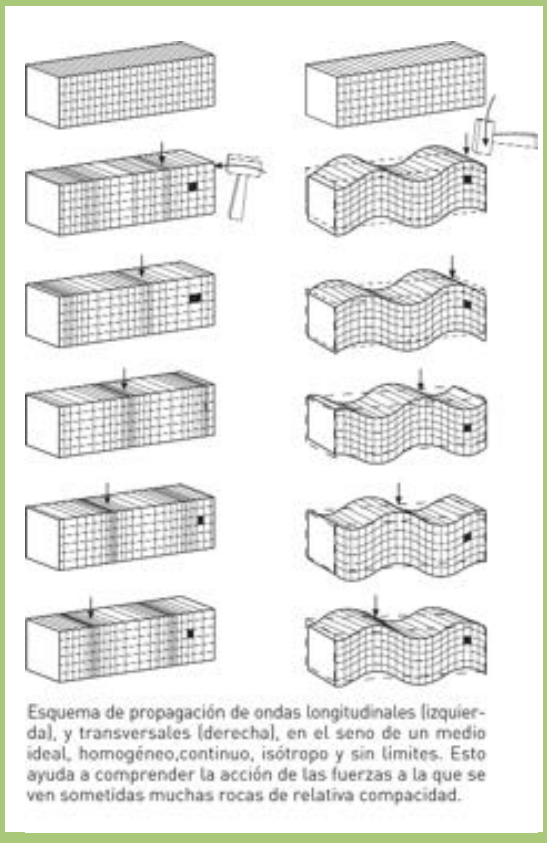
POROSIDAD: es el volumen ocupado por los espacios vacíos por unidad de volumen de roca, expresado en porcentaje. La influencia de la porosidad en las restantes propiedades físicas, en las reacciones químicas y en la durabilidad y calidad del material la hacen ser el parámetro más significativo en relación con las piedras de construcción.

Se distinguen dos tipos diferentes de porosidad: ***TOTAL*** y ***ABIERTA***.

POROSIDAD TOTAL: es el volumen de vacíos por unidad de volumen de roca. Hay que contabilizar todos los espacios vacíos presentes en la roca, aunque no estén comunicados. El valor se calcula mediante la determinación de las densidades de los granos minerales y de la roca seca. No puede obtenerse experimentalmente porque incluye espacios vacíos no comunicados con el exterior.

PARÁMETRO FÍSICO ELEMENTAL	ENSAYO
Color	Observación (método cualitativo subjetivo)
	Comparación con cartas de colores (método semicuantitativo)
	Utilización de parámetros numéricos de comparación (método cuantitativo)
Densidad	Densidad verdadera: Prueba del picnómetro
	Densidad de la roca: Método de la pesada hidrostática.
Porosidad y distribución porométrica	Porosimetría por inyección de mercurio

ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS ELEMENTALES DE LOS MATERIALES PÉTREOS



Esquema de propagación de ondas longitudinales (izquierda), y transversales (derecha), en el seno de un medio ideal, homogéneo,continuo, isótropo y sin límites. Esto ayuda a comprender la acción de las fuerzas a la que se ven sometidas muchas rocas de relativa compacidad.

Respuesta ideal de un material homogéneo a distintas acciones mecánicas.

POROSIDAD ABIERTA (o también ***POROSIDAD ACCESIBLE*** o ***POROSIDAD COMUNICADA***): es el volumen de poros comunicados entre sí y con el exterior por unidad de volumen de roca. La porosidad abierta sí se puede determinar mediante técnicas experimentales.

Estos ensayos están basados en la introducción de un fluido por los poros y la cuantificación de su volumen. El método hidrostático es el más común para determinar la porosidad abierta (mencionado para la medición de la densidad de roca aparente). La razón por la que se puede utilizar el mismo ensayo es que la densidad de la roca seca y la porosidad accesible son dos propiedades complementarias.

La determinación de la porosidad abierta es de especial importancia en cuanto a las piedras de construcción. Esta propiedad condiciona la capacidad de las piedras para el almacenamiento y circulación de fluidos. Los valores que alcanza en las diferentes piedras son muy variables. Las rocas cristalinas –constituidas por minerales cristalizados– se caracterizan por bajos valores de porosidad abierta (alrededor del 1 %).

Las rocas detríticas o cementadas –de granos minerales unidos por una fase aglomerante– presentan valores más altos (alrededor del 20 %).

DISTRIBUCIÓN POROMÉTRICA: tiene una importancia fundamental frente a los procesos de alteración de las rocas. En las piedras, los espacios vacíos se disponen tridimensionalmente, lo que da lugar a sistemas porosos complejos. En esos sistemas, la cantidad, tamaño, forma y grado de los poros son elementos interdependientes.

El tamaño de los poros es uno de los valores que tienen más importancia, ya que está relacionado con la capacidad de la piedra de almacenaje de fluidos y con la facilidad que presenta para que circulen por su seno (y esto es una causa fundamental del deterioro de los materiales pétreos).

Si se está estudiando el tamaño de los poros, hay que considerar los valores medios y también el rango de distribución. Esto se expresa mediante curvas de distribución e histogramas de variación del volumen de poros en función de su tamaño.

Para la obtención de estas curvas e histogramas se utiliza con mayor frecuencia –debido a su sencillez de aplicación– las técnicas de ***POROSIMETRÍA POR INYECCIÓN DE MERCURIO***. Este ensayo consiste en la inyección o introducción de mercurio bajo presión en el sistema poroso. La idea es que el mercurio vaya ocupando de manera ordenada los distintos tipos de poros presentes en la piedra. Simultáneamente, se puede determinar el volumen de poros ocupados.

Entonces, se inyecta mercurio a presión y se registra el volumen de mercurio introducido en la roca para cada valor creciente de presión. Así, se obtienen la curva e histograma de distribución de tamaños de acceso de poro.

En general, se explora un rango de tamaños de poro amplio, que va desde 600 a 0,0035 mm. Se diferencias los poros comprendidos entre 600 y 7,5 mm, a los que se define como ***MACROPOROSIDAD***. Los poros comprendidos entre 7,5 y 0,0035 milímetros se definen como ***MICROPOROSIDAD***.

Cada ensayo consta de dos inyecciones consecutivas. Esto permite diferenciar –dentro del volumen de poros total accesible al mercurio– una parte en la que el mercurio permanece retenido de forma irreversible después de a primera inyección.

Las curvas de distribución obtenidas son de una gran importancia para los materiales pétreos sometidos a procesos de alteración o sometidos a tratamientos de conservación, especialmente si se contemplan en términos relativos.

Esto es así porque muestran las variaciones que los procesos de alteración o los tratamientos han introducido al sistema poroso de los materiales pétreos.

II. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS

Además de establecer la petrografía de los materiales rocosos para la caracterización mineral, textural y química de la roca, se necesitan para completar el análisis conocer sus propiedades físicas, entre las que se encuentran las propiedades hídricas.

Las propiedades que caracterizan el comportamiento de los materiales pétreos frente al agua están relacionadas con los procesos de obtención, pérdida y circulación de agua por el interior de los mismos. Las propiedades hídricas incluyen la ***ABSORCIÓN*** y ***DESORCIÓN*** de agua, la ***HIGROSCOPICIDAD*** (absorción de vapor de agua), la ***SUCCIÓN CAPILAR***, la ***PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA*** y la ***EXPANSIÓN HÍDRICA***.

Los parámetros hídricos se determinan mediante ensayos específicos. La determinación y estudio de las propiedad hídricas de las rocas ayuda a interpretar los procesos y mecanismos de alteración, la durabilidad y el comportamiento mecánico de las rocas.

Al ser el agua el agente de alteración de las rocas más importante, interviene en casi todas las formas de alteración, sean químicos, físicos o biológicos.

Asimismo, la resistencia de las piedras a la acción del agua incide directamente en su durabilidad, y el contenido de agua de una piedra incidirá en los valores de resistencia mecánica y en las propiedades elásticas que presente.

La petrografía y la respuesta al agua de los materiales pétreos están íntimamente relacionadas. Si existen variaciones en la composición mineralógica y textural en una piedra existirán variaciones en sus características hídricas. Los cambios composicionales y texturales implican modificaciones en el sistema poroso.

Por lo tanto, el comportamiento hídrico será diferente y dependiente del sistema de poros en cuestión.

Los ensayos y parámetros que están relacionados con el comportamiento de las piedras frente al agua son muy diversos.

En general se observa la evolución y se mide el contenido en humedad en un número de muestras de rocas. Este procedimiento es independiente de que la humedad proceda de agua líquida o de vapor, para diferentes condiciones ambientales. Se suelen representar los sucesivos datos obtenidos en los ensayos en función del tiempo, en forma de curvas.

Esto ayuda a ilustrar la cinética de captación y pérdida de agua por parte de los materiales pétreos.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO EN AGUA Y EL CONTENIDO EN AGUA EN SATURACIÓN Y EN DESORCIÓN

La presencia de poros, huecos o de minerales higroscópicos en los materiales pétreos habilita a las rocas a captar o absorber agua mediante diferentes mecanismos. La desorción se da en sentido contrario. Frente al caso de un cambio en las condiciones ambientales, por ejemplo, un aumento de temperatura o una sequía, se facilitaría la evaporación. En este caso, el agua que se encontrara en el interior de la roca tendería a salir.

CONTENIDO EN AGUA: *(W)* se mide a través de un parámetro que cuantifica la absorción de agua. Se parte de la absorción libre por inmersión de la piedra en agua.

CONTENIDO EN AGUA EN SATURACIÓN: *(Ws)* se obtiene gracias al mismo tipo de ensayo que el del contenido en agua pero realizado al vacío.

Entonces, si se sumerge una roca en agua en condiciones normales de presión y de temperatura, ésta absorberá una cierta cantidad de agua más o menos rápidamente, dependiendo de sus características petrográficas y del volumen de los poros y de su conectividad. Este ensayo se debe realizar por inmersión total de las muestras en agua, a unos 20 ºC (± 2 ºC), durante un tiempo determinado. El resultado representa la cantidad de agua absorbida libremente por la piedra. Las diferencias obtenidas de la comparación de los dos ensayos (libre y al vacío) están en relación directa con la tortuosidad del sistema poroso del material pétreo bajo análisis. Cuanto mayor es la facilidad de comunicación entre los poros, menor es la diferencia entre los valores de ambos parámetros. De esta forma, la comparación de ambos valores puede servir como acercamiento para saber el grado de conectividad entre los poros.

El procedimiento es sencillo: se pesan las muestras de piedras en seco, luego se introducen en el agua y se determina su peso a intervalos regulares de tiempo. Se continúa este procedimiento hasta observar que se alcanzan los valores de equilibrio en saturación.

Cuantos más bajos son los coeficientes que caracterizan a la absorción, menor es la influencia negativa o alteradora del agua en la piedra. Por lo tanto, su durabilidad frente al agua será mayor.

DESORCIÓN: evaporación de agua que se da durante la fase de secado de la piedra. La desorción es importante desde el punto de vista de la durabilidad de la piedra. Una desorción fácil y rápida del agua contenida en la roca asegura la libre transferencia de la humedad al exterior de la piedra. Con ello se evita la retención prolongada de humedad al interior de las rocas, favoreciendo a los procesos de alteración físicos y químicos. Si la evaporación lleva aparejada la cristalización de sales solubles, los daños a la piedra por este sencillo proceso pueden ser importantes. Además, los ciclos de sequedad-humedad contribuyen significativamente al deterioro progresivo de los materiales rocosos.

Para llevar a cabo este ensayo se pueden utilizar las mismas muestras del ensayo de absorción, una vez alcanzada la saturación por inmersión en agua. Las condiciones estables del secado son, en general, las siguientes: una humedad relativa del 75 % y una temperatura media de 18 ºC, con variaciones a lo largo del ensayo que no superan el 5 %. Al comienzo del ensayo se deben limpiar las probetas con un paño húmedo y colocarlas sobre una rejilla. De este modo la evaporación afectará a toda la superficie. Los intervalos de tiempo en que se deben realizar las mediciones se suelen ampliar a lo largo del ensayo.

CONTENIDO EN AGUA EN DESORCIÓN: *(We)*, el contenido en agua y el contenido en agua en saturación se presentan en forma de curvas, que relacionan los porcentajes de humedad con el tiempo transcurrido, en general en horas.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO EN AGUA HIGROSCÓPICA

Frente a un ambiente húmedo, las rocas tienden a ponerse en equilibrio con él. Para esto, absorben vapor de agua. Este vapor de agua se pierde cuanto aumentan los niveles de evaporación según cambios en las condiciones ambientales. Este fenómeno es conocido como ***HIGROSCOPICIDAD***.

En general, se puede decir que el comportamiento higroscópico de las piedras depende de la humedad ambiental, de la presencia de determinados minerales o de sales en las rocas y también de la configuración del sistema poroso.

Cuanta más humedad encontremos en el ambiente, mayor humedad higroscópica habrá en el interior de las rocas. Las diferencias de presión de vapor entre la piedra y el ambiente establecerán las velocidades de transferencia de vapor de agua.

De este modo, las rocas con conductos capilares pequeños no permitirán la condensación del vapor de agua en su interior aunque las presiones de vapor estén lejanas a las de saturación. Cuanto menor sea el tamaño de los capilares, más agudo será este fenómeno.

Por otro lado, otro parámetro que determina la capacidad higroscópica de una piedra es su superficie específica. La capacidad higroscópica aumente en razón inversa al tamaño de los poros.

Es decir, que en rocas con valores próximos de porosidad, aunque con distintos tamaños de poros, las rocas que tengan poros menores presentarán una mayor capacidad higroscópica y absorberán más cantidad de vapor de agua.

Existen algunos minerales que están presentes en las rocas y que tienen características higroscópicas. Estos minerales pueden ser determinadas arcillas o ciertas sales. Las piedras utilizadas en edificación tienen la mayoría de las veces, un alto componente en sales solubles altamente higroscópicas, lo que provoca que aumente su capacidad destructiva.

CONTENIDO EN AGUA HIGROSCÓPICA *(Wh):* parámetro que se utiliza para medir la capacidad higroscópica de las rocas. También se presenta en forma de curvas que relaciona porcentajes de humedad con tiempo transcurrido.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PENETRACIÓN CAPILAR Y EL COEFICIENTE DE CAPILARIDAD

Los materiales porosos poseen la capacidad de succionar agua por encima del nivel que presenta la superficie líquida en contacto con ellos. Este movimiento vertical del agua a través de un material rocoso *(**ASCENSIÓN CAPILAR**)* se fundamenta en la presión de succión. La capacidad para succionar agua depende de la presión, y ésta es inversamente proporcional al tamaño de los capilares. La altura alcanzada será tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de los conductos entre los poros y dependerá del rango de distribución del tamaño de los poros. De este modo, las piedras con mayor proporción de microporos serán las que exhibirán mayores alturas o coeficientes de penetración capilar.

Esto es de sumo interés para los materiales pétreos situados en las partes bajas de las edificaciones, a los cuales puede llegar el agua por ascensión capilar procedente de niveles freáticos del suelo o de la humedad del terreno en que se asiente. La humedad del suelo ocasiona variaciones sensibles en el contenido de agua de los materiales en contacto y logra la consiguiente degradación y debilitamiento de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos que sirven de basamento a la construcción.

El ensayo determinará la capacidad de succión de agua de la piedra por efecto de la succión capilar. Esta prueba suele llevarse a cabo en una cubeta de plástico. Sobre esta cubeta se coloca una placa porosa (arenisca) y encima de ella se sitúa un papel de filtro grueso. Luego se añade agua destilada hasta el nivel de dicho papel. El nivel se mantiene constante a lo largo del tiempo de ensayo. Una vez comenzado el ensayo, y puestas las probetas sobre el papel de filtro, se debe medir la cantidad de agua absorbida a través del tiempo. Una vez que se alcance el equilibrio, comenzará una disminución gradual de la succión, hasta que se estabiliza. Este ensayo se debe realizar en condiciones ambientales a partir de muestras previamente secadas. La humedad relativa debe rondar el 75 % y la temperatura los 18 ºC.

El parámetro que resulta es el llamado ***COEFICIENTE DE ABSORCIÓN CAPILAR C***. Además del coeficiente de capilaridad C, se suele determinar en el mismo ensayo el ***COEFICIENTE DE PENETRACIÓN CAPILAR A***. Este coeficiente último cuantifica la altura alcanzada por el agua succionada.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

DIFUSIVIDAD: permeabilidad al vapor de agua. Esta propiedad se refiere a la capacidad del vapor de agua a fluir por el seno de las piedras. El proceso es importante ya que un gran porcentaje del agua de la atmósfera que se introduce en el interior de los materiales rocosos lo hace en forma de vapor. Por lo tanto, la difusividad o la permeabilidad al vapor de agua es un parámetro de interés esencial a la hora de evaluar la capacidad de absorción de agua, así como la alterabilidad de materiales rocosos naturales sometidos a tratamientos de de consolidación y protección. La difusividad, o permeabilidad al vapor de agua, mide la cantidad de vapor de agua que puede fluir por un material rocoso cuando se establece un gradiente de presión entre dos superficies paralelas del mismo. Esta propiedad se expresa numéricamente por la cantidad de vapor de agua que fluye, por unidad de tiempo y de superficie, y en condiciones estacionarias, a través de un cuerpo de espesor dado y superficies paralelas, perpendicularmente a ellas, y bajo el efecto de una diferencia de presión parcial de vapor de agua entre las superficies.

La difusividad es una propiedad estrechamente relacionada con las condiciones ambientales que establecen el gradiente de presión por el que se produce el flujo de vapor. También influyen la porosidad y el tipo de conectividad de los poros.

El ensayo consiste en colocar la probeta de piedra, que actúa como tapón, en una célula de medida de material ligero (aluminio, metracrilato). La probeta debe haber sido secada previamente en estufa a 60 ºC, hasta masa constante. En el fondo de la célula se deben colocar 20 cm^3 de agua empapados en algodón hidrófilo. Se debe pesar la célula de medida con el agua y la probeta. Luego hay que introducir la célula en un recipiente o desecador con gel de sílice, para que se mantenga constante la diferencia de presión parcial de vapor de agua en ausencia de ventilación.

Por último, el recipiente cerrado con el aparato de medida es introducido en una cámara termostática o climática, y se mantiene la temperatura constante (20 ºC ± 2 ºC) a lo largo de todo el ensayo. En intervalos regulares de tiempo (cada 24 horas) se deben efectuar pesadas hasta que las variaciones de peso registradas en dos pesadas sucesivas difieran en menos del 5 %.

La permeabilidad al vapor de agua para cada probeta se obtiene calculando el valor medio de las variaciones de peso en el intervalo de tiempo preseleccionado. Se deben tener en cuenta al menos dos valores registrados en régimen estacionario. El incremento negativo de masa se divide luego por la superficie de la probeta atravesada por el flujo de agua. Para cada serie de probetas de una variedad rocosa se calcula su valor promedio. El valor resultante se expresa en $g/m^2.24h$ y refiere a 20 ºC.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA *(Kv):* es muy importante en los materiales pétreos tratados con productos de conservación. La idoneidad de estos productos (ya sea consolidantes o hidrofugantes) está relacionada estrechamente con las variaciones de la permeabilidad al vapor inducidas por los productos de tratamiento.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE HINCHAMIENTO

Algunos materiales rocosos, en la fase de absorción de agua, desarrollan tensiones internas que se manifiestan en un incremento de volumen (dilatación), siempre que se lo permita su grado de confinamiento. La pérdida de agua trae consigo un proceso de contracción o retracción. Los valores de hinchamiento son irrelevantes y casi no ocasionan daños físicos al material. Pero con ciclos repetidos de contracciones y expansiones se generan tensiones internas que originan fisuras que, con el tiempo, contribuyen a deteriorar los materiales rocosos de manera grave.

Se considera que la expansión hídrica o el hinchamiento es un síntoma de baja calidad potencial de la piedra. Por lo tanto, es un parámetro esencial a la hora de valorar la durabilidad de los materiales pétreos, especialmente aquellos que contienen determinados minerales arcillosos expansivos (por ejemplo, las esmectitas). Materiales que presenten valores altos de expansión cuando entran en contacto con el agua deben contemplarse con precaución debido a su susceptibilidad a la degradación de sus cualidades físicas mediante esta vía de alteración.

En general, se determina la expansión que experimenta un material rocoso no confinado durante la absorción de agua a partir de la medida de su dilatación lineal, según una dirección determinada. El ***COEFICIENTE DE HINCHAMIENTO*** medido depende de la dirección considerada y del tiempo. La expansión o dilatación lineal (e_s) se obtiene como el cociente entre el incremento de longitud que experimenta la roca (DL) –cuando absorbe agua– y la longitud de la roca seca (Lo) para una dirección determinada. Habitualmente, cuando las piedras tienen susceptibilidad a expandirse, el parámetro que se determina es el de expansión o hinchamiento libre en tres direcciones ortogonales en el espacio. Esto se representa como S_1, S_2 y S_3. Los ensayos de hinchamiento se aplican, en general, sólo a aquellas variedades de piedras que presentan arcillas potencialmente expansivas. Las probetas que se utilizan son de forma prismática, de aproximadamente 70 x 30 x 30 mm. Una vez secadas en el horno, a una temperatura de 60 ºC hasta masa constante y medidas sus longitudes en las tres direcciones ortogonales (± 0,1 mm) se deben colocar en el equipo de medición del hinchamiento. Se ajustan los comparadores a cero (sensibilidad 1 mm) y se añade a continuación agua destilada a una temperatura de 18 ºC hasta que se cubren sus tres cuartas partes. Una vez que el ensayo ha comenzado, se van midiendo los incrementos de longitud registrados a intervalos regulares. A partir de estos valores se obtiene la dilatación lineal.

III. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DEFORMACIONALES

Cuando los materiales pétreos se ven sometidos a tensiones pueden deformarse. El nivel de deformación que presenten está en función de los parámetros físicos deformacionales que presenten.

Las deformaciones pueden ser debidas a tensiones originadas por esfuerzos mecánicos, esfuerzos térmicos o esfuerzos dinámicos.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Cuando se habla de propiedades mecánicas, se está hablando de los comportamientos de los materiales rocosos bajo distintos tipos de esfuerzos mecánicos.

Estos esfuerzos se pueden tratar de la compresión y de la tracción, entre otros. Las piedras de las construcciones, a partir de un nivel de tensión determinado, pueden sufrir daños físicos irreversibles.

Estos daños físicos irreversibles contribuyen a la degradación del material y a las inestabilidades estructurales. Es por esto que el estudio de las propiedades mecánicas de las piedras constituye uno de los puntos ineludibles a la hora de establecer una caracterización correcta del material, para poder realizar un diagnóstico válido de alteraciones.

En líneas generales, cuando se intenta conocer la resistencia mecánica de una piedra, lo que se trata de saber es la medida del esfuerzo bajo el que esta piedra se rompe o su capacidad de aguantar esfuerzos sin romperse.

Las propiedades mecánicas cuyo estudio es básico son:

- ***DUREZA***
- ***RESISTENCIA A LA ABRASIÓN***
- ***RESISTENCIA AL CHOQUE***
- ***RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN***
- ***RESISTENCIA A LA TRACCIÓN***
- ***RESISTENCIA A LA FLEXIÓN***

DUREZA: (de una roca) es su resistencia a la adquisición de deformaciones permanentes, debidas principalmente a la penetración y rayado por cuerpos determinados. Esta resistencia está relacionada directamente con la densidad de la piedra, con la resistencia a la compresión y con la elasticidad del material. La dureza de los materiales pétreos, entonces, depende de la dureza de sus componentes minerales y del grado de cohesión entre ellos.

Existen diversos tipos de ensayos para medir la dureza de las piedras, y las medidas cuantitativas de dureza dependen de cuál sea el método de ensayo empleado.

PARAMETRO	ENSAYO
W: contenido en agua	Imbición: absorción libre de agua
Ws: contenido en agua en saturación	Saturación: absorción de agua al vacío
We: contenido en agua en desorción	Evaporación: desorción de agua
Wh: contenido en agua higroscópica	Higrospicidad: absorción de vapor de agua
A: coeficiente de penetración capilar	Capilaridad: absorción de agua por succión capilar
C: coeficiente de capilaridad	
K_V: coeficiente de permeabilidad al vapor de agua	Difusividad: permeabilidad al vapor de agua
e_S: Coeficiente de expansión lineal	Hinchamiento: expansión hídrica

ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS DE MATERIAL PÉTREO

En general, la dureza de los minerales que conforman las rocas se mide según escalas comparativas, de acuerdo con el rayado de unos minerales por otros. La escala más utilizada es la escala de Mohs. Esta escala va desde el 1 (el talco) hasta el 10 (el diamante).

Las escalas se utilizan sobre todo para rocas compuestas por un solo mineral (monominerálicas). Otros ensayos para medir la dureza de los materiales pétreos son la ***PENETRACIÓN*** (o ***INDENTACIÓN***) y los ensayos de *rebote* (o ***DINÁMICOS***).

Los ensayos de ***penetración*** utilizan indentadores normalizados (que pueden ser conos, esferas o dientes piramidales) y miden la dureza a la penetración. La dureza a la penetración se expresa como la fuerza aplicada por unidad de superficie producida (kp/mm^2). Los ensayos de penetración más utilizados son los de Knoop y Vickers.

Los ensayos de ***REBOTE*** también son varios. Se trata de determinar la dureza de la piedra en función de la altura del rebote de una esfera elástica sobre el material. Un ensayo de rebote utiliza el escleroscopio para medirlo. Otro de los instrumentos que se utilizan para medir la dureza de las piedras de construcción mediante el rebote es el martillo Schmidt.

Hay que aclarar que el martillo Schmidt se utiliza especialmente con el hormigón y con otros materiales de la construcción.

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: se puede decir que la dureza de la roca está en relación directa con el desgaste. Pero el desgaste no está relacionado con la resistencia a la compresión. Las rocas carbonatadas se desgastan más que las silíceas, mientras que las areniscas muestran valores variables de desgaste, dependiendo de su mineralogía y cemento.



Ensayo sobre una probeta de piedra para determinar el módulo de elasticidad.



Ensayo de resistencia al rozamiento de distintos tipos de piedra.

DESGASTE POR ROZAMIENTO: se utiliza para medir la resistencia a la abrasión. Este procedimiento se refiere a la resistencia que presenta una piedra frente al desgaste que produce que se la frote con un material abrasivo, o frente al contacto con metales o entre rocas. Se utiliza este ensayo para la valoración de la calidad de las piedras que van a ser usadas en pavimentación y solado.

Existen ensayos para evaluar la ***RESISTENCIA AL CHOQUE***. La resistencia al choque depende de la cohesión de los elementos constitutivos de la piedra y de su elasticidad. Las rocas duras suelen ser más quebradizas que las blandas.

Cuando se evalúa la resistencia al impacto –o choque–, se estima la mayor o menor tenacidad de la piedra. El ensayo para determinar la resistencia al impacto es bastante simple.

Se deja caer un peso conocido sobre una probeta, desde una altura determinada. El número de golpes que resiste la probeta hasta que se rompa es el valor de la resistencia. También se puede medir por la altura desde la que se tira el peso y que se produce el quiebre de la probeta.

También se deben realizar ensayos para evaluar la ***RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN***. La resistencia a la compresión de un material depende de factores intrínsecos –la composición mineral, su textura, fisuración, porosidad– y de factores extrínsecos –factores ambientales, de procedimiento, de tamaño de probetas. Un factor muy importante en la evaluación de la resistencia a la compresión es la presencia de agua.

Una roca seca es más resistente que la misma roca saturada en agua. Del mismo modo, el grado de meteorización de la piedra incide en la resistencia mecánica. Así, a mayor meteorización, menor resistencia. La alterabilidad o durabilidad de las piedras también está relacionada con la resistencia a la compresión. Los materiales más resistentes a compresión mecánica son en general los más durables (aunque existen algunas excepciones).

Sin embargo, posibles anisotropías estructurales y texturales de la roca pueden hacer variar la resistencia mecánica de compresión, según que los esfuerzos actúen en una dirección o en otra.

La resistencia a la compresión de una roca se expresa como la relación entre la carga máxima registrada antes de la fractura macroscópica de la probeta y la superficie sobre la que se aplica dicha carga.

ENSAYO UNIAXIAL: (o *simple*) es el más conocido y generalizado para medir la resistencia a la compresión simple de las piedras (Rc). En este tipo de ensayo se somete a las probetas de roca, en una prensa, a esfuerzos de compresión no confinados, hasta que se rompen. Los valores de resistencia a la compresión son variados, tanto entre los diferentes tipos de rocas como entre una misma litología.

En general, se puede decir que las rocas cristalinas, de grano fino y poco porosas son más resistentes que las cementadas, de grano grueso y porosas.

Los ensayos de compresión uniaxial sirven también para medir las deformaciones del material bajo esfuerzo de compresión. El conocimiento de las características elásticas de las piedras es imprescindible para poder predecir su comportamiento deformacional como piedra de mampostería o sillería. Los ensayos se suelen llevar a cabo sobre probetas cilíndricas, siguiendo normas de la ISRM que recomiendan esbelteces entre 2,5 y 3.

Sobre las probetas se colocan, de forma longitudinal, bandas extensométricas con el fin de medir las deformaciones producidas durante el ciclo de descarga. También se puede colocar un captador de emisión acústica para registrar la actividad microsísmica generada en las probetas, cuando se encuentran sometidas a cargas.

El estudio de los registros de esta actividad acústica (o emisión acústica) se puede determinar el umbral de microfisuración mecánica. El umbral de microfisuración mecánica es el nivel de carga al que comienzan a generarse y propagarse microfisuras debido a los esfuerzos de compresión aplicados.

Las mediciones de las deformaciones producidas, se presentan en forma de ***CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN***, y a partir de éstas se pueden calcular los ***MÓDULOS DE ELASTICIDAD***.

Se calcula el módulo de Young tangente (Et) como el cociente entre la carga y la deformación longitudinal, medidas ambas en el tramo de comportamiento elástico de la curva esfuerzo-deformación. Las unidades resultantes se expresan en MPa (megapascales).

También se puede calcular el módulo relativo (Er) como la relación entre Et y la resistencia a la compresión simple (Rc).

Este cálculo resulta útil para establecer una clasificación geomecánica de las variedades estudiadas.

Hay que tener en cuenta que muchos elementos pétreos utilizados para la construcción deben soportar esfuerzos de extensión (incluso más a menudo que esfuerzos de compresión), por lo que se hace necesaria la evaluación de la ***RESISTENCIA A LA TRACCIÓN*** (o ***EXTENSIÓN***).

La medición de la resistencia a la tracción se basa en dos ensayos básicos: el *ensayo de tracción directa* y el *ensayo de tracción indirecta.*

Las anisotropías estructurales, la fisuración y el contenido en agua de las probetas influyen en los valores de resistencia a la tracción de manera importante.

ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA: se basa en someter una probeta cilíndrica a esfuerzos de tracción, hasta que se consiga la fractura de la probeta por su parte central y perpendicularmente a la dirección de los esfuerzos aplicados.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA: es mucho más utilizado porque resulta muy fácil y cómodo de realizar.

En este tipo de ensayos, la probeta (disco) se somete a compresión diametral entre los platos de una prensa hasta que se logra la rotura de la misma (separada en dos mitades), según un plano que coincide con la dirección de aplicación de la carga.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN: se realiza para valorar la calidad de las pizarras de techar y de las placas y losetas de revestimiento.

El ensayo de resistencia a la flexión requiere que se aplique una carga sobre un cilindro o vigueta (probeta prismática) a través de tres o cuatro puntos de apoyo.

Estos puntos de apoyo deben ser uno o dos superiores y dos inferiores en los extremos. La carga debe aplicarse hasta la rotura de la probeta por un plano de fractura central.

La medida que se obtiene gracias a este ensayo se denomina módulo de ruptura (R), aunque en realidad no es una “resistencia” porque la fuerza que se aplica no actúa sobre una superficie.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

Los materiales pétreos utilizados en la construcción, en general, se ven expuestos a la intemperie. Por esta razón es que suelen verse afectados por cambios de temperatura, en forma de ciclos térmicos diurnos o estacionales. Estos ciclos, en determinados ambientes y sobre determinadas piedras, pueden generar lesiones características o ayudar al desarrollo de otras (por ejemplo, desplacaciones). Por lo tanto, el estudio de las propiedades térmicas es muy útil para interpretar las lesiones que generan y que inciden en el deterioro de la piedra. Así, la correcta caracterización de un material rocoso que debe ser diagnosticado en cuanto a sus posibles lesiones debe incluir ensayos para la determinación de sus propiedades térmicas.

Entre las propiedades térmicas más significativas de los materiales rocosos están:

- ***CALOR ESPECÍFICO***
- ***CONDUCTIVIDAD***
- ***EXPANSIÓN TÉRMICA***

Estas propiedades están en relación con la absorción y el transporte de energía calorífica a través de los cuerpos.

Ensayos para evaluar el ***CALOR ESPECÍFICO***. El calor específico es la cantidad de energía calórica que se necesita para elevar una unidad de temperatura a la unidad de masa. Su determinación implica la realización de ensayos utilizando los calorímetros. El calor específico se expresa en J/Kg ºK, o sino en cal/gºC. Las rocas poseen, en general, un calor específico alto (cercano a los 0,2 cal/gºC en rocas ígneas) y una gran inercia térmica. Así, las rocas toman calor y lo desprenden lentamente.

Ensayos para evaluar la ***CONDUCTIVIDAD TÉRMICA***. La conductividad térmica es una medida de capacidad aislante o conductora de un material pétreo. Es la relación que existe entre la cantidad de energía calórica que atraviesa una superficie en la unidad de tiempo y el gradiente térmico medido en la dirección perpendicular a esa superficie. Se expresa en W/mºK o en cal/s·cmºC.

Las características intrínsecas del medio rocoso, especialmente la composición mineralógica, la textura y la porosidad, están directamente relacionadas con la conductividad térmica.

La conductividad térmica se puede calcular de manera teórica a partir de las conductividades de los minerales individuales que forman una roca y de sus porcentajes modales. De todas maneras, los métodos experimentales son los más utilizados. Los valores que se obtienen desde un cálculo teórico de la conductividad térmica suelen ser más elevados (hasta un 9 %) que los medidos de forma experimental. Esta diferencia se debe a los espacios vacíos de la roca. La conductividad térmica de las rocas es baja (entre 2 y 6 W/mºK), y es más baja cuanto mayor es la porosidad que presentan.

Ensayos para evaluar la ***EXPANSIÓN TÉRMICA***. Como muchos de los materiales existentes en la naturaleza, cuando las rocas se calientan sufren un proceso de dilatación. La medición de la dilatación se da a través del ***COEFICIENTE DE EXPANSIÓN LINEAL TÉRMICA***. Este coeficiente se define como el incremento de longitud que experimenta un material cuando se eleva su temperatura en un grado, expresado en mm/ºC. La dilatabilidad térmica de las rocas depende de varios factores, como la temperatura, la porosidad y la mineralogía de la piedra. Al aumentar la temperatura el coeficiente de expansión aumenta, sin importar el tipo de roca en cuestión. Por otro lado, cuanto mayor es la porosidad inicial, menor es la dilatación térmica y la expansión térmica de una roca es mayor cuanto más grande sea la de sus minerales constituyentes.

Los diferentes minerales que constituyen las piedras de edificación tienen, de común, coeficientes de expansión térmica diversos. De igual manera, en muchos de ellos el coeficiente varía según su orientación cristalográfica. La ***EXPANSIÓN TÉRMICA DIFERENCIAL*** genera en estos casos tensiones cuyos efectos son notables en las interfases cristalinas, tanto en los contactos de minerales diferentes como en los bordes de granos homofásicos cuando los cristales tienen diferente orientación.

La acumulación de tensiones de origen térmico llega a superar localmente la resistencia a la rotura del mineral, umbral de microfisuración térmica, produciéndose la apertura de fisuras, cuya repetición por el interior de la masa rocosa contribuye al aumento de la densidad de microfisuración y, por lo tanto, de su porosidad. De este modo, la dilatación térmica diferencial contribuye a la generación y propagación de nuevas vías por donde puede penetrar la humedad hacia el seno de las piedras. Se puede decir que cuando una muestra rocosa se microfisura por calentamiento a diversas temperaturas, el coeficiente de expansión térmica lineal varía inversamente con el incremento de la microfisuración.

ENSAYOS Y PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS

Cuando se aplica un esfuerzo mecánico de manera repentina sobre un sólido, se produce una deformación que se va transmitiendo en su interior según la naturaleza del esfuerzo aplicado y de las características intrínsecas del sólido.

Este fenómeno se representa gráficamente por las vibraciones que sufren las partículas del sólido durante el tránsito de la deformación. Como los materiales rocosos son en general discontinuos, heterogéneos y presentan anisotropías variables, la deformación que se transmite en su interior va discrepando en su carácter elástico, en la misma medida en que la roca se aleja del comportamiento ideal teórico.

La teoría dice que cuando se aplica un esfuerzo a un cuerpo continuo, homogéneo, isótropo y sin límites, tiene lugar el tránsito de una deformación elástica perfecta y la vibración de sus partículas responde a movimientos oscilatorios periódicos.

La medición de parámetros relacionados con la propagación de ondas elásticas es útil para estudiar las características petrofísicas de los materiales de construcción. Esto se debe a que el análisis de las deformaciones estará diciendo cosas sobre el carácter elástico/inelástico de la piedra, reflejará su estado de alteración y la presencia o ausencia de fisuras y poros.

Los ensayos para estudiar las deformaciones de las piedras debidas a esfuerzos mecánicos de deformación son ***PROCEDIMIENTOS O ENSAYOS ULTRASÓNICOS***. Este tipo de ensayo es muy útil para la diagnosis de patologías de los materiales de construcción porque se puede utilizar de forma que tenga características no destructivas, aunque también se puede realizar mediante probetas en laboratorio. La interpretación de los resultados del análisis por ultrasonidos se realiza a partir del análisis de las variaciones que experimentan las ondas durante su paso por el material.

Los ultrasonidos son ondas elásticas, de la misma naturaleza que las ondas sonoras, pero con frecuencias que se sitúan por fuera del rango de percepción humana. Existen dos tipos de ondas elásticas: las ondas elásticas internas y las ondas elásticas de superficie. Las internas se propagan por el interior del material. Las de superficie se propagan sobre ésta, y su penetración no supera a una longitud de onda.

Ya se ha dicho que la propagación de ultrasonidos depende de factores intrínsecos del medio rocoso, pero también de factores extrínsecos. Entre los intrínsecos hay que destacar a la densidad, la porosidad, la mineralogía y la textura.

Uno de los ensayos consiste en generar por medio de ciertos instrumentos la deformación (onda elástica). Esta onda se inyecta en el medio rocoso y se recoge después de viajar por él. Finalmente, se procesa y se determinan los parámetros ultrasónicos.

PROPIEDADES FISICAS	INVESTIGAR
Propiedades mecánicas	Dureza
	Resistencia a la abrasión
	Resistencia al choque
	Resistencia a la compresión
	Resistencia a la tracción
	Resistencia a la flexión
Propiedades térmicas	Calor específico
	Conductividad
	Expansión térmica
Propiedades dinámicas	Elasticidad / inelasticidad

ENSAYOS FÍSICO-DEFORMACIONALES PARA CONOCER LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ELEMENTO DE PIEDRA

Las ondas que se emplean más comúnmente son las internas que, según la forma y dirección del movimiento de las partículas afectadas, se pueden clasificar en ondas longitudinales y ondas transversales. En las ondas longitudinales la vibración de las partículas del medio se realiza en dirección paralela al avance de la onda. En las ondas transversales la vibración de las partículas se realiza en dirección perpendicular a la de propagación de la onda.

Los parámetros para caracterizar a la onda elástica son la amplitud, el período de vibración, la longitud de onda y la frecuencia. Pero existen parámetros que son característicos del material, por lo que condicionan la propagación de la onda en su interior.

Los parámetros característicos del material son la ***VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN*** y la ***IMPEDANCIA ACÚSTICA***.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS LONGITUDINALES (Vp): es el parámetro más utilizado en los materiales rocosos. La velocidad de propagación presenta valores muy variables, entre los diferentes tipos de piedra y al interior de esos tipos, según el grado de alteración que las rocas puedan presentar.

Se puede decir que cuanta más densidad presente el medio rocoso, la velocidad de propagación de ondas será mayor. Asimismo, cuanto más poroso sea el medio rocoso, la velocidad de propagación será más lenta. Esta velocidad también depende del mineral que componga a las piedras y del grado de alteración de los mismos. En cuanto a la textura, se puede agregar que la velocidad de propagación de ondas aumenta cuando disminuye el tamaño del grano.

El factor extrínseco principal que influye en la propagación de ondas de ultrasonido es el contenido en agua de la piedra. Las ondas longitudinales se transmiten con mayor velocidad en el agua. Así, una roca húmeda o saturada en agua presentará mayor velocidad de propagación de ondas que una roca seca.

Las ondas transversales se propagan solamente a través del armazón mineral de la piedra. A esto se debe que su velocidad sea casi constante, independientemente del nivel de humedad o saturación que presente la roca.

Un equipo de ultrasonidos está compuesto por un excitador del emisor (es un oscilador o generador de impulsos eléctricos), un sistema de sincronización de tiempos, un transductor emisor, un transductor receptor, un amplificador, un sistema de filtrado y un registro. El contacto entre el transductor y la roca se mejora utilizando interfases fluidas (grasa, vaselina, miel) y se evitan así pérdidas de señales.

Otro parámetro acústico utilizado para la caracterización de los materiales pétreos es la medición de la ***FRECUENCIA***. La frecuencia permite obtener información sobre las características del material. El uso de este parámetro no es simple, por lo que su uso no está muy extendido.

ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD

Dentro de las técnicas de diagnóstico que se deben llevar a cabo en el laboratorio hay que incluir a los ***ENSAYOS DE DURABILIDAD***. Los métodos experimentales de análisis de la durabilidad de las piedras recurren a pruebas de laboratorio en que las muestras de roca se someten a diferentes ensayos de ***ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO***, o ensayos de durabilidad.

La durabilidad es la capacidad o aptitud de un material para resistir la acción agresiva de los agentes de alteración. Los estudios de durabilidad comprenden diversos procedimientos, entre los que están los métodos indirectos (estudios petrofísicos de la piedra), los comparativos y los experimentales (o de laboratorio). Estos métodos deben ser complementarios a la hora de la valoración de resultados. Los ensayos de durabilidad tienen como objetivo medir la capacidad de una piedra de edificación para desempeñar la función que se le asigna en la obra, durante un período temporal relativamente largo y sin experimentar cambios de apariencia inaceptables, cambios en alguna de sus propiedades o la pérdida de su integridad física.

Esta es la razón por la que este tipo de estudios son muy útiles a la hora de efectuar un diagnóstico de lesiones de los materiales rocoso.

Los ensayos de durabilidad ayudan a predecir el comportamiento de la piedra en obra, a establecer índices de calidad o durabilidad y a evaluar los tratamientos que se propongan mediante la comparación entre la durabilidad de una piedra sin tratar y una tratada con productos de conservación.

Estos procedimientos ayudan a comparar entre las formas y mecanismos de deterioro que se registran en el sitio y los que se registran en el laboratorio y, por último, ayudan a establecer pautas de comportamientos diferenciales de los materiales pétreos frente a diferentes agentes de alteración.

Sin embargo, este tipo de ensayos presentan también limitaciones importantes. Por un lado, hay que tener en cuenta la imposibilidad de cuantificación de la durabilidad de una roca basándose en un ensayo único de laboratorio. Las condiciones de laboratorio nunca llegan a reproducir la cantidad de factores ambientales que actúan de manera conjunta en el medio ambiente natural. En general, se pueden reproducir mediante pruebas de laboratorio uno o dos agentes de alteración.

Los ensayos no llegan, entonces, a reproducir la interacción compleja y dinámica de la piedra con la naturaleza. Por otro lado, la intensidad de los agentes que se pongan a prueba se establece por encima de lo que es usual en el medio real, mientras los tiempos de programación de los procedimientos son mucho más cortos.

De este modo, muchas reacciones de alteración que sí se producirían en la realidad, no llegan a originarse en las condiciones de laboratorio. Por último, hay que tener en cuenta el “efecto escala”. El tamaño de las probetas con muestras pétreas es muy pequeño si se lo compara con los muros de un edificio. Así, se puede llegar a tener resultados distorsionados.

Pero aunque hay que tomar recaudos antes de extrapolar resultados de los experimentos de durabilidad, son muy útiles para establecer comportamientos diferenciales de los materiales pétreos frente a agentes de alterabilidad concretos.

Dentro de los ensayos de envejecimiento acelerado, se pueden encontrar:

- ***BÁSICOS***
- ***ATMÓSFERAS CONTROLADAS***
- ***DIVERSOS***

ENSAYOS BÁSICOS

Los ensayos básicos se basan en la repetición cíclica de un determinado proceso. En ese proceso se acentúa sensiblemente la acción del agente agresor, que puede ser agua, hielo o sales solubles. Los ensayos más utilizados son los de ***humedad-sequedad***, de ***hielo-deshielo*** y de ***cristalización de sales***.

Para llevar adelante los ensayos básicos, se pueden realizar un número prefijado de ciclos y después evaluar el resultado; o se puede hacer cuantos ciclos sean necesarios para alcanzar la rotura de las muestras (o algún nivel de alteración especificado). Antes de la realización del ensayo, las probetas deben estar secas, rotuladas y orientadas y fotografiadas. Por otro lado, se las debe pesar y registrar su peso seco inicial, con una precisión de 0,01 g.

PROPIEDADES FISICAS	PARAMETROS A INVESTIGAR
Ensayos básicos	Ciclos de hielo-deshielo
	Ciclos de cristalización de sales
Ensayos de reproducción de atmósferas	Atmósferas contaminadas
	Niebla salina
	Lluvia ácida
Otros ensayos de durabilidad	Soluciones agresivas
	Rayos UV
	Desmoronamientos
	Ensayos combinados

ENSAYOS DE DURABILIDAD DE LOS ELEMENTOS DE PIEDRA

ENSAYOS DE CICLOS DE HUMEDAD-SEQUEDAD: tienen la función de hacer conocer el efecto que tiene el agua sobre las piedras. Para poder conocer este efecto, se simulan los cambios a los que se ven sometidos los edificios. Estos cambios incluyen la alternancia de días secos y de días lluviosos. La alternancia de humedad y sequedad puede provocar una acción disgregadora y disolvente sobre la piedra.

El ensayo de humedad-sequedad es muy sencillo, pero no está normalizado. El procedimiento consiste en establecer ciclos alternos de inmersión y secado de las probetas. Un ciclo de 24 horas incluye una etapa inicial de inmersión total de las probetas en agua, que dura 16 horas. A partir de allí, se secan las probetas durante seis horas en estufa, a una temperatura variable entre los 60 y los 105 ºC. Luego hay que dejar enfriar las probetas durante dos horas. Se deben realizar más de 30 ciclos como los mencionados en este tipo de pruebas.

ENSAYOS DE CICLOS DE HIELO-DESHIELO: buscar conocer los efectos el hielo sobre las rocas. El incremento de volumen que tiene lugar al congelarse el agua en el seno de un sistema poroso determina la formación de fisuras y desagregaciones en las piedras. Este ensayo se realiza en dos etapas, en ciclos de 24 horas. Las etapas son la congelación y la descongelación.

Para llevar a cabo este ensayo se deben embeber las probetas en agua, según una inmersión libre que dura dos días. Se recomienda también para estos ensayos la toma de agua por capilaridad. La congelación se realiza a -15 ºC durante ocho horas.

Luego, se descongela las muestras sumergiéndolas totalmente en agua a temperatura ambiente (o en vez de sumergirlas se mantiene la toma de agua por capilaridad). El ciclo de descongelamiento se extiende durante 16 horas. El número de ciclos necesarios para llevar adelante esta prueba gira alrededor de 30.

Los ensayos de heladicidad sólo tienen interés en zonas donde las piedras están bajo el riesgo de sufrir la acción de alteración de las heladas.

ENSAYOS DE CICLOS DE CRISTALIZACIÓN DE SALES: valoran el efecto de las sales solubles que viajan en el agua sobre las piedras. Cuando las sales se cristalizan sufren un aumento de volumen que produce daños en las piedras importantes. Entre ellos están el picado de la superficie, la disgregación y la saltación de partículas. También producen alteraciones estas sales cuando pasan de estados anhidros a estados hidratados en el seno de los poros. Al ser el ensayo de cristalización de sales uno de los más agresivos, se encuentra completamente normalizado.

Se pueden distinguir tres etapas en los ciclos de 24 horas que caracterizan a estos ensayos. Primero la inmersión, luego el secado y por último el enfriamiento. En general, se utiliza el sulfato sódico decahidratado como sal a cristalizar, en solución acuosa al 14 %. Se sumerge las probetas totalmente en la solución a temperatura ambiente durante las 24 horas del ciclo. El secado se realiza en horno, durante 16 horas, a temperaturas que van de 60 a 105 ºC. Las cuatro horas restantes del ciclo hay que dejar enfriar las probetas. El fluido salino también se puede absorber por capilaridad en la primera etapa del ciclo. En el caso de las pruebas de cristalización de sales, diez ciclos repetidos suelen ser suficientes. Una vez terminada la ejecución de los ciclos, hay que eliminar las sales mediante la ejecución de sucesivos lavados.

Los esfuerzos que generan las sales al interior de las rocas porosas pueden dar lugar a una liberación de energía en forma de ondas elásticas. Estas ondas elásticas de emisión acústica se pueden registrar y analizar. Así, una combinación experimental de la técnica de cristalización de sales junto con la técnica no destructiva de medición de emisiones acústicas proveerá de resultados nuevos y esclarecedores acerca de la acción destructiva de las sales.

ENSAYOS DE REPRODUCCIÓN DE ATMÓSFERAS

Los ensayos de atmósfera controlada reproducen en el ámbito del laboratorio determinadas atmósferas modelo. Este tipo de procedimiento configura una simulación de las condiciones extremas en que se pueden encontrar los materiales pétreos, respecto de la naturaleza.

Dentro de los ensayos de reproducción de atmósferas, se pueden encontrar los ensayos de ***ATMÓSFERAS CONTAMINADAS***, los de ***NIEBLA SALINA*** y los de ***LLUVIA ÁCIDA***.

ATMÓSFERAS CONTAMINADAS: tienen la finalidad de analizar el efecto de los gases contaminantes sobre las rocas. Estos gases se encuentran presentes en las atmósferas contaminadas, especialmente en áreas urbanas e industriales.

El gas más utilizado en los exámenes de reproducción de atmósferas contaminadas es el dióxido de azufre. Este gas se usa en una atmósfera saturada de vapor de agua. El instrumental requerido consta de una cámara especial, que posee una parte inferior con un depósito de agua destilada. Los ciclos duran 24 horas. En las primeras ocho horas se introduce un volumen determinado de dióxido de azufre (SO_2) que puede ser de 0,2 o de 2 litros. El agua del depósito debe mantenerse a 40 ºC durante las ocho horas. Luego se abre la cámara y se deja enfriar. Simultáneamente, la humedad debe ir bajando. Este segundo proceso se lleva a cabo en las 16 horas restantes.

Otros gases utilizados en estos tipos de ensayo son el óxido de nitrógeno, el dióxido de carbono, o incluso, se pueden utilizar combinaciones de varios gases. Los gases además, pueden variar en sus concentraciones, lo que es útil para establecer comparaciones.

NIEBLA SALINA: tienen por objeto estudiar el efecto de los aerosoles marinos. Las piedras se ven sometidas a procesos de alteración debidos a la acción de estos aerosoles marinos, en las zonas costeras.

La realización de este tipo de ensayos requiere de una cámara especial, en la que se somete a las probetas a una niebla salina. Esta niebla o “spray” se genera por una disolución de NaCl al 5 % en agua destilada. Se debe mantener la temperatura constante a 35 ºC. La cantidad de niebla que se genera por unidad de tiempo y superficie, también debe ser mantenida en niveles constantes.

Los ensayos que analizan los efectos de la ***LLUVIA ÁCIDA*** sobre las piedras también reproducen en el laboratorio las condiciones de alteración. Se llama lluvia ácida a la lluvia que posee un pH inferior a 5,6. El procedimiento se basa en el sometimiento de las probetas de materiales pétreos al goteo continuo, o cíclico, de una solución ácida. La solución ácida puede ser obtenida a partir de ácido sulfúrico o de ácido acético. Se pueden realizar también ensayos de ***NIEBLA ÁCIDA (NEBULIZACIÓN)***. En este tipo de ensayos se pulveriza la solución sobre las probetas varias veces en las 24 horas del ciclo. La temperatura en este tipo de ensayos debe permanecer constante.

Existen distintos tipos de ensayo, más allá de los mencionados, que se utilizan para reproducir tipos determinados de atmósferas. Se pueden nombrar a los de ***ATAQUE CON SOLUCIONES AGRESIVAS***, los de ***EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES ULTRAVIOLETAS***, los de ***DESMORONAMIENTO*** y los ***ENSAYOS COMBINADOS***.

ATAQUE CON SOLUCIONES AGRESIVAS: se sumergen muestras de materiales pétreos en soluciones ácidas diluidas. Las soluciones ácidas diluidas pueden ser de ácido sulfúrico, de ácido nítrico o de ácido clorhídrico. Los resultados dan una aproximación a los efectos posibles de los gases contaminantes o de la lluvia ácida. Sin embargo, este ensayo proporciona una mitología demasiado simple y los resultados deben tomarse con mucho cuidado.

RADIACIONES ULTRAVIOLETAS: se utiliza una lámpara fluorescente de vapor de mercurio, para someter a las probetas a su luz durante un período de tiempo determinado. El tiempo puede variar de semanas hasta meses. La distancia de la lámpara con respecto de las muestras debe ser fija, a 40 cm, en determinadas condiciones ambientales. Se utiliza este procedimiento para evaluar las modificaciones cromáticas que pueden sufrir los materiales rocosos gracias a la acción de la luz solar.

DESMORONAMIENTO: son ensayos que producen ciclos de abrasión en estado húmedo. Se utiliza, sobre todo, para saber la durabilidad que presentan los materiales pétreos que están compuestos por porcentajes importantes de minerales arcillosos.

MIXTOS o ***COMBINADOS:*** son ensayos de mayor complejidad. Implican la puesta a prueba de las piedras bajo la acción de múltiples variables o agentes de alteración.

ENSAYOS PARA DETECTAR LA PRESENCIA DE MICROORGANISMOS

Los microorganismos son una fuente de alteración activa de las construcciones pétreas. Estas formas de vida microscópicas pueden producir degradaciones, que se conocen con el nombre de biodeterioro.

Los microorganismos pueden llegar a producir rupturas de tipo físico en las piedras, ya que algunas especies biológicas llegan a penetrar bastante profundamente en las piedras produciendo por presión interna pequeñas grietas, origen de posteriores fisuras. Además, los microorganismos producen alteraciones químicas que conllevan procesos de alteración diversos.

Para realizar estudios acerca de esta clase de patología existen ensayos de laboratorio. La realización de los ensayos hace necesaria la toma de muestras de piedra de la construcción a analizar. Lo más conveniente es que esas muestras provengan de diferentes ubicaciones de la construcción, para poder establecer comparaciones y grados de alteración. Entre los ensayos más comunes se puede nombrar a las ***MEDICIONES DE PH***, y a la ***INCUBACIÓN DE MUESTRAS***.

MEDICIONES DE PH: en las muestras en estudio se miden ligeras variaciones de pH, cuyo resultado posibilita la detección de cantidades variables de proteínas. Las proteínas son uno de los indicadores más utilizados para comprobar la presencia de seres vivos en los materiales rocosos.

INCUBACIÓN DE MUESTRAS*:* otro método para descubrir la existencia de microorganismos en las piedras es la inoculación de muestras en los medios adecuados para la incubación de los seres vivos.

Una vez producido el crecimiento, se leen los resultados tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. En general, se trata de descubrir la presencia de seres bióticos en los ***CICLOS DEL NITRÓGENO*** y del ***AZUFRE***.

En los ensayos para descubrir microorganismos con ***CICLOS DE NITRÓGENO*** se siembran distintas muestras en medios de cultivo adecuados para detectar la presencia de microorganismos oxidadores de amonio y de nitritos. Si en las muestras sembradas en los medios para oxidadores de amonio se encuentran nitritos, se está ante la existencia de microorganismos capaces de realizar esta oxidación. Si en las muestras sembradas en los medios para oxidadores de nitritos se encuentran nitratos, se está ante la existencia de microorganismos capaces de realizar esa oxidación.

Los ensayos que buscan descubrir la presencia de microorganismos del ***CICLO DEL AZUFRE*** proceden de manera análoga. Uno de los procedimientos consiste en sembrar las muestras en los medios adecuados para detectar oxidadores de azufre elemental. Así, si surge la presencia de sulfatos en las muestras, el resultado es positivo y se está en presencia de microorganismos capaces de realizar esa oxidación. Otro procedimiento dentro del ciclo del azufre es el de descubrir la existencia de oxidadores de sulfuro. Esto se realiza mediante la siembra en muestras preparadas, donde debe surgir la existencia de sulfatos para tener un resultado positivo.

Los microorganismos encontrados gracias a los ensayos de incubación de muestras descriptos, deben ser aislados en medio sólido para poder efectuarles estudios posteriores.

Como complemento indispensable de los ensayos mencionados, se deben realizar inspecciones ópticas y microscópicas, mediante las técnicas de microscopía electrónica de barrido y de microscopía óptica.

ENSAYOS DE VALORACIÓN DE LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS DE ACERO

El modo de sustento más usual de las construcciones de piedra son las armaduras de acero. Estas armaduras pueden ser originales o insertadas en restauraciones posteriores. La comprobación del estado de una armadura de acero está determinada por la incidencia que el proceso de oxidación pudo haber tenido sobre la piedra, ya que el aumento de volumen que provoca la oxidación en el interior de la piedra crea tensiones tan importantes como para lograr la rotura.

La corrosión del acero es el resultado de la emigración de iones de hierro electropositivos de la superficie, por acción de atracción motivada por condiciones ambientales ácidas. Se provocan así depósitos en superficie que son las que van a permitir la valoración del daño producido, gracias a sus características eléctricas de menor potencialidad.

Se utiliza para llevar a cabo el ensayo un electrodo de serie de calomelano (mercurial) saturado de un potencial eléctrico de -320 m. v. (s. hidrógeno) con el que los diferentes potenciales eléctricos obtenidos corresponderán a los distintos grados de corrosión producidos. Para lograr mayor precisión en la medición hay que tener en cuenta la influencia química del material circundante, la superficie de contacto y el propio material de acero a evaluar. El grado de corrosión del metal será reflejado en la medición por el detrimento del potencial eléctrico del mismo metal en su estado normal.

ANÁLISIS DE PÁTINAS

Las pátinas que presentan las piedras se estudian mediante muestras extraídas de las superficies afectadas. Para llevar a cabo los análisis hay que tener en cuenta la interacción de los componentes con los soportes, con el material pétreo y con el mortero. Para conocer los componentes de forman la pátina se pueden utilizar técnicas instrumentales ya mencionadas, como la espectroscopia de absorción infrarroja, la microscopía electrónica de barrido y la difracción de rayos X.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Una vez efectuados los ensayos, hay que proceder a la evaluación de los resultados. La evaluación implica la cuantificación del estado de alteración de la piedra y sus posibles causas. El estudio del deterioro de las piedras debe incluir la descripción de las formas de alteración, la valoración del grado de alteración y el biodeterioro.

Asimismo, se deben analizar los productos de la alteración, junto con la ubicación de las lesiones y su relación con el sustrato en el que se asientan.

El análisis de morteros, armaduras de acero y revocos es importante, junto con el reconocimiento de pátinas y recubrimientos.Para establecer los agentes y los mecanismos del deterioro, hay que combinar los resultados obtenidos a partir de los ensayos con los datos microclimáticos y nanoclimáticos. Estos datos, a su vez, deben ser correlacionados con los datos de contaminación ambiental.

La comparación de los resultados obtenidos mediante ensayos a muestras alteradas y no alteradas posibilita la medición de la patología a la que hay que enfrentarse con un tratamiento adecuado.

TRATAMIENTO

Cuando se plantea la necesidad de realizar un tratamiento sobre las construcciones pétreas siempre se hace necesaria una etapa de diseño previo del mismo.

Para llevar a cabo el diseño del tratamiento, todos los datos relevados en el período de diagnóstico deben conjugarse de la mejor manera, para poder construir hipótesis de trabajo válidas y eficientes, según el resultado que se quiera lograr.

La historia de los tratamientos sobre los materiales rocosos muestra cómo las concepciones de intervención han ido variando.

Ejemplo de esto es que hasta el siglo XIX existía un gusto muy desarrollado por la policromía sobre las piedras. A partir de finales de ese siglo, este gusto desaparece y comienza a incrementarse el interés por la piedra desnuda, en una especie de "regreso a lo auténtico".

Esto representó un cambio radical de la moda, que, junto con los avances tecnológicos y la producción de nuevos materiales, generó una evolución en las formas de elaborar las construcciones.

Así, en cuanto al tratamiento sobre los materiales pétreos, se condenó todo lo que tapara a la piedra, sustituyendo la función tecnológica de los estucos como sistemas de protección por productos traslúcidos aisladores que no ocultan la imagen del muro en crudo.

En este momento, la intervención sobre las piedras de edificación está contemplada dentro del marco de la carta de Venecia, de 1968.

Allí se establece que todas las etapas y procedimientos empleados deben intentar que la piedra conserve su aspecto original.

Se estipula también que no se deben introducir variables que puedan modificar el objetivo artístico y/o estético que los ejecutores de la obra hayan querido plasmar.

El criterio que se utiliza actualmente para las intervenciones sobre los materiales rocosos es el criterio del "restaurador", que sin embargo no deja de lado totalmente las consignas de "conservar", de "rehabilitar" y de "recrear".

Una cuestión muy importante antes de comenzar un tratamiento de intervención sobre la piedra es tener en claro que cada obra plantea una problemática diferente y debe ser tratada de forma individualizada.

Las obras de piedra presentan problemáticas diferentes porque varían en los tipos de piedras empleadas, en la localización, en las pátinas que presentan (sean estas pátinas naturales o artificiales), en los recubrimientos originales y policromías y, sobre todo, en su estado de conservación o deterioro.

Una de las finalidades más imperiosas de los trabajos de intervención sobre las rocas es la de interrumpir los procesos de deterioro que se producen a través del tiempo, debidos a factores o causas que también varían de una construcción a la otra.

Para establecer el tratamiento adecuado, se parte de una hipótesis acerca del método más indicado para llevar a cabo el proceso de intervención. La hipótesis se basa en la información obtenida a partir de los estudios de diagnóstico.

Esta hipótesis de trabajo debe ser contrastada y modificada posteriormente, tratando muestras en el laboratorio y efectuando ensayos sobre zonas piloto, que deben ser seleccionadas de forma muy cuidadosa.

El estudio del método de intervención más adecuado debe finalizar en el proceso mismo de la intervención. Esto quiere decir que es un estudio que no termina de cerrarse, ya que durante las propias labores de intervención suelen presentarse problemas no previstos.

Algunos de esos problemas pueden ser la aparición de materiales que no estaban estudiados e identificados –por permanecer ocultos bajo capas de suciedades– o reacciones imprevistas del material bajo tratamiento, entre las más comunes.

La piedra es un material muy heterogéneo, de manera que existe siempre la posibilidad de variaciones importantes en la textura y porosidad dentro de la misma construcción.

Por todo esto se hace necesario un control técnico permanente de las labores de intervención que se efectúan. Además, estas labores deben ser llevadas a cabo por personal especializado e idóneo para la tarea.

Otro aspecto a tener en cuenta es el de las prioridades en la intervención. Se debe considerar en primer lugar la atención a las causas de deterioro. Se debe intervenir sobre estos factores para erradicarlos o minimizarlos lo más posible. Luego, se lleva a cabo la intervención sobre la piedra propiamente dicha.

En general, se pueden establecer ciertas etapas en la intervención sobre los materiales pétreos. Las etapas son: ***LIMPIEZA***, ***CONSOLIDACIÓN***, ***PROTECCIÓN***, ***SUSTITUCIÓN*** y ***REINTEGRACIÓN***.

Dentro de la limpieza se pueden incluir los trabajos de ***PRECONSOLIDACIÓN*** y de ***DESALINIZACIÓN***. Por último, los trabajos de ***MANTENIMIENTO*** y ***CONSERVACIÓN*** preventiva darían por finalizada la intervención.

LIMPIEZA: es el primer paso para comenzar el tratamiento. Se debe despojar a la piedra de todos los elementos exteriores a ella que pueda presentar.

PRECONSOLIDACIÓN: se indica para aquellas construcciones con alto valor artístico que se encuentren con un deterioro avanzado.

DESALINIZACIÓN: se debe efectuar también en esta etapa del tratamiento –si existen sales solubles en la piedra–.

CONSOLIDACIÓN: tiene el objetivo de aumentar la cohesión de los componentes de la zona superficial de las piedras.

PROTECCIÓN: de los materiales pétreos se basa en la disminución de la velocidad de los procesos de alteración que puede sufrir la piedra o reduciendo la probabilidad de que estos fenómenos ocurran.

SUSTITUCIÓN: es el cambio de una piedra de la construcción por otra piedra, siempre que se vea como algo imprescindible.

REINTEGRACIÓN: tiene el objetivo de recuperar los volúmenes o las formas arquitectónicas de las piedras de la construcción que se hayan perdido.

MANTENIMIENTO y ***CONSERVACIÓN PREVENTIVA:*** tienen como objetivos conseguir una buena eficacia y respaldo de los tratamientos aplicados en todas las etapas mencionadas.

LIMPIEZA	Métodos húmedos	Chorro de agua a presión Lluvia de agua Agua nebulizada Vapor de agua Agua en compresas Agua atomizada
	Métodos mecánicos	Limpieza manual Chorro de arena Microchorro de arena
	Métodos químicos	Productos alcalinos Productos ácidos Productos orgánicos
	Otros métodos	Rayos láser Ultrasonidos
CONSOLIDACIÓN	Consolidación estructural	Tirantes Cordadas Planchas Inserciones metálicas Grapados Consolidación de cimientos
	Consolidación superficial	Productos inorgánicos Productos orgánicos Productos combinados (orgánicos-inorgánicos)

TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA Y CONSOLIDACIÓN

LIMPIEZA

La intervención sobre los materiales pétreos comienza por la liberación de la superficie de las rocas de suciedades y elementos extraños. Lo mismo hay que hacer con sus poros. Las piedras acumulan polvos y suciedades de naturaleza diversa, pero fundamentalmente procedentes de las atmósferas contaminadas. También se juntan en las superficies de las piedras y en el interior de sus poros sales solubles, algunas incrustaciones duras, restos de antiguos tratamientos, vegetación y microorganismos.

Como se ha visto en apartados anteriores, esta acumulación de orígenes diversos causa y acelera los procesos de deterioro de las piedras. Desde la partícula de polvo más hasta los cambios químicos y mecánicos que se propician en el interior de los poros por fenómenos externos, por capilaridad, condensación o por causas biológicas, contribuyen a la destrucción y a la degradación lenta de las construcciones pétreas. El objetivo primordial de la limpieza es el de devolver a la construcción el aspecto más cercano al que tenía originalmente.

El procedimiento más conveniente para enfrentarse a un tratamiento de limpieza es el de realizar catas o muestreos previos de estas suciedades para observarlos y determinar su naturaleza. Este procedimiento es muy útil, y de no haberse realizado durante la diagnosis es importante su consecución en esta etapa.

En cuanto a los métodos de limpieza, los requisitos que hay que tener en cuenta son:

- **LA ACCIÓN DEL LIMPIADOR DEBE SER LENTA**. De este modo, el operario a cargo puede controlar los efectos que produce.

- **EL MÉTODO ELEGIDO NO DEBE GENERAR PRODUCTOS DAÑINOS** para la conservación de las rocas.

- **EL MÉTODO ELEGIDO NO DEBE PRODUCIR ABRASIONES FUERTES**, microfracturas o modificaciones en la superficie de la piedra, ya que esto facilitaría su deterioro posterior al tratamiento.

Para elegir el método de limpieza adecuado, se deben tener en cuenta la naturaleza de las sustancias que se deben eliminar y las características petrofísicas de la piedra. El estado de conservación de las rocas también influye en la elección del método de limpieza. Además, se deben tener en claro cuáles son las clases de suciedades presentes, la extensión que muestran, el grosor de la capa que debe ser eliminada y la uniformidad que presenta en la superficie de la piedra.

Los métodos de limpieza se pueden dividir, de modo general, en ***MÉTODOS MECÁNICOS***, ***MÉTODOS HÚMEDOS***, ***MÉTODOS QUÍMICOS*** y en ***OTROS MÉTODOS*** (que pueden incluir desde la aplicación de nuevas tecnologías como el ***RAYO LÁSER*** hasta la aplicación de ***MÉTODOS MIXTOS***).

Pero antes de comenzar la limpieza en sí misma, existen dos procesos que se deben realizar en esta etapa, de ser necesarios. Ellos son la ***PRECONSOLIDACIÓN*** y la ***DESALINIZACIÓN***.

PRECONSOLIDACIÓN

A veces, el equipo de intervención encuentra que existen superficies de alto valor artístico o histórico, patinadas o esculpidas, que presentan un grado de deterioro muy serio. Este deterioro podría provocar la destrucción de la superficie misma durante el período de limpieza. Entonces, se hace necesario realizar una consolidación de la superficie antes de comenzar a limpiarla.

Los métodos que se emplean para la preconsolidación son análogos a los de la consolidación, que se verán en este apartado.

La preconsolidación tiene la desventaja de fijar la suciedad presente en la superficie. Por eso, se hace necesario efectuar una preconsolidación ligera seguida de una limpieza ligera. Este proceso debe ser repetido tantas veces como sea necesario.

DESALINIZACIÓN

Como se ha mencionado repetidas veces, la presencia de sales solubles en las rocas constituye una de las causas más importantes de deterioro de las piedras de construcción. Cuando los cristales resultantes de los procesos de hidratación y cristalización de estas sales se ubican en el espacio poroso de las piedras contribuyen con las tensiones que generan a que surjan microfisuras. Incluso, pueden llegar a disgregar la roca.

El primer paso es el de analizar las sales que se encuentran presentes en las rocas. Una vez que las condiciones termodinámicas que controlan la formación de sales se esclarecen, se debe actuar con el objetivo de evitar su formación. Para lograr que las sales no se vuelvan a generar, se deben despejar las incógnitas acerca de sus orígenes, es decir, de las fuentes implicadas en su generación. Estas fuentes pueden ser el agua (procedente del suelo o de las lluvias), la contaminación ambiental o los morteros. Esta investigación también está incluida en la etapa de diagnosis.

El procedimiento de desalinización consiste en la extracción de las sales solubles de la piedra. Pero este proceso no es sencillo. Un procedimiento base utilizado para la extracción de sales consiste en la aplicación sobre la superficie de la piedra de un material absorbente. Este material puede ser pasta de celulosa. El material absorbente debe estar embebido en agua destilada.

La aplicación debe durar el tiempo que sea necesario para solubilizar las sales. Evidentemente, estos tiempos son bastante conocidos porque en la etapa de diagnosis ya se deben haber despejado las naturalezas químicas de las sales presentes. El apósito con la aplicación de pasta se debe mantener cubierto con una capa de polietileno durante todo el tiempo que dure la fase.

Después se debe retirar el polietileno y se deja secar. La fase que sigue es la de dilución de la pasta en agua destilada para determinar la concentración de sales presentes con un ***CONDUCTIVÍMETRO***. La operación de extracción se debe repetir tantas veces como sea necesario hasta que se pueda comprobar que las sales solubles han sido extraídas de la piedra por completo, es decir, cuando la solución deja de ser conductora.

En lugar de pasta de papel, el soporte de la prueba puede ser ***SEPIOLITA*** o ***ATAPULGITA***. Si el objetivo de la desalinización son las costras duras con sales, se pueden utilizar aditivos, como el EDTA, el bicarbonato de sodio, el bicarbonato de amonio o el carbonato de amonio.

Otros métodos de desalinización que se comenzaron a utilizar en los últimos años son el vacío, la electrodiálisis, las microondas y las bacterias sulforreductoras. Sin embargo, los resultados de estos métodos están menos contrastados.

MÉTODOS HÚMEDOS

Los métodos húmedos de limpieza de las construcciones de piedra sacan ventaja de la acción disolvente del agua sobre los componentes hidrosolubles que caracterizan a la suciedad. El elevado poder disolvente del agua, además de eliminar las sustancias solubles, contribuye a la eliminación de las partículas carbonosas o bituminosas adheridas a la superficie rocosa, lo que favorece la durabilidad de la piedra.

La limpieza con agua es la forma más sencilla, y muchas veces la mejor, para la limpieza de la superficie de las piedras. Sin embargo, se deben tomar ciertas precauciones. Por ejemplo, se debe mantener la cantidad de agua utilizada dentro de límites prudenciales para evitar la posibilidad de penetración en el interior de las piedras, a través de juntas abiertas o de resquebrajaduras. Los grapajes y los elementos de fijación metálicos, que generalmente se encuentran fuera del alcance de la lluvia, pueden oxidarse y generar manchas.

Si la limpieza se realiza sobre placas, y la piedra es solidaria con el muro posterior –y ambos son porosos– pueden llegar a incorporar suficiente cantidad de agua como para producir manchas y podredumbres en el interior. Además, si la limpieza se realiza durante la época invernal, hay que tener muy en cuenta los riesgos de heladas.

La limpieza húmeda busca acumular la suciedad mediante el agua para terminar de sacarla luego a través de operaciones de fregado, rascado o cepillado. Los cepillos a ser utilizados deben tener pelos metálicos pero no férricos, es decir, de acero inoxidable. Los pelos también pueden ser de madera.

El agua que se suele emplear en los métodos húmedos de limpieza es agua corriente, pero destilada o reciclada mediante resinas intercambiadoras de iones.

Los métodos de limpieza que se basan en la acción del agua son: ***CHORRO DE AGUA A PRESIÓN***, ***LLUVIA DE AGUA***, ***AGUA NEBULIZADA***, ***VAPOR DE AGUA***, ***AGUA APLICADA CON APÓSITOS*** y ***AGUA ATOMIZADA***.

LIMPIEZA POR APLICACIÓN DE CHORRO DE AGUA A PRESIÓN

El método de limpieza por aplicación de ***CHORRO DE AGUA A PRESIÓN*** sólo debe ser utilizado sobre las superficies pétreas que presentan una cohesión buena. No debe utilizarse este método sobre aquellos materiales pétreos muy descohesionados, ya que podría verse agravado el problema notablemente.

Sobre la superficie sólida rocosa se debe aplicar un chorro de agua a presión. Esta aplicación se realiza durante un tiempo suficiente como para lograr una acumulación y despegue de la capa de suciedad adherida a la superficie rocosa. De este modo, el material soluble que estaba formando parte de la capa de suciedad, se lava. El segundo paso para la limpieza consiste en el cepillado de los restos de costra que pudieran quedar sobre la superficie rocosa.

Se debe utilizar la menor cantidad posible de agua, especialmente si la limpieza se realiza sobre rocas porosas. Además, hay que tener cuidado con las temperaturas frías en el momento de la limpieza, ya que se recomienda evitar los efectos de las heladas. Ya se ha hablado de los peligros que pueden ocasionar las aguas congeladas, que generan tensiones internas en las rocas debidas a incrementos de volumen, que pueden llegar a originar microfisuras y grietas.

La limpieza con chorro de agua a presión es muy efectiva en la eliminación de costras con sales solubles, especialmente sobre piedras calizas. Sin embargo, no resulta tan eficaz sobre piedras que presentan costras muy gruesas.

Puede utilizarse de igual manera, en este tipo de limpieza, agua a baja presión (de 2 a 3 atmósferas como máximo).

LIMPIEZA POR APLICACIÓN DE LLUVIA DE AGUA

El método de limpieza por ***APLICACIÓN DE LLUVIA DE AGUA*** consiste en el rociamiento con agua de la superficie de la piedra. El rociamiento se debe hacer durante el tiempo necesario para que se reblandezcan los depósitos superficiales acumulados de suciedad.

Se deben realizar aplicaciones sucesivas de lluvia de agua. Una vez culminado el ciclo de lluvia de agua, hay que cepillar y enjuagar para terminar la remoción del material que pudiera quedar sobre las superficies rocosas.

El método de aplicación de lluvia de agua requiere de mucha cantidad de agua. Esto puede producir efectos no queridos sobre las piedras. La gran cantidad de agua posibilita que haya mayor probabilidad de que se produzcan infiltraciones de humedades en el interior de las rocas. Además, el agua puede contener sales solubles que quedarían alojadas en el seno de los materiales pétreos, depositadas allí por el proceso de evaporación de agua.

Al igual que con el método del chorro de agua, la aplicación de lluvia de agua se debe restringir durante las épocas de bajas temperaturas.

LIMPIEZA POR APLICACIÓN DE AGUA NEBULIZADA.

El método de limpieza por ***APLICACIÓN DE AGUA NEBULIZADA*** requiere de la utilización de nebulizadores o atomizadores. Estos instrumentos posibilitan que la utilización de la cantidad de agua sea mínima, pero, a su vez, logrando el máximo efecto de limpieza.

El objetivo de un nebulizador es la reducción del agua a niebla. La niebla está constituida por gotas de agua muy finas, cuyo diámetro varía entre 80 y 120 micras y que cubre una superficie específica muy grande. Estas gotas se depositan sin presión externa sobre la piedra.

Así, las gotas de niebla –gracias a su elevado número y a su gran superficie específica– presentan una gran cantidad de puntos de contacto con la superficie pétrea.

Un nebulizador estándar tiene una capacidad baja, de aproximadamente 1 mm/s. Sin embargo, esta capacidad es la adecuada para limpiar objetos de dimensiones acotadas. Los nebulizadores con dimensiones mayores pueden utilizarse para la limpieza de superficies grandes.

La aplicación de agua nebulizada es especialmente útil para la disolución de costras negras. Las nubes de agua se pueden orientar a las partes con difícil acceso. Esto se logra porque las nubes están fuertemente dispersas en el aire.

Además, su acción se puede dirigir hacia áreas puntuales, dejando intocadas otras partes que requieren limpieza con métodos diferentes. Este método no puede ser aplicado en rocas que presenten bajo nivel de cohesión entre sus componentes.

LIMPIEZA POR APLICACIÓN DE VAPOR DE AGUA.

Para la realización de la limpieza por ***APLICACIÓN DE VAPOR DE AGUA*** se necesita de una caldera generadora de vapor. Ese vapor se aplica a la piedra con una presión de 0,5 Kg/cm^2. El problema con este método es la temperatura que presenta el vapor de agua. Las piedras sobre las que se aplique el vapor de agua deben ser capaces de resistir altas temperaturas. Además, las piedras bajo limpieza tampoco deben ser proclives a retener vapor en forma excesiva, ya que se podrían generar eflorescencias.

La limpieza con vapor de agua se debe utilizar sobre piedras de construcciones que no tengan gran valor artístico. De este modo, no se suele utilizar en la limpieza de monumentos por sus efectos nocivos sobre la superficie.

LIMPIEZA POR APLICACIÓN DE APÓSITOS ARCILLOSOS CON AGUA

La limpieza mediante la ***APLICACIÓN DE APÓSITOS EMBEBIDOS EN AGUA*** es bastante simple. Se deben embeber en agua los apósitos de materiales absorbentes. Las compresas son en general de sepiolita o atapulgita. También se pueden utilizar como material de apósito los filosilicatos hidratados de magnesio y aluminio del grupo de la paligorskita.

La ventaja de utilizar este tipo de compresas es que se pueden aplicar sobre una gran superficie específica. De este modo, pueden absorber grandes cantidades de agua en relación con su peso, ya que el agua ocupa los espacios vacíos de la estructura. Así, un kilo de atapulgita puede llegar a absorber sin hincharse un kilo y medio de agua.

El procedimiento de limpieza consiste en la aplicación de la pasta compuesta por arcilla y agua. La pasta debe tener un mínimo de dos centímetros de espesor. La aplicación se realiza durante un período de tiempo variable. En el momento en que la pasta presenta signos de comenzar a agrietarse, se la debe remover mediante el uso de una espátula. Luego hay que proceder a aclarar con agua destilada.

Frente a aplicaciones de pasta prolongadas, es conveniente cubrir la sección tratada con polietileno. Esto tiene por finalidad la disminución de la velocidad de evaporación del agua.

La aplicación de apósitos embebidos en agua constituye un método de limpieza que produce muy bajos niveles de agresión en las piedras. Esta es la razón por la que está aconsejado para la limpieza de objetos delicados. Por otro lado, su costo no es muy alto y su metodología de aplicación es bastante simple.

Las desventajas que presenta este método de limpieza se encuentran en la lentitud para la obtención de resultados, y en que no es un método que permita altos niveles de control.

Además, no posee demasiada eficacia en el tratamiento de costras gruesas. La limpieza por aplicación de compresas se suele utilizar en estatuas, relieves y frescos, especialmente aquellos que se encuentran al interior de las construcciones. Esto se debe a que su eficacia es máxima para la disolución de costras de débil espesor (de hasta 1 milímetro).

Si este método fuera utilizado para la eliminación de costras más gruesas ubicadas al exterior de una construcción pétrea, se debería repetir demasiadas veces el número de aplicaciones, por lo que el tiempo necesario sería excesivo.

LIMPIEZA POR APLICACIÓN DE AGUA ATOMIZADA

La limpieza por ***APLICACIÓN DE AGUA ATOMIZADA*** se basa en la creación de un ambiente saturado de humedad. Para lograr este tipo de ambiente, se proyecta un mínimo caudal de agua desmineralizada a través de boquillas con paso milimétrico y a presión. La finalidad de esta metodología es la de alcanzar las zonas de la construcción a las que no llega el agua de lluvia, por lo que no se alcanzan a lavar naturalmente. El lavado se debe realizar continuamente durante un período de tiempo prolongado. La finalidad es la de posibilitar la disolución de las capas de suciedad.

Las superficies tratadas deben terminar de limpiarse con la ayuda de brochas suaves.

La limpieza por aplicación de agua atomizada se realiza sobre acumulaciones de suciedad, que toman forma de costra dura con varios milímetros de espesor. Estas acumulaciones se suelen encontrar en resquicios como oquedades, gárgolas, capiteles o bajos de frisos y cornisas, lugares donde la limpieza natural de la lluvia y del viento no puede acceder. La eliminación de las costras que se producen allí es decisiva porque éstas deforman y embotan la piedra. Pero además, tapan los poros, provocando que la piedra deje de transpirar y ocasionando la posible carbonatación, con los consiguientes desprendimientos y pérdida de material.

Se puede considerar al agua atomizada como un tratamiento inocuo para la piedra, siempre que se tomen las debidas precauciones. Entre las precauciones que se deben tomar hay que mencionar el sellado previo de las fisuras y de los bloques, la protección de elementos inferiores y el control del caudal de agua máximo admisible. Además, no debe ser utilizado en piedras muy porosas o con recubrimientos de yesos o policromías.

MÉTODOS MECÁNICOS

LIMPIEZA MECÁNICA: implica –como su nombre lo dice– energía mecánica utilizada para remover la suciedad del material rocoso. La remoción de suciedades debe ajustarse a los lugares exactos de interfase suciedad-piedra para que la acción mecánica no tenga consecuencias nocivas en las rocas bajo tratamiento.

Los métodos de limpieza mecánica tienen la ventaja de no introducir humedades adicionales en las piedras. Por lo tanto, los métodos secos siempre son preferibles en la medida en que puedan ser utilizados.

Las herramientas y maquinarias a utilizar dentro de la limpieza mecánica permiten un mayor control manual y requieren el contacto más directo con la piedra. Las herramientas van desde el más diminuto trepano de retoque hasta la cabeza pesada de carborundum (carburo de sílice), pasando por las bujardas, los cepillos de todo tipo, de cerdas o púas metálicas, las piedras y lavas volcánicas y los discos giratorios abrasivos.

Se pueden mencionar entre los métodos de limpieza mecánicos al ***MÉTODO SIMPLE***, al ***CHORRO DE ARENA*** y al ***MICROCHORRO DE ARENA***.

MÉTODO SIMPLE DE LIMPIEZA MECÁNICA

Cuando se habla de método simple de limpieza mecánica, la referencia se hace especialmente a la limpieza ***MANUAL***. El procedimiento de limpieza manual consiste en la eliminación artesanal de toda la acumulación de suciedad que se ha ido depositando durante el paso del tiempo sobre la superficie de las piedras. Los elementos que producen suciedades pueden ser líquenes, excrementos de animales, polvo, morteros viejos, hierros oxidados, etc.

Para efectuar la limpieza manual se utiliza instrumental sencillo, como ser bisturís, papel de lija, piedra pómez, raspones y espátulas, según sean los restos que se pretende eliminar. También existen pequeños instrumentos eléctricos –como los tornos con puntas– que son perfectamente controlables.

La limpieza manual puede funcionar como limpieza previa, indispensable antes de la aplicación de cualquier otro producto o método de limpieza. Además, el método de limpieza manual supone una revisión detallada de la naturaleza de la suciedad, lo que permite enfocar definitivamente las líneas de actuación.

Evidentemente, la eficacia de la limpieza manual está directamente relacionada con la presteza del operario a cargo. Este método de limpieza es muy lento y delicado, por lo que se aplica en general a objetos pequeños de elevado valor.

MÉTODO DE LIMPIEZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CHORRO DE ARENA

La limpieza mediante la aplicación de ***CHORRO DE ARENA*** aprovecha el poder abrasivo de este material. La acción mecánica depende de la presión del chorro de arena, de su dureza y densidad y de la forma de las partículas abrasivas que lo componen. El tiempo de aplicación del chorro de arena y la distancia entre la boquilla y la superficie de la piedra son también elementos de los que dependen los resultados que se obtienen por la utilización de este método de limpieza.

El chorro de arena se puede utilizar seco o húmedo. En el caso del ***CHORRO DE ARENA HÚMEDA*** la metodología consiste en la aplicación de una mezcla de arena y agua. La presión a la que se expide la mezcla varía entre los 0,5 y los 3 Kg/cm^2. La operación con chorro de arena húmeda no origina polvo contaminante del medio ni dañino para el ejecutor de la limpieza. El chorro de arena húmeda no está recomendado para su utilización en piedras con valor artístico. Esto se debe a que la cantidad de agua que se utiliza podría movilizar sales solubles en los paramentos. Esto, como se ha dicho anteriormente, puede originar cristalizaciones de sales con las sabidas consecuencias que podrían traer.

El chorro de arena húmeda, por lo tanto, puede ser el origen de las eflorescencias posteriores a la limpieza. Asimismo, el chorro de arena húmeda no debe utilizarse en zonas y estaciones que muestren riesgos de heladas.

CHORRO DE ARENA SECA: es un método más difícil de controlar. Además, en su acción limpiadora puede provocar la eliminación de parte de la piedra. No se puede recomendar este método de limpieza para piedras que posean valor artístico. Esto se debe a que las partículas abrasivas pueden erosionar profundamente la superficie de las rocas.

Así, existen grandes probabilidades de que el chorro de arena provoque hoyos y salientes, en especial en piedras que tengan componentes minerales de distinta dureza y resistencia a la abrasión por impacto. Ejemplo de este tipo de piedras son las calizas y las areniscas. La metodología de limpieza con chorro seco de arena trae consigo riesgos para las piedras pero también para el ejecutor. Posee la ventaja de que su aplicación se puede realizar en cualquier estación del año. Además, no es origen de eflorescencias que sí genera el chorro de arena húmedo.

MÉTODO DE LIMPIEZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MICROCHORRO DE ARENA

Este método de limpieza se realiza mediante la aplicación de un ***MICROCHORRO DE MATERIAL ABRASIVO*** contra la capa de suciedad. Se trata de un polvo abrasivo fino que, con respecto al chorro de arena, es de dureza y tamaño menor.

Para aplicar el chorro se utilizan instrumentos adecuados que funcionan con aire comprimido (aeroabrasivos). Los abrasivos utilizados pueden ser pequeñas esferas de vidrio o de alúmina. El diámetro aproximado de las esferas es de 40 micras.

La presión del chorro se puede regular fácilmente, al igual que la cantidad de abrasivo utilizado. Por lo tanto, esta clase de limpieza por su alto nivel de control, se puede aplicar a cualquier tipo de piedra.

Sin embargo, es especialmente efectivo para la eliminación de incrustaciones gruesas y duras, costras finas o depósitos y costras negras que cubren la piedra con policromía. Esto se debe a que el microchorro puede limpiar superficies pétreas dañadas respetando las pátinas cromáticas originales que se encuentren bajo la capa de suciedad.

Sin embargo, este método desprende mucho polvo. El polvo originado en la aplicación de microchorro de arena debe ser recogido con el fin de evitar la contaminación.

Los aparatos que se utilizan para la aplicación del microchorro limpiador son costosos y difíciles de mantener. Además, el costo de los abrasivos es elevado y el método es lento, ya que se logran limpiar algunos cm^2 por hora.

MÉTODOS QUÍMICOS

Los tratamientos que utilizan productos químicos para realizar la limpieza de las piedras son los menos inofensivos, es decir, los que mayor daño causan a las piedras. Esto se debe a que, si los productos químicos no son utilizados con precaución, pueden provocar daños en el material base.

Además, los daños resultantes de la aplicación de compuestos químicos no se aprecian inmediatamente. Por lo tanto, no se puede realizar una actuación pronta de recuperación sino que hay que esperar para evaluar los daños un cierto tiempo, y eso hace que sea ya tarde para intervenir.

La aplicación de productos químicos puede ser de productos ***ÁCIDOS***, ***ALCALINOS (BÁSICOS)***, y de ***DISOLVENTES ORGÁNICOS***. La mayoría de los productos contienen sales solubles, o las forman cuando reaccionan con la piedra. Por lo tanto, estas sales se deben eliminar completamente para evitar que surjan eflorescencias con un enjuague final.

Los dos tipos de productos –ácidos o alcalinos– tienen un período de tiempo crítico para dejarlos actuar sobre el material, con la máxima eficacia y el mínimo riesgo. Para la eliminación de restos orgánicos, se aplican productos químicos específicos como los ***BIOCIDAS***.

Por esta condición de daño potencial que los productos químicos pueden causar sobre las piedras, su utilización se restringe a casos especiales. También por eso requieren de la supervisión de expertos.

Se hace indispensable conocer la composición del producto que va a ser empleado, para poder evaluar su potencial peligrosidad. Se deben evitar, por regla general, aquellos productos que sean muy ácidos (con un pH menor de 5) o muy básicos (con un pH mayor de 8).

Los productos que se utilizan tienen características ligeramente ácidas o ligeramente básicas. Los productos orgánicos no presentan tantas dificultades y se aplican para eliminar aceites y otros lípidos de las superficies de las piedras.

Los métodos químicos están señalados para areniscas duras no calcáreas y para piedras endógenas como el granito.

MÉTODO DE LIMPIEZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE AGENTES ÁCIDOS

AGENTES ÁCIDOS: se aplican para este tipo de limpieza química y pueden ser ácidos o sales ácidas. Los ácidos y las sales ácidas reaccionan con las costras negras y las disuelven. La mayoría de los productos existentes en el mercado se basan en el fluorhídrico. Por eso se deben diluir en agua en concentraciones bajas y muy cuidadosamente.

De no seguirse este procedimiento, se pueden originar grandes complicaciones en relación a su manipulación. El peligro para el operador de los ácidos es importante. Las soluciones acuosas no apropiadas pueden ocasionar serias quemaduras.

Estas soluciones pueden, incluso, pasar a la sangre a través de la piel, produciéndose envenenamientos. En la atmósfera próxima ataca a los ojos y a las vías respiratorias. Estas son las razones por las que las normas de seguridad relativas al personal deben ser tenidas muy en cuenta.

Los operarios requieren indumentaria especial desde los pies a la cabeza, e incluso deben estar provistos de oxígeno o de aire no contaminado.

El ácido fluorhídrico es el único agente no productor de sales solubles, aunque es muy corrosivo y peligroso.

Otro de los problemas originados por el uso de agentes ácidos de limpieza es el salpicado sobre los materiales. Los agentes ácidos atacan a los vidrios, al brillo de los mármoles, al granito pulido, al vidriado de las tejas y a las pinturas.

Por ello, los elementos que se encuentren próximos al área de aplicación deben ser cubiertos por papeles y películas plásticas adhesivas y resistentes a la acción del ácido que se esté utilizando.

Los ácidos tienen efectos duraderos, con un nivel de agresividad que puede comprobarse aún mucho tiempo después de su aplicación.

Este efecto puede volver amarillas a ciertas superficies de la roca que contengan impurezas de hierro, las cuales se ven atacados por el HCl y migran hacia la superficie rocosa.

El ácido fluorhídrico se aplica mediante cepillo y esprays. El muro debe haber sido humedecido previamente. Sin dejar demasiado tiempo después de la aplicación del ácido, el muro debe ser lavado rápidamente con abundante agua a presión. De no realizarse este tipo de lavado, la piedra puede reaccionar con el ácido formando eflorescencias blancas (coloides de silicatos) que son muy difíciles de eliminar.

Además del ácido fluorhídrico, se utilizan también como agentes ácidos para la limpieza química los fluoruros de amonio. En rocas calcáreas el carbonato cálcico se transforma en fluoruro de calcio, que es menos soluble que el carbonato pero de volumen mucho menor.

Esto provoca en la superficie de la roca, fracturas por donde pueden introducirse contaminantes y soluciones dañinas. Sobre la sílice y los silicatos el fluorhídrico convierte el silito en tetrafluoruro de silicio, que es una sustancia gaseosa.

MÉTODO DE LIMPIEZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE AGENTES ALCALINOS O BÁSICOS

El agente básico más utilizado en la ***LIMPIEZA QUÍMICA ALCALINA*** es la sosa cáustica. La sosa cáustica se suele usar con aditivos destinados al control del poder de penetración y del nivel de actividad que este agente puede alcanzar. La mezcla que se utiliza es con hexametafosfato de sodio con fosfato de amonio, junto a un agente humidificante y etanolamina, a un pH de 9.

El metafosfato de sodio y el fosfato de amonio disuelven el yeso sin atacar el CO_3Ca, componente de las piedras calizas y mármoles.

Este método se recomienda especialmente para la limpieza de suciedades de las piedras calizas y de eflorescencias en las piedras arcillosas, en las tejas y en los ladrillos. Además, en calizas, mármoles y morteros, es muy útil para eliminar las costras de yeso. Si las suciedades son muy persistentes, se hacen necesarias aplicaciones sucesivas.

Después de cada una de las fases es preciso un aclarado de las piedras tratadas con agua abundante. Esto se hace para eliminar residuos, ya que empeorarían aún más las eflorescencias y suciedades. La eliminación de residuos dejados por la pasta de limpieza se realiza con varios cepillados y lavados. En el aclarado, también se pueden utilizar compresas de pulpa de papel o de algodón hidrófilo, embebidas en agua destilada.

La aplicación de la sosa cáustica es similar a la aplicación de agentes ácidos. Antes de utilizar la sosa cáustica se debe humedecer la zona que va a ser tratada.

La humedad previa y posterior necesaria a la aplicación del agente básico, obliga a tomar precauciones acerca de las posibles fisuras que pudieran existir en las piedras.

Por lo tanto, se debe realizar una inspección previa para sellar las juntas y fisuras que pudieran existir y no facilitar el acceso de humedades al interior de los materiales pétreos.

Otro tipo de uso para los agentes básicos se focaliza en la eliminación de las manchas verdes de las superficies de las piedras. Las manchas verdes que se ven en forma de chorreado sobre las piedras, pueden provenir de rejas, carpinterías, monumentos y elementos diversos de bronce o cobre colocados sobre ellas.

Estas manchas se pueden tratar con hiposulfito de sodio diluido y apoyado con un cepillado fuerte. Las manchas de cobre se eliminan con soluciones acuosas de amoníaco.

Las manchas de óxido de hierro que se presentan en las piedras calizas, en los mármoles y en las piedras areniscas calcáreas se pueden eliminar utilizando el hiposulfito.

Los agentes de limpieza alcalinos constituyen una opción de eliminación de suciedades y manchas controlable. Además, es un método barato, de simple aplicación y rápidos resultados. Pero este método no debe ser utilizado en los materiales pétreos que presenten alteraciones avanzadas.

En los mármoles puede causar corrosión intergranular y descohesión de los granos de calcita. En las piedras calizas muy porosas, al producirse la separación de la compresa de la superficie de la piedra, se pueden arrancar partes importantes de la misma.

MÉTODO DE LIMPIEZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE AGENTES ORGÁNICOS

DISOLVENTES ORGÁNICOS: se utilizan para eliminar manchas grasas, es decir, restos de aceites y de otros lípidos de la superficie de las piedras. En general, la presencia de componentes grasos en la capa de suciedad de las piedras se debe a restos dejados por tratamientos anteriores.

Los restos pueden ser aceites o ceras. Los residuos grasos son muy sensibles a la oxidación. Esta es la razón por la que generan variaciones en el color original de la piedra.

Los químicos orgánicos más utilizados en este tipo de limpieza son el tricloroetano y los hidrocarburos alifáticos (aminas) o aromáticos (tolueno). La metodología de aplicación es la de apósitos o compresas.

Se elige este método debido a que se busca retardar la evaporación del disolvente mientras se alarga el contacto del mismo con la suciedad. Para lograr el retardo de la evaporación con mayor eficacia, deben cubrirse los apósitos de pulpa de papel con una capa de polietileno.

INTERVENCIÓN (por orden de aplicación)
Limpieza — Preconsolidación / Desalinización
Consolidación
Protección
Sustitución
Reintegración
Mantenimiento y conservación preventiva

SECUENCIA DE LAS INTERVENCIONES A REALIZAR SOBRE ELEMENTOS PÉTREOS

De modo análogo a la aplicación de apósitos embebidos en agua que se utiliza en la limpieza húmeda, se debe sustituir el agua por los disolventes orgánicos.

Otra forma de preparación de los apósitos en la utilización de un gel, que se soportan en carboximetil-celulosa o en bentonita. Como en el caso de las compresas húmedas, este método es simple y de bajo costo. Sin embargo, supone que haya que esperar resultados no inmediatos.

Un procedimiento similar a la aplicación de compresas mencionado es el paquete biológico. La finalidad es que tras la aplicación de una compresa que contenga microorganismos, éstos ayuden a la eliminación de costras de las superficies rocosas.

El método del paquete biológico consta de la aplicación de una pasta que se basa en sepiolita o en atapulgita con agua, urea y glicerina. Las proporciones del paquete biológico están normalizadas por el *Istituto Centrale per il Restauro*.

La compresa del paquete biológico se debe aplicar durante un mes. Una vez removida la compresa, el lavado con agua simple quitará la costra negra. Se recomienda realizar una desinfección de la zona tratada con fungicidas, que eviten la corrosión provocada por diferentes microorganismos.

El paquete biológico puede utilizar compresas basadas en pasta de papel, en sílice micronizada o en pasta de madera embebidas en agua.

APLICACIÓN DE AGENTES QUÍMICOS PARA LA ELIMINACIÓN DE RESTOS ORGÁNICOS

Cuando las piedras tienen ***DETERIORO BIOLÓGICO***, se deben aplicar tratamientos con ***BIOCIDAS***. Los biocidas se aplican sobre los materiales pétreos con la finalidad de eliminar o paliar los efectos de los diferentes agentes biológicos de alteración. Estos agentes pueden ser microorganismos o bacterias e incluso restos de algas y líquenes o plantas superiores.

La finalidad del tratamiento no debe ser tan solo la eliminación de los organismos de la piedra, sino que hay que aplicarle tratamiento para hacerla más resistente a nuevas colonizaciones. Por otro lado, estos biocidas no deben cambiar el aspecto exterior de las piedras sobre las que trabaje. No deben tener efectos dañinos para los operadores encargados de aplicarlos pero tampoco para el medio ambiente.

Por último, se debe tener precaución de que no se laven los productos aplicados con agua de lluvia o minimizados sus efectos por los rayos solares ultravioletas.

Los productos biocidas que más se han investigado son la ***ESTREPTOMICINA*** y la ***KANAMICINA***. Estos dos productos han tenido bastante éxito en tratamientos antibacterianos.

La aplicación de biocidas para la eliminación de plantas superiores es un buen método de limpieza, antes que arrancarlas en vivo. Las plantas superiores vivas que son extraídas de las piedras producen daños irreparables. Si se inyecta en estos organismos superiores dosis de biocidas apropiadas para generar su secado, se evitará originar daños y alteraciones a los materiales pétreos que se quiere limpiar.

RAYOS LÁSER Y ULTRASONIDOS

Tanto el método de limpieza por ***APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS*** como el de ***APLICACIÓN DE LÁSER***, tienen en común su bajo nivel de agresión para con los materiales pétreos que tratan. Aquí se encuentra la razón por la que estos sistemas de limpieza son cada vez más utilizados.

La limpieza realizada mediante ultrasonidos no causa ningún tipo de daño a la piedra subyacente. El método de limpieza mediante la aplicación de ultrasonidos se utiliza para la eliminación de costras.

Para llevar a cabo la aplicación de ondas ultrasónicas, se requieren de aparatos que puedan trasmitir las vibraciones a la costra negra. La transmisión de ondas se realiza a través de una película de agua. El agua transmite vibraciones y logra que la costra se vaya despegando de la superficie de la piedra. Al finalizar el trabajo se deben enjuagar los restos de suciedad.

El método de limpieza por aplicación de ultrasonidos es lento, por lo que se le utiliza en objetos de pequeñas dimensiones. Pero tiene la ventaja de ser muy preciso y útil.

El método de limpieza de piedras con rayos láser tiene la característica de ser un método de eliminación de suciedades que no entra en contacto con la piedra. Este hecho hace que el daño sobre la capa superficial de los materiales pétreos sea casi nulo.

Para realizar el procedimiento se deben rociar las paredes ennegrecidas o sucias de la superficie de las piedras con un haz de fotones por medio de rayo láser.

Este haz de fotones puede eliminar depósitos y costras sin eliminar la capa superficial de la piedra. Incluso deja la pátina superficial intacta.Como este método no introduce agua ni componentes químicos en el seno de la piedra, es uno de los métodos de limpieza más prácticos e inofensivos. Además, como no ejerce impacto ni abrasión, tiene la ventaja de no introducir ruidos medioambientales o polvos en la atmósfera.

El láser permite variar la intensidad de la luz que se emite. Esta variación permite limpiar capas de suciedades de distintos espesores. Ante costras espesas de deben emplear energías mayores a diez megavatios por centímetro cuadrado. Esto produce la ionización del material depositado. Cuando las pátinas o costras son finas, se las remueve con intensidades menores que logran la vaporización de los elementos depositados.

La utilización de rayos láser en la limpieza de los materiales pétreos requiere de la realización de pruebas o de ensayos de laboratorio. El objetivo de los ensayos es el de determinar la longitud de onda del haz de fotones que se debe proyectar. Requiere, además, que el operario a cargo de la protección se encuentre muy protegido.

La ventaja más importante de la aplicación de rayos láser en la limpieza de las piedras, al no presentar riesgos de grandes agresiones, es que permite limpiar piedras que se encuentran descohesionadas, sin necesidad de realizar preconsolidaciones. Además, posee fácil acceso a las partes más recónditas de las piedras labradas, lo que le convierte en un instrumento ideal de limpieza de esculturas y tallas complejas realizadas en piedra.

CONSOLIDACIÓN

El proceso de ***CONSOLIDACIÓN*** de los materiales pétreos tiene la finalidad de devolver o aumentar la cohesión de los componentes de las piedras que la han perdido o visto reducida.

La consolidación superficial de las piedras engloba a los procedimientos que están destinados a restablecer la firmeza de los elementos pétreos que debido a los procesos de alteración y degradación se han convertido en una masa de partículas pulverulentas con poca aglutinación.

La consolidación hace frente, principalmente, a tres clases de problemas. Los problemas son la ***ARENIZACIÓN*** y ***EXFOLIACIÓN*** de los materiales pétreos, la ***FISURACIÓN*** y los ***PROBLEMAS ESTRUCTURALES***.

Las zonas de las construcciones pétreas que se encuentran más expuestas –como los pináculos, la crestería, los elementos ornamentales exentos– suelen presentar movimientos de bloques.

Estos movimientos se originan por la oxidación de antiguos hierros de anclaje, por pérdidas de mortero original o por movimientos sísmicos o de asentamiento.

Si la inestabilidad es muy grande se procede al ***DESMONTE DE LAS PIEZAS*** para su consolidación y posterior montaje en la posición original. Los trabajos de desmonte de sillares se deben realizar después de una toma de datos exhaustiva, mediante dibujos, fotografías, mediciones y fotogrametrías con numeración de las piezas.

Para la consolidación de microfisuraciones, de la arenización y debilitamiento superficial o de problemas estructurales que no impliquen movimientos de bloques, la consolidación se realiza *in situ*. El tratamiento de consolidación in situ tiene una notable influencia en la armonización estética de la construcción pétrea.

Esto se debe a que los técnicos encargados de la consolidación tienen en todo momento la idea de conjunto de la construcción, lo que les permite ir eligiendo los métodos de consolidación y los productos consolidantes que se adecuan con mayor comodidad a las necesidades cromáticas y físicas de las piedras con las que tratan.

Para la consolidación de problemas estructurales in situ, se adhieren bloques partidos con resinas epoxídicas muy tixotrópicas, se cosen las piezas con barras de fibra de vidrio y se retaca con morteros de base epoxídica o cal hidráulica según convenga.

Otras formas de consolidación se dan con la colocación de ***PLANCHAS, TIRANTES*** e ***INSERCIONES METÁLICAS***. Para consolidar microfisuras se realiza un trabajo artesanal que consiste en el sellado de las mismas a mano con mortero pétreo de base acrílica.

Además, se deben inspeccionar las oquedades internas con vibradores manuales para inyectar el relleno de las mismas.

La arenización y el debilitamiento superficial necesitan la inyección de consolidantes. Los consolidantes se pueden dividir en tres grandes grupos: los ***COMPUESTOS ORGÁNICOS***, los ***COMPUESTOS INORGÁNICOS*** y los ***COMPUESTOS MIXTOS*** *o* ***SILICO-ORGÁNICOS***.

Algunos de estos compuestos, como veremos a continuación, se utilizan también para la ***HIDROFUGACIÓN*** de las piedras. De este modo, se realiza simultáneamente la consolidación y la protección de las mismas.

Cuando los procesos de consolidación logran su cometido, es decir, cohesionar nuevamente los elementos dispersos de la superficie rocosa, consiguen un beneficio añadido. Este beneficio consiste en aumentar la resistencia mecánica de la roca.

La consolidación y aumento de la resistencia mecánica se obtienen mediante procedimientos diversos, que en general consisten en aplicar un producto a la superficie de la piedra. Estos productos buscan aumentar y mejorar la adherencia de las partes sanas con las alteradas.

El producto que se aplique debe penetrar en el interior de la piedra, hasta la piedra sana subyacente. De este modo se consigue una mejor adherencia y los resultados se optimizan.

Cuando el producto consolidante no logra traspasar la capa alterada, forma una capa superficial que muestra mayor resistencia y dureza que el sustrato que lo sostiene. Así, el resultado es el desprendimiento de la nueva capa o costra.

A la hora de elegir un consolidante adecuado, se deben tener en cuenta varios aspectos. El producto elegido no debe suministrar elementos dañinos al material, como pueden ser las sales solubles.

Además, se debe garantizar que el producto pueda penetrar hasta los estratos sanos de la piedra para evitar el desprendimiento de costras endurecidas.

Se deben estudiar las propiedades físicas del producto de tratamiento, especialmente la dilatación lineal, para que no difieran en demasía con las del material a consolidar. No se debe crear una superficie rígida sobre un sustrato elástico y blando.

De ocurrir esto, se desplazarían las tensiones hacia el material sano. Es importante tener en cuenta que el consolidante debe permitir la permeabilidad al vapor de agua; así, se garantiza la eliminación de humedades internas por transpiración. Los productos elegidos deben ser resistentes a la acción química del clima y a los contaminantes, si la superficie a tratar estuviera expuesta a la intemperie. Los consolidantes deben minimizar los cambios de color de las rocas tratadas. Por último, el consolidante debe ser lo menos tóxico e inflamable posible.

El objetivo de la penetración del material consolidante al interior de la piedra se consigue mediante tres puntos: el consolidante debe estar en estado líquido, tener baja tensión superficial y baja viscosidad.

Las piedras son elementos porosos, por lo que el producto debe lograr la penetración en el interior de poros y fisuras. La adherencia del producto a la piedra es duradera si el consolidante, una vez que ha penetrado, pasa del estado líquido al sólido.

Para lograr que el sistema poroso no se vea obstruido por un exceso de ligante (debido a la eliminación de la permeabilidad al vapor) y que la penetración del consolidante se de en profundidad, el tratamiento debe suministrarse con un ligante disuelto en bajas concentraciones o con sustancias disueltas que reaccionan en el interior de los materiales pétreos precipitando el ligante.

En cuanto a la metodología de aplicación de los consolidantes, es necesario tener en cuenta que existen factores que influyen en la penetración de los productos de tratamiento. Ellos son la naturaleza del consolidante (y del disolvente), la concentración, viscosidad y tensión superficial de la solución, el tiempo de contacto entre la piedra y la solución, las condiciones de temperatura y humedad ambientales y la porosidad de la piedra.

Se puede decir que se trata de conseguir una consolidación que no tapone la porosidad, permitiendo así la eliminación del agua por evaporación.

Pero simultáneamente, el consolidante debe alcanzar el sustrato no alterado para evitar la formación de costras duras que terminarían por desprenderse. Para lograrlo, existen diferentes métodos.

Se puede recurrir a la aplicación del consolidante a través de la percolación lenta, otra metodología usada cuando el volumen a tratar no es demasiado grande, es proceder a cerrarlo con una lámina de polietileno estanca y aplicar vacío. De esta manera, el producto encuentra menos dificultades para alojarse en la porosidad.

Un método más simple utiliza una lámina de polietileno recubriendo un apósito de algodón con una mecha superior de alimentación y un sistema que recoge y recicla el producto. La aplicación de capas de producto alternadas con otras de disolvente puro tiene el objetivo de que el volumen a consolidar se impregne de disolvente, a través del cual se difunde el consolidante. Terminando con una capa de disolvente puro, el exceso de producto es eliminado de la superficie y penetra más en el interior. Se evitan así los brillos y cambios de tonalidad de las piedras tratadas.

Las técnicas mencionadas se realizan in situ. Para la consolidación en el taller también existen técnicas diversas, en general reservadas a piezas singulares. Uno de los métodos más utilizados es el de la ***CÁMARA DE VACÍO***. La cámara de vacío permite la penetración del consolidante hasta las capas más profundas de la piedra. Se realiza colocando la pieza dentro de una cámara hermética y se extrae el aire mediante una bomba de vacío.

Esta bomba debe mantener la depresión durante unas horas, según el grado de porosidad que presente la piedra. Posteriormente, la cámara se inunda con un consolidante de baja concentración que debe cubrir totalmente la pieza y se devuelve poco a poco la presión a la cabina.

Con la entrada de aire, la piedra absorbe el líquido consolidante a través de su porosidad, hasta llegar a un equilibrio interior. Una vez que el líquido sobrante se elimina, hay que controlar el proceso de secado para evitar una evaporación rápida, que llevaría el consolidante a la superficie de la piedra.

CONSOLIDACIÓN ESTRUCTURAL

Para la realización y consecución de los procesos de ***CONSOLIDACIÓN ESTRUCTURAL***, existen diversas metodologías, entre las que se pueden mencionar: colocación de ***TIRANTES***, ***CORDADAS***, ***PLANCHAS***, ***INSERCIONES METÁLICAS***, ***GRAPADOS*** y ***CONSOLIDACIÓN DE CIMIENTOS***.

TIRANTES: pueden ser de acero inoxidable o de cemento armado. Se los debe adosar al muro con disposición vertical.

CORDADAS: son, en general, de cemento armado, aunque también pueden ser de acero o incluso de otros materiales.

La técnica de cordadas consiste en el entramado de las mismas en sentido vertical y en sentido horizontal, de forma externa o embutida, según los casos. El muro queda así entelado.

Otra técnica de cordadas requiere que se organicen series verticales adicionadas a las horizontales ya existentes. Esta última es una técnica extrema ya que presenta un aspecto exterior muy visible.

ABRILLANTADOR DE MÁRMOLES LIBERON
Polvo a base de estaño que devuelve el brillo a todo tipo de mármol y piedras naturales, recuperándolas y eliminando rayados.

ARBOCELL
Fibras de celulosa para la limpieza de sales en frescos, cerámica, piedras, etc. se mezcla con agua desmineralizada. Existen dos modelos, una de fibras largas y otra de fibras medianas.

CAL LAFARGE
Una cal hidráulica blanca debida a la pureza de la materia prima empleada.

CONSOLIDANTE WACKER OH
Preparado listo para utilizar, de bajo peso molecular, a base de éster etílico del ácido silícico, con una elevada penetración, seca sobre el material tratado sin quedar pegajoso. El material tratado conserva su permeabilidad al vapor de agua.

EPOTEK 301
Adhesivo epoxi de dos componentes que pueden endurecer con o sin calor. Apto para la restauración arqueológica.

HIDROFUGANTE WACKER 290
Concentrado de silicona en base a silanos/siloxanos, libre de disolventes y diluible en disolventes orgánicos. Recomendado en la conservación de monumentos y en la restauración de edificios de piedra natural. Sin embargo, no es apropiado para la hidrofugación del yeso.

MORTEROS PARA INYECTAR SERIE LEDAN ITAL
Estos productos LEDAN están premezclados y listos para su uso, añadiendo simplemente agua. Los originales y prestigiosos estucos, morteros de inyección y consolidantes italianos para el tratamiento de superficies pétreas.

SEPIOLITA
Silicato de magnesio. Polvo fino, blanco grisáceo, empleado como carga en pastas para la limpieza. Sirve para eliminar las sales en la piedra, murales, cerámicas, etc.

SUPERMOLD
Productos para la limpieza y extracción de sales en fachadas y piedras ornamentales. Aplicación de forma fácil y rápida con pistola, rodillo o brocha, producto totalmente inerte.

TEGOSIVIN HL 100
Utilizado para hidrofugar superficies de materiales minerales porosos, como el ladrillo, la piedra. Las superficies tratadas adquieren propiedades hidrófugas. Aplicando este producto se logra una reducción de la absorción de agua, una protección eficaz contra la lluvia y humedad, prevención de sales soluble. Respetando siempre la “transpiración”del muro y sin que se produzca normalmente ninguna alteración óptica.

TENGOVAKON V
Sistema monocomponente, listo para su aplicación a base de éster de sílice y metilsiloxano con efecto consolidante. Aplicado sobre piedras erosionadas, recupera la capacidad sustentadora de los sustrato y recupera la estructura mineral del mismo.

CONSOLIDANTES PARA MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS DE LA FIRMA RESTAUROLID IBÉRICA S.L.

En caso de que las cordadas se embutan, también es una técnica considerada extrema por el daño que le causa al material pétreo.

PLANCHAS: son en general de cemento armado. Se las debe aplicar sobre las dos caras del muro. El armado de la losa o plancha consiste en una malla metálica, y su adherencia se logra a través de barras pasantes.

La fabricación de las planchas se puede efectuar a base de conglomerados de cemento corriente. Otra forma de hacerlas es con maltas aditivadas o preconfeccionadas. Esta última opción es la mejor debido a que tienen mayor garantía de adherencia al muro y permite reducir el espesor de las planchas a tres centímetros.

INSERCIONES METÁLICAS: son generalmente armaduras de acero inoxidable. En algunos casos pueden también ser de titanio. El acero puede estar aleado con molibdeno, cromo o tungsteno, según las necesidades a las que haya que enfrentarse.

El armado de acero inoxidable es una forma de consolidación muy buena, ya que es muy eficaz y rápida.

Además, no tiene efectos sobre la estructura del muro y no la afecta ni estética ni estáticamente. La disposición de las barras que se insertan se debe estudiar minuciosamente, lo mismo que el material que se elige para utilizar, para que esta metodología de consolidación sea óptima.

GRAPAS: se elaboran con diferentes clases de acero y son elementos muy eficaces. Los cosidos con grapas deben estar precedidos de un estudio del tipo de material sobre el que se insertarán. También se debe investigar el estado de cohesión de los materiales rocosos para elegir correctamente las dimensiones y las formas de las grapas.

Tanto las inserciones metálicas como las grapas se encastran utilizando como consolidante resinas epoxi con o sin carga. El metal debe ser tratado previamente para evitar su reacción.

CONSOLIDANTES INORGÁNICOS

Los productos de ***CONSOLIDACIÓN INORGÁNICOS*** poseen una naturaleza similar a la de los componentes minerales de los materiales pétreos. Estos productos son, en general, durables pero no son muy penetrantes. Reaccionan con mucha velocidad, y eso reduce aún más su capacidad de penetración en el seno de la piedra tratada.

Su capacidad de relleno de espacios vacíos se limita a tamaños inferiores a un rango de 50-100 micras. Son más frágiles que los consolidantes orgánicos y menos elásticos que éstos.

Sin embargo, duran más que los productos orgánicos. Los consolidantes inorgánicos presentan una estructura cristalina afín con la de las rocas.

Por último, los consolidantes inorgánicos no logran una mejora en las propiedades mecánicas de las rocas bajo tratamiento tan elevada como lo hacen los consolidantes orgánicos.

Una vez aplicado el consolidante inorgánico, precipita un nuevo producto, insoluble en agua débilmente adherido a los componentes minerales de la piedra. La precipitación se produce como resultado de la reacción entre el consolidante aplicado y los componentes de la piedra, con el agua con la que se pone en contacto o con el dióxido de carbono del aire.

El compuesto resultante, debido a su afinidad con el material que compone la roca, se adhiere a las paredes de los capilares.

Los productos inorgánicos tradicionalmente utilizados para la consolidación son la cal y los alumbres.

El agua de cal –agua saturada en ***HIDRÓXIDO CÁLCICO***– se evapora dejando un residuo de hidróxido, que se carbonata posteriormente cuando entra en contacto con el dióxido de carbono del medio ambiente. En general, se realizan varios tratamientos para obtener una consolidación adecuada.

HIDRÓXIDO DE BARIO: produce un carbonato más resistente e insoluble. El hidróxido de bario actúa de la misma manera que el de calcio.

Sin embargo, tiene el inconveniente de producir blanqueamientos cuando las aplicaciones no son correctas y requiere un sustrato completamente libre de sales. El hidróxido de bario carbonata más fácilmente cuando la disolución concentrada de hidróxido de bario al 20 % se une con un 10 % de urea. La urea por descomposición genera anhídrido carbónico y urea.

BICARBONATO DE CALCIO: actúa por descarbonatación y deshidratación, precipitando carbonato cálcico.

Estos tratamientos son más adecuados con materiales altamente porosos, ya que esto permite la carbonatación completa del ligante. Los materiales pétreos más adecuados para ser tratados con estos consolidantes son los calcáreos.

La base de composición de las piedras calcáreas son carbonatos de calcio (calcita) o carbonatos cálcicos-magnésicos (dolomita). Así, el tratamiento no introduciría ningún elemento extraño a su composición original.

Tanto el hidróxido de calcio, como el hidróxido de bario y el bicarbonato de calcio son capaces de consolidar materiales que se encuentran muy descohesionados.

Se utiliza también como consolidante inorgánico el ***ALUMINATO DE POTASIO***. La consolidación se produce por reacción y precipitación de la alúmina en el espacio poroso. La ligazón que presenta es de tipo electrostático.

El inconveniente que presenta el aluminato de potasio es la generación de hidróxido potásico. Esta base se puede transformar en sulfato o carbonato. Estas dos sustancias son muy solubles al agua y tienen gran poder de degradación de las rocas.

SILICATOS: son consolidantes orgánicos que tienen un uso bastante extendido. Liberan gel de sílice como ligante de los granos rocosos. Esta es la razón por la que los silicatos son muy adecuados para consolidar materiales silíceos o para proporcionar una base de sílice a rocas que recibirán un tratamiento posterior con siliconas o silanos (si la roca que carece de silicatos).

La sílice es un producto resistente e inerte, pero irreversible. De este modo, cualquier error, tratamiento excesivo o inadecuado, produce blanqueamientos imposibles de borrar.

Un producto cada vez más utilizado en la consolidación inorgánica es el ***ÉSTER SILÍCICO O SILICATO DE ETILO***. Estos ésteres reaccionan con el agua cuando se encuentran con un catalizador ácido, como el ácido clorhídrico.

El resultado de la reacción es la precipitación de gel sílice y alcohol, en lugar de las bases fuertes de los silicatos alcalinos.

Después del desecado, el ácido silícico libera sílice libre que cohesiona y adhiere los granos de la piedra. El alcohol ayuda en la eliminación de la humedad y para evaporarse posteriormente.

La reacción descripta no es rápida y se debe aguardar un tiempo prudencial para poder garantizar su resultado. Al ser los ésteres silícicos volátiles, se deben evitar evaporaciones prematuras, antes de que la reacción se haya completado.

Estos productos presentan una baja tensión superficial, lo que se constituye como un factor positivo para que penetre.

Sin embargo, los materiales consolidados deben ser hidrofugados después del tratamiento, como consecuencia de la característica hidrofílica de la sílice. El inconveniente que presenta es que es irreversible, y que su velocidad de reacción no se puede predecir.

CONSOLIDANTES ORGÁNICOS

Los consolidantes orgánicos poseen una naturaleza diferente a la de la piedra. Actúan formando una película adhesiva hidrofugante que cubre la superficie. Además, reviste las paredes de los capilares o conductos porosos. Al ser productos hidrofóbicos, no se los puede utilizar para la preconsolidación en la limpieza húmeda.

Los consolidantes orgánicos, tienen propiedades físicas y químicas muy diferentes a las de las piedras, por ejemplo, su dilatación térmica es muy distinta. El efecto de los consolidantes orgánicos no es muy duradero y pueden cambiar su color cuanto están expuestos a las radiaciones solares ultravioletas.

Por otro lado, se caracterizan por su elasticidad y por ser buenos adhesivos. Las soluciones que se utilizan para inyectar consolidantes orgánicos no tienen demasiada capacidad de absorción, por lo que una vez que se polimerizan son filmógenos. Por último, los consolidantes orgánicos no colman los poros, sino que forman una capa de material adhesivo que cubre las paredes, lo que permite la transferencia de humedad.

Se necesita de la dilución previa de los consolidantes orgánicos para optimizar la penetración y asegurar una baja viscosidad, y lograr que no se forme una película en la superficie. El producto disuelto no debe tener mucho contacto con el aire, ya que la evaporación rápida del disolvente provocaría un aumento en la concentración y viscosidad del producto, lo que disminuiría su capacidad de penetración.

Los consolidantes más utilizados son las ***RESINAS TERMOPLÁSTICAS*****,** especialmente las resinas acrílicas. Estas resinas constituyen derivados del ácido acrílico que se obtienen generalmente mediante la polimerización del metacrilato de metilo.

[1]Los silanos contienen radicales orgánicos, algunos de cuyos carbonos se encuentran unidos a átomos de silicio. Existen casos en que además de la unión directa silicio carbono se encuentra una unión éster. En esta unión la relación se establece a través de un átomo de oxígeno, como el dietoxi-dimetil-silano. La hidrólisis de enlace éster lleva a silanoles inestables, cuyas moléculas forman largas cadenas cuando se unen, originando siliconas. Este tipo de compuestos mantiene una parte orgánica hidrófoba y sin afinidad por la superficie polar de los materiales pétreos y una parte polar con afinidad por la superficie de los mismos. Así, se fijan a la piedra por la parte silícea, polar de la cadena, manteniendo una capa superficial orgánica y no polar que es repelente al agua. El agua no puede entrar en la porosidad mojando la superficie de los poros, pero estos quedan abiertos permitiendo la transpiración del vapor.

Los disolventes orgánicos pueden disolver las resinas mediante su introducción entre las cadenas de carbonos polimerizados, con lo que las separa. De esta manera, una característica de los consolidantes orgánicos –a diferencia de los inorgánicos– es que son reversibles. Las cadenas permanecen sueltas dentro del disolvente proporcionando una viscosidad elevada a la disolución.

La viscosidad dificulta la penetración de los consolidantes orgánicos. Existen procedimientos para evitarla. Uno de estos procedimientos es introducir un monómero que polimeriza en el interior de los poros.

Otro procedimiento consiste en aplicar un polímero en disolución en xileno o tolueno, diluida a su vez en gasolina, hasta conseguir concentraciones inferiores al 5 %. Pero la reacción de polimerización y la evaporación del disolvente transportan el producto hacia el exterior. Esto provoca la obstrucción de la porosidad y logran un efecto de impermeabilización que no permite la transpiración. Para lograr una penetración más profunda, se necesita una repetición de la aplicación del producto, muy diluido.

Otro producto utilizado para consolidar, pero sobre todo para fijar estucos y capas pictóricas en las piedras es el ***ACETATO DE POLIVINILO***. Este producto se obtiene por polimerización del acetato de vinilo. El producto debe ser inyectado en emulsión bajo la capa desprendida. Esto se debe a que el producto no deposita una película homogénea sobre los poros de la piedra, sino que deposita grumos que ocluyen la porosidad. Un fijador de capas pictóricas que se utiliza también es la emulsión de ***RESINA ACRÍLICA***. Las resinas mencionadas son también reversibles, al ser solubles en disolventes orgánicos. Además, impermeabilizan las superficies de los poros, ya que les suministran ciertas propiedades hidrófugas.

RESINAS TERMOENDURECIBLES: al ser insolubles, no presentan esta característica de reversibilidad. Además, son menos estables frente a la radiación solar. La aplicación se realiza mediante un producto más o menos viscoso que se mezcla con un catalizador. En el interior del material se produce una reacción de reticulación que proporciona un producto muy resistente.

Últimamente, se extiende el uso de consolidantes orgánicos fluorados. Estos productos son polímeros termoplásticos que se obtienen por polimeración del óxido de etileno. El flúor provoca que la resina tenga una gran estabilidad química, mayor rigidez y mayor insolubilidad.

CONSOLIDANTES MIXTOS (SILICO-ORGÁNICOS)

Son utilizados tanto para la consolidación de los materiales pétreos como para su protección, ya que tienen efecto de hidrofugado.

En general, los productos silico-orgánicos son fáciles de aplicar porque tienen un solo componente. Además, no colman los poros o fisuras de la piedra y no impiden la difusión del vapor de agua. No suelen modificar el color y el brillo de la piedra y presentan una buena penetración. Asimismo, los productos silico-orgánicos no generan productos secundarios.

Este tipo de productos consolidantes llevan silicio en su composición. El silicio, al igual que el carbono, se puede unir a sí mismo posibilitando la formación de compuestos inorgánicos que son análogos a los orgánicos.

Los silanos[1] con enlaces de tipo éster se utilizan con la doble finalidad de consolidación y de hidrofugación. Uno de estos silanos es el metil-fenil-etoxi-silano. Este tipo de compuesto penetra bien en el material y constituye un repelente orgánico.

Sin embargo, es irritante. La reacción que transforma el silano en un polisiloxano en el sistema poroso, genera filamentos que consolidan los granos, uniéndolos. Por otro lado, además de consolidar, hidrofugan.

Las siliconas se utilizan sólo para hidrofugar, ya que están polimerizadas y la evaporación del disolvente deja una película fina del producto, que recubre el sistema poroso de la roca.

Si es necesario consolidar se aplica un tratamiento previo, que puede ser a base de silicato de etilo, que proporciona a la piedra la base silícea que necesita para el agarre químico de la silicona, en el caso en que la roca sea de tipo carbonatado.

En este tipo de rocas, la unión de la película de silicona es mecánica solamente y las siliconas suelen ser inestables en el medio alcalino que caracteriza a estas piedras (que se agudiza si existen morteros de cal mal carbonatada).

Las siliconas en cadena lineal no son solubles en agua pero sí en disolventes orgánicos. Se suelen comercializar como emulsiones para inyectarse y formar barreras contra la capilaridad ascendente.

Un inconveniente que presentan las siliconas es que son inestables frente a la luz y al oxígeno. De este modo, se hace obligatorio el mantenimiento periódico.

La capa hidrófoba que dejan es, además, débil frente a las agresiones mecánicas. Otro problema que generan las siliconas es la producción de sosa cáustica.

Si se mezclan las siliconas con las resinas acrílicas, se obtienen compuestos que agregan a las propiedades hidrófobas de las primeras la resistencia de las segundas.

También se puede recurrir a productos donde un acrílico se modifica con un silano, lo que forma un compuesto con propiedades intermedias entre ambas sustancias. Un ejemplo de esto último es el metiltretoxi-silano.

PROTECCIÓN

Tiene por objeto disminuir la velocidad de los procesos de degradación que las afectan. Estos procesos de degradación están estrechamente ligados a la interrelación con el medioambiente circundante.

En general, la forma de conseguir la protección de las condiciones ambientales es la aplicación de productos sobre las superficies de las piedras. La finalidad más deseada es poder volver a la piedra impermeable al agua.

Pero también se busca proteger a las piedras del desgaste natural y de la acción de los agentes biológicos.

Los productos que se aplican a la protección son normalmente transparentes, para no alterar el aspecto de las piedras.

Se cree que la protección de las piedras es un trabajo que se hace desde la antigüedad clásica. Algunos estudios señalan que las piedras exteriores de las construcciones tenían protecciones de albúmina, cera, colas animales o resinas naturales.

Ninguno de estos productos modifica el aspecto exterior de las piedras. Desde aquella época a esta parte, numerosos productos han sido utilizados para la protección superficial de las piedras, aunque con resultados no muy satisfactorios (en especial en ambientes húmedos).

Algunos de estos productos han sido los aceites de lino cocido, las resinas naturales, las lechadas de cal, los silicatos alcalinos, los fluosilicatos, los fluoruros, las disoluciones de sales de bario, y las siliconas (que es el más efectivo y el más utilizado en la actualidad).

Se mencionan como productos de protección a los ***HIDROFUGANTES***, la ***CERA*** y los ***BIOCIDAS***. Con excepción de las ceras, los productos restantes ya han sido explicados en limpieza y consolidación. Es que muchos de los productos aplicados en esas dos etapas del tratamiento funcionan simultáneamente como protectores.

IMPERMEABILIZACIÓN y ***DISPOSICIONES CONTRA LA HUMEDAD***: son los objetivos principales de la etapa de protección. Los productos más utilizados para conseguir la impermeabilización son los ***PRODUCTOS SILICO-ORGÁNICOS***, que también se utilizan como parte de la consolidación de las rocas.

Es que este tipo de productos cumple una doble función, la de consolidar y la de proteger. Los productos silico-orgánicos (o mixtos orgánico-inorgánico) contienen silicio que puede formar compuestos inorgánicos análogos a los orgánicos.

Los compuestos silico-orgánicos se hidrolizan cuando se humedecen. Se forma así sílice, que precipita de manera desordenada y puede unirse mediante enlaces electrostáticos al retículo polar de los minerales.

Las siliconas, entonces, muestran una excelente acción protectora de la superficie de las piedras. Los grupos metilo del metil-polisiloxano son hidrófobos y no muestran afinidad con la superficie polar de los materiales rocosos.

Cuando se aplican estos productos a las piedras, la capa monomolecular de grupos metilo le confiere una tensión superficial muy baja, lo que impide al agua extenderse y mojar la piedra.

Los mayores beneficios que muestran los productos silico-orgánicos a la hora de proteger a las piedras son que no influyen en el color y en el brillo; que son estables frente a agentes químicos como la lluvia ácida; que son estables frente a las radiaciones ultravioletas; que son permeables al vapor de agua e impermeables al agua líquida. Por otro lado, su efecto es reversible y son de fácil extracción y tienen gran simpleza de aplicación.

Se optimiza el resultado protector de los productos silico-orgánicos cuando las piedras que han sido previamente consolidadas fueron tratadas con productos silico-orgánicos también. Esto se debe a que estos productos proporcionan una base adecuada para el enlace polar de las siliconas.

Las intervenciones de protección contra el agua no se dan solamente mediante la aplicación de productos hidrofugantes. Existen acciones concretas de ***DISPOSICIÓN CONTRA LA HUMEDAD*** como la ***COLOCACIÓN DE BARRERAS***, la ***REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN DEL MURO*** o métodos de ***ELECTROÓSMOSIS*** que pueden evitar el ingreso de humedad en la construcción.

COLOCACIÓN DE BARRERAS IMPERMEABLES: varían según éstas sean horizontales o verticales. Las horizontales cortan el paso del agua en dirección vertical. Las verticales para evitar que el agua penetre moviéndose de forma horizontal.

Cuando se colocan barreras horizontales, se puede seccionar o agujerear el muro horizontalmente con sierras adecuadas o con máquinas perforadoras (similares a las que se utilizan para la extracción de muestras cilíndricas de piedras u hormigón).

Posteriormente se debe colocar en el corte o hueco un material impermeable. Este material se puede tratar de algún metal, láminas de productos plásticos, placas de gres, pizarra o alguna otra piedra poco porosa y mezclas de resinas epoxi, siliconas o látex con polvos de piedra).

REDUCCIÓN DE UNA SECCIÓN DE MURO: tiene buenos resultados en la disminución de la cantidad de agua ascendente. Se le deben practicar cortes horizontales que no comprometan al núcleo resistente. Además, este tipo de cortes favorecen la evaporación.

MÉTODOS DE ELECTROÓSMOSIS: son muy cuestionados, y tienen grandes defensores y grandes detractores. Por medio de este fenómeno se intenta crear un campo electromagnético que invierte el sentido de la circulación de la humedad, convirtiéndolo en descendente en lugar de ascendente.

De este modo, se evitan los efectos sin incidir en el origen de las humedades. Eso se consigue en la práctica colocando una línea de electrodos a la pared y conectados a tierra, que cumple la función de cátodo.

Si se interpone un generador eléctrico entre los electrodos y el cátodo, el fenómeno se activa.

ELECTROÓSMOSIS-FORESIS: es una variante del sistema y consiste en introducir en los agujeros de las sondas anódicas productos que, transportados por el agua en su camino descendente, tapan los capilares al dejar depósitos originados por reacciones químicas.

Se pueden reducir las humedades de condensación de los muros de piedra con un adecuado aislamiento térmico. Si no se puede resolver así, una posible solución puede ser procurar una mejor ventilación o incrementar la temperatura de la parte interior del muro. Esto último se logra mediante lámparas de infrarrojos.

PRODUCTOS BIOCIDAS: se aplican también después de la limpieza y consolidación para proteger a las piedras del ataque de los agentes bióticos.

Las algas y mohos, las bacterias y otros organismos son grupos persistentes que degradan las construcciones pétreas.

Las piedras más porosas, como los mármoles y las calizas, se vuelven más vulnerables al ataque biológico después de ser limpiadas. Esta es la razón por la que la protección se debe dar de manera casi inmediata después de la limpieza.

En general se utilizan productos de espectro desinfectante amplio, pero la eficacia de los productos depende de las rocas bajo tratamiento y del medio donde se encuentren expuestas.

Los productos que se elijan para proteger de la acción biológica deben tener baja solubilización en agua y no deben tener ninguna reacción con los productos que se hayan utilizado en la consolidación y limpieza de la piedra. Además, se debe buscar siempre la máxima permanencia de sus efectos pero con la mínima toxicidad posible.

Los biocidas más utilizados son el cloruro de benzalconio, el amoníaco (las sales de amonio), el formol y el hipoclorito sódico. Existen tratamientos de origen eléctrico, que se presentan como efectivos para determinados tipos de microorganismos, aunque se caracterizan por su lentitud.

CERA: se aplica en la protección de mármoles desde la antigüedad, y aún hoy día es una forma protectiva válida.

La aplicación de cera virgen de abeja es un método de protección muy sencillo, accesible y eficaz. La aplicación se esta cera se debe hacer calentando la piedra de forma gradual mediante métodos eléctricos.

La cera se debe rectificar con un disolvente. Este producto disolvente puede ser esencia de trementina. Luego se aplica la mezcla a la piedra caliente.

Cuando el disolvente se evapora de debe repetir la operación. Se deben realizar tantos ciclos de aplicación como sean necesarios para saturar el material.

El método descrito permite la realización inversa, es decir, se puede calentar la cera en fundidores eléctricos y aplicarla sobre el mármol frotando con fuerza. Sin embargo, la penetración es menor.

La cera tiene un efecto no deseado aunque no muy grave, y es que puede llegar a producir un ligero oscurecimiento si se la aplica sobre mármoles claros.

Pero tanto como oscurece, cubre rayaduras y despotricados. Hay que tener cuidado de no aplicar cera sobre areniscas y alabastros.

Se puede mezclar la cera con productos fungicidas y bacteriostáticos, por lo que la protección sería aún más completa.

SUSTITUCIÓN Y REPOSICIÓN

La sustitución consiste en el cambio de una piedra de la construcción por otra. La piedra sustituta debe tener un aspecto y unas características petrofísicas congruentes con la piedra que se quita y con la construcción y el ambiente donde va a ser ubicada.

Tanto para la sustitución como para la reposición de piedras es necesario localizar el material que sea el más adecuado, es decir, se debe localizar la cantera de origen o una piedra de naturaleza similar.

La colocación de la piedra de reposición o de la piedra sustituta es uno de los aspectos más importantes de este proceso.

Se deben estudiar y tener en cuenta los cortes de las piedras y sus características texturales (sus planos de estratificación, su foliación, el diaclasado). Esto no es importante solamente debido a razones estéticas. Las rocas son materiales desiguales que varían sus propiedades con la orientación.

El estado actual de las investigaciones sobre las piedras habilita la selección de las variedades de rocas que sean las idóneas para cada ambiente. Asimismo, hoy día se puede elegir, dentro de una determinada clase de piedra, las variedades de mayor durabilidad.

Para efectuar la reposición es recomendable efectuar un cajeado para alojar la pieza.

Si bien lo que se busca es que la pieza de reposición o de sustitución sea lo más parecida posible a la original, siempre se debe marcar la diferencia de las piedras nuevas y de las viejas.

Esto permitirá realizar un seguimiento posterior del tratamiento y una evaluación de los resultados de la intervención.

Si se tratara de una construcción con valor artístico y/o valor histórico, el público visitante debería ser capaz, también, de reconocer cuando una piedra no es la original.

RECONSTITUCIÓN O REINTEGRACIÓN

La finalidad de este proceso consiste en recuperar volúmenes o formas que se hayan perdido de las construcciones de piedra.

Para llevar adelante la reconstitución se utilizan ***MORTEROS, PIEDRAS NATURALES TALLADAS O REPRODUCCIONES MOLDEADAS ARTIFICIALES***.

La reconstrucción mediante morteros se emplea cuando el contorno de la piedra ha disminuido sus dimensiones, debido a las alteraciones sufridas.

Se debe aplicar un mortero, mediante llana o cualquier otro tipo de útil con la misma finalidad, para reconstruir el perfil original de los elementos que se encuentran alterados.

MORTEROS: se moldean y se tallan *in situ*. Esto permite pequeñas recuperaciones sobre las piezas. Pero simultáneamente se logra respetar las partes de los originales que permanecen inalteradas.

Los morteros pétreos se pueden elegir entre los morteros industriales o, por el contrario, formulado de manera específica por el taller de restauro. Esta opción permite que los morteros se adapten mejor a las condiciones concretas de cada construcción.

Los morteros de restitución deben tener una densidad y resistencia menores o iguales que los de la piedra original. Esto evita que las incorporaciones creen tensiones en las piedras.

Este tipo de reconstrucción se apoya por trabajos de moldeado de caucho natural látex que se refuerza con fibra de vidrio y resinas poliestéricas. Estos compuestos se utilizan como encofrado de los elementos que se incorporan.

Los morteros comercializados se basan en conglomerantes minerales o sintéticos y polvo de piedra de oloración, textura y tipo similar a la original.

En general, los ligantes de los morteros suelen ser ***CALES***, ***CALES HIDRÁULICAS***, ***YESOS*** Y ***CEMENTO PÓRTLAND***.

Un problema que presenta la cal grasa es que necesita para fraguar el contacto con el anhídrido carbónico del aire y además, debe estar lejos de la humedad.

Como estas condiciones son difíciles de cumplir, se suele encontrar cal sin fraguar en el interior de muros pétreos antiguos. Para utilizar la cal como ligante de mortero, se la debe mezclar con un árido.

De lo contrario, se abrirían grietas de retracción durante el fraguado por el proceso de retraimiento que sufre. El fraguado de la cal es dificultoso y su conocimiento no está muy extendido.

Cuando se utiliza cal mezclada con un árido en un mortero, el fraguado se produce porque el ligante de cal se retira de los espacios entre los granos del árido hacia sus uniones.

Así los cementa y permite que se abra una porosidad por donde se elimina la humedad y penetra el aire.

Este es el modo en que el fraguado procede al interior del muro. Las proporciones de agua y de árido son importantes para el fraguado.

Al ser la cal problemática de fraguar, son más utilizadas las cales hidráulicas como ligantes de los morteros de restitución.

CALES HIDRÁULICAS: son cales adicionadas con materiales que contienen sílice y/o alúminas reactivas. Estas sustancias reaccionan con la cal –produciendo un primer fraguado– incluso en presencia de humedad.

El fraguado se da mediante la formación de silicatos y aluminatos cálcicos hidratados. Se produce un segundo fraguado más lento y posterior mediante el proceso de carbonatación del hidróxido cálcico excedente.

CEMENTO PÓRTLAND: fragua rápidamente con el agua. Esto origina una masa dura y rígida, frecuentemente más resistente en sus propiedades mecánicas que la propia piedra.

Además, suele tener un coeficiente de dilatación térmica más elevado. El fraguado se da en dos etapas.

La primera etapa de fraguado es rápida, cuando los silicatos y aluminatos cálcicos hidratados se cristalizan. El segundo momento de fraguado, que es más lento, el hidróxido cálcico (que también se había cristalizado) se va carbonatando.

El cemento Pórtland se ha contraindicado numerosas veces para los trabajos de restauración. Esto se debe a que transmite las tensiones hacia la piedra por ser más rígido y resistente que ella, lo que produce tensiones. Además, favorece la aparición de humedades por condensación y aporta sales solubles dañinas que proceden de las cenizas de combustión del proceso de calcinación o de la arcilla que se le agrega.

Los morteros de restauración consisten, en conclusión, de una carga de piedra molida similar o igual a la original más un ligante. Ese ligante se basa en cal y cemento Pórtland, con una fracción de resina que facilita su adherencia y aumenta sus propiedades mecánicas. Un buen mortero tiene las propiedades del sustrato pétreo y mantiene una buena adherencia.

Además, debe ser menos rígido y menos resistente que la piedra y debe mantener propiedades hídricas buenas para no provocar la retención de sales y de humedades.

Otro tipo de morteros que se utiliza son los que tienen base de resinas epoxídicas y piedra molida. A esta mezcla se le agrega un agente tixotrópico (arcilla bentonítica o talco).

Estas resinas logran reproducir una textura y consistencia adecuadas. Pero no logran una buena adherencia al sustrato pétreo. Esto se debe a que poseen una dilatación térmica diferente a la de las piedras. Estas resinas son utilizadas también para el relleno de fisuras, en la etapa de consolidación.

Para evitar inconvenientes en la utilización de los morteros, se deben tener en cuenta las siguientes precauciones. En primer lugar, el soporte debe estar sano. Para ello, se debe eliminar previamente la parte de piedra que se encuentre alterada.

Segundo, cuando el espesor de la reparación supere los dos centímetros, se debe proceder a extender el mortero en capas sucesivas. Estas capas deben ser de un centímetro, aproximadamente. Si fuera necesario, se deben disponer anclajes metálicos inoxidables para fijar el mortero a la base pétrea.

En tercer lugar, el mortero no debe ser extendido en superficies grandes sin prever juntas abiertas. Estas son capaces de absorber los movimientos debidos a la retracción o desplazamientos higrotérmicos.

Como máximo se deben utilizar longitudes de cuarenta centímetros, sin juntas.

Por último, en las reparaciones resulta imprescindible realizar ensayos previos, tanto en seco como en húmedo, de la adherencia del mortero, del aspecto de la reparación, de la aparición de fisuras en la base pétrea o en el mortero. Estos ensayos se deben realizar cuando el proceso de fraguado haya concluido.

Una técnica alternativa a la recomposición por morteros que se realiza *in situ*, es la reproducción en taller gracias al ***MOLDEADO EN CAUCHO DE SILICONA Y CHAPAS MECANIZADAS DE FIBRA DE VIDRIO CON RESINAS EPOXÍDICAS***.

Esta resina, si se combina con la cámara de vacío y la máquina reproductora de volteo, permite conseguir una fidelidad extraordinaria si se trata de réplicas.

En el caso de que se esté reconstruyendo una obra artística, y a diferencia de los morteros de cal y cemento, estos moldeados logran reproducir la calidad expresiva del original.

Un último tipo de reconstitución se puede hacer utilizando ***TÉCNICAS TRADICIONALES DE CANTERÍA Y TALLADO DE PIEDRA***. Sin embargo, suelen existir dificultades para encontrar la misma clase de piedra ya que generalmente, las canteras están agotadas.

Incluso tratándose de un material similar, el aspecto estético de la piedra recién tallada se distancia mucho de la textura y cromatismos que poseen las piedras originales. Estas características únicas son marcas del paso del tiempo y de la historia de la construcción.

De este modo, las recomposiciones quiebran la armonía estética. Una dificultad añadida es la pérdida de la tradición de los oficios artesanales, que redunda en problemas para encontrar tallistas finos en piedra.

MANTENIMIENTO Y PREVENCIÓN

Estos dos procesos tienen por objetivo que los resultados que se obtengan de los tratamientos aplicados sean efectivos y duraderos.

Asimismo, intentan que el deterioro de la piedra se ralentice. El deterioro de las construcción es muy rápido en las zonas industriales y urbanas, debido a los efectos de la atmósfera contaminada.

Es en estos lugares donde se debe prestar más atención a la prevención y mantenimiento de las construcciones pétreas.

El mantenimiento debe incluir revisiones periódicas de las construcciones y el control de los factores de alteración de las piedras.

Se deben controlar drenajes de agua de las cornisas, las terrazas y de cualquier otro lugar donde haya paso de humedades.

La prevención tiene que ver con registrar los parámetros medioambientales y de los contaminantes de la atmósfera que rodean a la construcción.

Así, se pueden tomar las medidas que sean necesarias para evitar males futuros, si se detectan cambios dañinos potenciales para las piedras.

Los datos se deben correlacionar entre sí y con las lesiones que se observan en las construcciones.

Cada construcción pétrea de tener un programa de mantenimiento específico. Lo mismo sucede con la conservación preventiva.

En esos programas se definen los parámetros que se deben medir y seguir periódicamente. Los resultados que arrojen las investigaciones indicarán la dirección que se debe tomar para implementar las medidas que eviten el deterioro y logren un mantenimiento óptimo.

EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO

Una de las características básicas de los materiales pétreos es su heterogeneidad. Esta característica hace que no todas las piedras alcancen el mismo resultado frente a los tratamientos.

A esto se suma que las condiciones que rodean a las edificaciones de piedra no son, en general, las mejores para que los productos aplicados en el tratamiento tengan una evolución favorable.

Como en el momento de la diagnosis, la evaluación se desarrolla en dos etapas. Una requiere la realización de pruebas in situ. La otra en el laboratorio.

EVALUACIÓN IN SITU

Las pruebas que se suelen realizar en el lugar valoran los tratamientos y su evolución a través del tiempo. Para ello estudiarán: ***COLOR***, ***HUMEDAD*** y ***ABSORCIÓN DE AGUA***. Se deben seleccionar sillares que posean condiciones de exposición similares a todo el paramento a los que realizar las pruebas. De las zonas seleccionadas se debe realizar un registro gráfico completo, con fines comparativos temporales.

Para realizar las ***MEDIDAS DE LOS CAMBIOS DE COLOR*** se debe utilizar el ***COLORÍMETRO***. Los cambios en el color indican que los productos aplicados no fueron los indicados.

HUMIDÍMETROS: sirven para determinar la ***HUMEDAD DE LA PIEDRA***. Se debe hacer la prueba en una piedra tratada y en otra que no se haya tratado.

De esta manera, se podrán establecer comparaciones para evaluar los efectos del tratamiento.

Por último, para determinar la ***CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA*** se utiliza el ***MÉTODO DE LA PIPETA***.

También se debe realizar esta prueba en piedras tratadas y no tratadas, para poder efectuar la comparación y la evaluación de los productos aplicados o del tratamiento realizado.

Es recomendable repetir las pruebas una vez por mes, abarcando todas las estaciones del año.

EVALUACIÓN EN EL LABORATORIO

Para realizar la evaluación de los tratamientos empleados con las piedras se estudian las ***PROPIEDADES FÍSICAS*** que presentan y se realizan ***ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO*** sobre piedras tratadas. Además, se realizan ***ESTUDIOS QUÍMICO-MORFOLÓGICOS*** para establecer correlaciones.

Dentro de las ***PROPIEDADES FÍSICAS*** que se utilizan en la evaluación de los tratamientos está la ***MEDIDA DEL COLOR*** y el ***ÁNGULO DE CONTACTO***. Ambas propiedades tienen que ver con la superficie de las piedras.

COLOR: se mide en piedras tratadas, sin tratar y tratadas y envejecidas artificialmente. Se compara y evalúan los resultados.

ÁNGULO DE CONTACTO: ángulo que forma una gota de agua con la superficie de un sólido se relaciona con el carácter hidrófobo de su superficie.

El criterio es que si una gota es colocada sobre una superficie plana, adoptará una forma más similar a una esfera completa cuanto mayor sea la capacidad hidrófoba del material.

Este “efecto perla” se mide en piedras tratadas y no tratadas para comparar y establecer valoraciones de tratamientos de impermeabilización.

Otra propiedad física que se evalúa es la ***PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA***. Se comparan valores de las piedras tratadas y sin tratar para saber la mayor o menor difusividad que tendrá el vapor de agua por el interior de una piedra, como consecuencia de una intervención.

Si la permeabilidad al vapor baja mucho o se anula, la evaluación es negativa y se ha aplicado un producto incorrecto en su tratamiento.

También dentro de las propiedades físicas, la ***SUCCIÓN CAPILAR*** se investiga en casos donde se hayan realizado consolidaciones. Se busca saber cuánto disminuye con los tratamientos aplicados.

De igual modo, la ***EXPANSIÓN HÍDRICA*** y la ***EXPANSIÓN TÉRMICA*** se miden para evaluar si el tratamiento está dando resultado.

Las piedras ganan peso como consecuencia de la aplicación de los productos de tratamiento. Esta ganancia en peso se debe controlar, y vigilar la posible migración de los productos en el seno de la piedra. La ganancia en peso es función del tipo de producto y del tipo de piedra al que se aplica.

En cuanto a los ensayos de envejecimiento acelerado, se trata de las mismas pruebas realizadas durante la fase de diagnosis. Las pruebas de durabilidad son también las que se utilizan para evaluar los tratamientos aplicados.

En general, se realizan pruebas de ***CICLOS DE HUMEDAD Y SEQUEDAD***, de ***HIELO-DESHIELO***, de ***CRISTALIZACIÓN DE SALES***, de ***SIMULACIÓN DE ATMÓSFERAS CONTAMINADAS***, de ***NIEBLA SALINA***, entre otros.

Los resultados obtenidos en estas pruebas se deben comparar entre sí. Específicamente, se debe observar la morfología de las probetas tratadas antes, durante y después de la aplicación del ensayo.

Se deben describir las lesiones que pueden aparecer, y se deben establecer porcentajes de pérdida de material y comparar las propiedades físicas antes y después del ensayo.

Los estudios ***QUÍMICO-MORFOLÓGICOS*** incluyen observaciones con técnicas de microscopía de las piedras bajo tratamiento. También se realizan análisis químicos para interpretar los comportamientos que resultan de la fase experimental.

La técnica más utilizada es la ***MICROSCOPÍA ÓPTICA DE BARRIDO CON EL MICROANALIZADOR PUNTUAL ACOPLADO***. Se realiza para estudiar el recubrimiento de las piedras por los distintos tratamientos. Además, permite evaluar su profundidad de penetración y algunas características del tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Curso de Rehabilitación nº5. La estructura. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Iniciación a las restauraciones pétreas. *Doménico Luis. Caja General de Ahorros de Granada. Granada, 1991.*

Introducció a la ciència dels materials de construcció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8,31. Barcelona, 1995.*

Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 1997.*

Materials petris. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8.30. Barcelona, 1988.*

Procedimiento y técnicas constructivas del patrimonio. Tomo 3. *AA.VV. Munilla-Lería. Madrid, 1999.*

Tratamiento y conservación de la piedra en los monumentos. *AA.VV. Colegio Oficial de Aparejadores y Arq. Técnicos de Madrid. Madrid, 1994.*

Valoración del deterioro y conservación en la piedra monumental. *AA.VV. Centro de publicaciones. Secretaría General Técnica. Minist. de Fomento. Madrid, 1997.*

Informes de la Construcción Nº 433. *Interacción piedra-ambiente. 1º parte. Formas de alteración desarrolladas sobre la piedra de la Catedral de Burgos. Alonso-Díaz Pache-Esbert. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

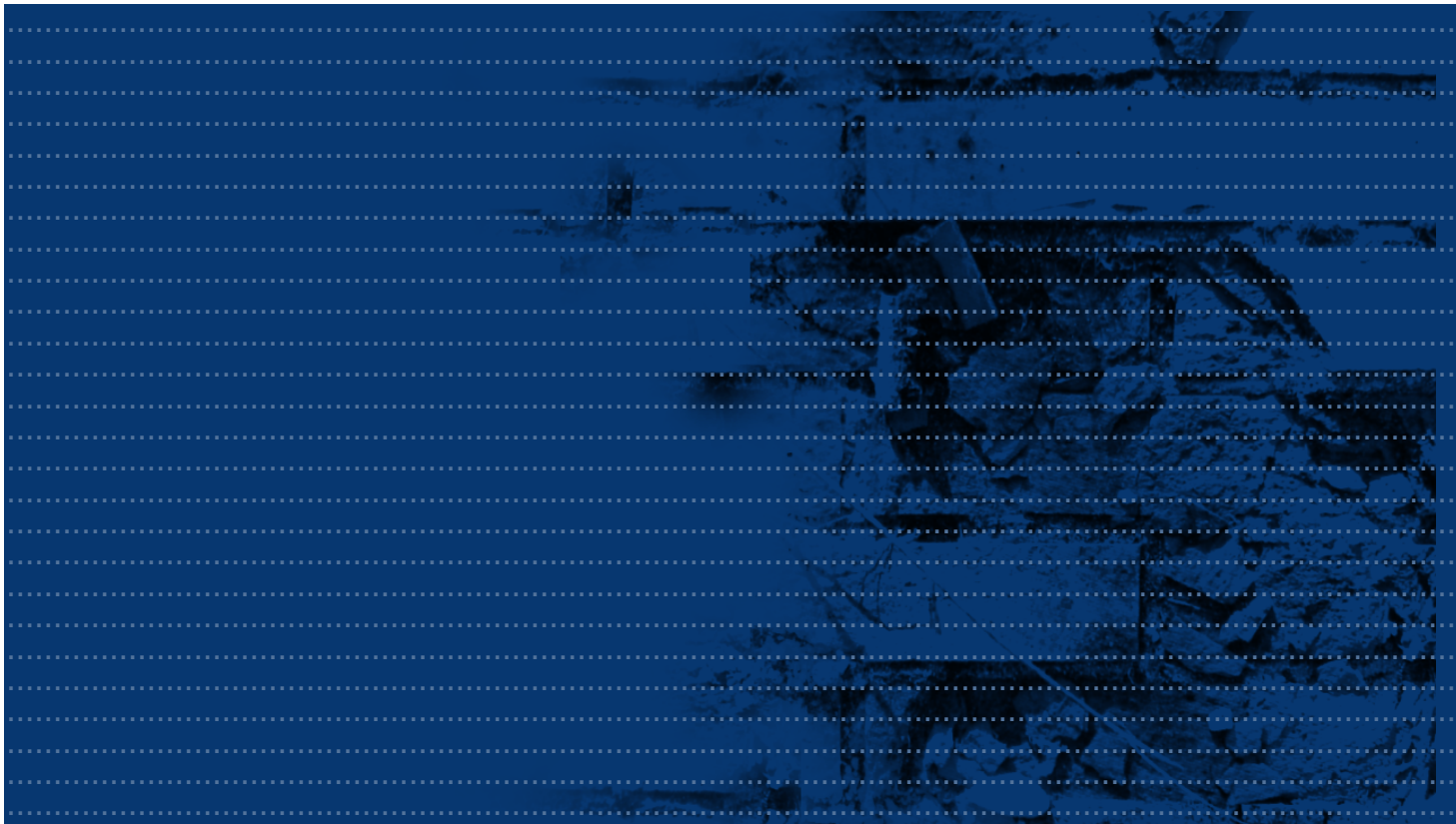
Recientes intervenciones en monumentos en España. Rodríguez Ortiz-Monteverde-García Gamallo.

Influencia de las características petrofísicas en la penetración de consolidantes en rocas porosas. Esbert-Díaz Pache.

Materiales de Construcción Nº 235. *Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Grossi-Esbert. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Materiales de Construcción Nº 245. *La emisión acústica aplicada al estudio del deterioro de la piedra en ensayos de cristalización con sulfato de sodio. Grossi-Esbert-Suárez del Río. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*
Materiales de Construcción Nº 252. *Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos. Grossi-Esbert-Díaz Pache. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Cuadernos INTEMAC Nº19. *Rehabilitación y durabilidad de fachadas de piedra.*



PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

INTRODUCCIÓN.....115
CAUSAS DE ALTERACIÓN.....119
DIAGNÓSIS.....139
TRATAMIENTO.....159
ESTRUCTURAS DE TIERRA.....177

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

INTRODUCCIÓN 115

CAUSAS DE ALTERACIÓN 119

ALTERACIONES DEBIDAS A CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL 119
ALTERACIONES DEBIDAS A ERRORES DE FABRICACIÓN 121
ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES QUÍMICO AMBIENTALES 127
ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES FÍSICO AMBIENTALES 131
ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES BIOLÓGICOS 134

DIAGNOSIS 139

ANÁLISIS DEL ENTORNO 139
ESTUDIO DE LA CONSTRUCCIÓN 141
CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS 142
EVALUACIÓN DE RESULTADOS 157

TRATAMIENTO 159

LIMPIEZA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS 160
CONSOLIDACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS 167
PROTECCIÓN: HIDROFUGACIÓN Y CORRECCIÓN DE HUMEDADES DE LOS MATERIALES CERÁMICOS 170
SUSTITUCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS 171
COMPLEMENTACIÓN Y RECONSTITUCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS 172
REPARACIÓN DE JUNTAS Y FISURAS 174
MANTENIMIENTO Y PREVENCIÓN 175

ESTRUCTURAS DE TIERRA 177

BIBLIOGRAFÍA 189

INTRODUCCIÓN

La aparición del ladrillo cerámico como elemento constructivo se puede datar hace más que cuatro mil años. Una parte de la historia de la arquitectura descansa en la tradición inagotable del ladrillo cocido.

Desde el origen de las poblaciones, la arquitectura se aprovechó de materiales como el adobe o el ladrillo, con su pasta mezclada con otros elementos (como la paja o las astillas de caña) para darle mayor consistencia. El ladrillo crudo –secado al sol o a la intemperie– y el ladrillo cocido –fraguado al fuego– fueron las dos formas en que se utilizó este material.

En la actualidad, los materiales cerámicos continúan perteneciendo al ámbito de los materiales de construcción más utilizados y sus formas de fabricación han mejorado y evolucionado notablemente.

Sin embargo, en esencia, los principios básicos son los mismos: la combinación de fuego, tierra y agua. Las etapas de fabricación incluyen a la selección y preparación de las arcillas, al moldeo de la pasta y su secado y finalmente a la cocción de la pieza.

El denominador común de todos los materiales cerámicos es su base de composición: la arcilla cocida. Pero esta base común no impide la generación de una variedad tal de fábricas cerámicas, que su clasificación resulta casi imposible. Además de los ladrillos, los cerámicos incluyen a materiales de acabado –como la terracota, la baldosa y el azulejo–, de cubrición –como la teja–, las bovedillas y las viguetas.

La arcilla –componente principal de la cerámica– es un tipo de roca sedimentaria disgregada, terrosa, criptocristalina. La arcilla está formada fundamentalmente por silicatos de aluminio hidratados, que tienen la propiedad de al adquirir cierta cantidad de agua, aumentar su volumen y devenir plásticas.

Así, las deformaciones del material no desaparecen aunque lo hagan las fuerzas que las provocaron.

Los minerales arcillosos forman parte del grupo de los filosilicatos, que se caracterizan por su estructura laminar. Están constituidos por tetraedros de SiO_4 que, unidos por sus caras, forman capas. Su tamaño es muy pequeño y se pueden agrupar del siguiente modo:

- **MINERALES ARCILLOSOS DE DOS LÁMINAS,** como la caolinita
- **MINERALES ARCILLOSOS DE TRES LÁMINAS,** como el montmorilanitas y las ilitas
- **MINERALES ARCILLOSOS FIBROSOS,** sin aplicación en la industria cerámica, por ser poco plásticos.

La caolinita forma básicamente el caoli, una arcilla de color blanca. El caoli se utiliza principalmente para la porcelana.

Las montmorilanitas son de color blanco, gris, o gris verdoso. Aumentan su volumen considerablemente con el agua y son el principal componente de la bentonita, una arcilla que, por sus efectos tixotrópicos, es utilizada para la consolidación de suelos.

TIPO DE ARCILLA	TIPO DE CERAMICA	PIEZA	CONFORMACION	POROSIDAD Y ABSORCION
Ordinaria (illitas)	Baldosa	Ladrillos Tejas árabes Baldosas	Manual	Muy alta
Escogida y dosificada (illitas)	Industrial	Ladrillos Tejas de todo tipo Baldosas Piezas poco caladas	Hilera	Alta
Escogida, dosificada uniforme y de grano fino	Industrial	Piezas muy caladas Conductos de humo y de aire Baldosas	Hilera Laminado	Alta
Escogida dosificada uniforme y de grano muy fino	Fayenza	Figuras, molduras Apliques decorativos Baldosas esmaltadas Piezas de sanitarios de poca calidad	Molde Prensa Molde	Media Impermeables
Refractaria	Refractaria	Piezas para revestimientos de hornos, chimeneas, etc	Prensa	Media
Refractaria muy fina y plástica	Gres	Piezas de sanitarios de calidad Baldosas Revestimientos	Molde Prensa	Muy baja
Caolín	Porcelana vitrificada	Piezas de sanitarios de calidad	Molde	Impermeables

CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS

(Fuente: Els materials ceràmics de la construcció).

Las ilitas son los minerales más abundantes dentro del grupo de las arcillas y las que tienen mayor utilización en las cerámicas de construcción. Se las llama también arcillas micáceas, por el parecido que presentan con las micas. Tienen buena capacidad de absorción y buena plasticidad.

Los constituyentes de los materiales cerámicos son el esqueleto –es decir, el material base–, los desgrasantes –disminuyen la plasticidad del material–, los fundentes –bajan el punto de fusión–, los colorantes y las cubiertas o superficies de acabado, que pueden ser barnices, esmaltes y engobes.

Como todo material de construcción, los materiales cerámicos sufren alteraciones causados por una variedad extensa de factores.

Los propios componentes de la fábrica, los métodos y deficiencias en la fabricación y las alteraciones provocadas por factores físicos, químicos o biológicos originan patologías en las construcciones, que muchas veces pueden ser prevenidas.

Los estudios de diagnosis desarrollan la investigación que descubre, aísla y analiza las patologías y propone pautas de tratamiento.

Los tratamientos sobre los materiales cerámicos son variados y dependen de las patologías que deben tratar. La elaboración de tratamientos para los materiales cerámicos no fue muy importante históricamente. Pero este hecho está cambiando en la actualidad, cuando se comienzan a realizar investigaciones pertinentes para revertir las alteraciones y para prevenirlas.

CAUSAS DE ALTERACIÓN

Cuando se trata de los materiales cerámicos de construcción nos enfrentamos a diversas causas posibles de alteración. El estudio y conocimiento de esos factores de alteración y destrucción de las fábricas cerámicas es indispensable.

Tener estos conocimientos al alcance permite evitar riesgos innecesarios, escoger los materiales de forma adecuada (al igual que su disposición en obra) y proyectar y organizar un trabajo de limpieza o consolidación de cerámicos.

Muchas de las patologías o alteraciones que sufren las fábricas cerámicas coinciden con los que sufren las fábricas pétreas. Sin embargo, el proceso de fabricación y el material base de los cerámicos es diferente, por lo que se pueden enumerar alteraciones específicas para este tipo de material constructivo.

En términos generales, y al igual que para la mayoría de los materiales de construcción, el principal agente agresor de los cerámicos es el agua. Otros agentes son las sales solubles y los depósitos ambientales, orgánicos e inorgánicos. Por otro lado, y en combinación o no con estos agentes, las fábricas cerámicas pueden sufrir degradaciones debidas a sus características inherentes y a defectos de su proceso de fabricación.

Cada uno de los agentes de alteración actuará diferencialmente según los diferentes contextos. Las causas de alteración se pueden agrupar en cinco instancias, según sean debidas a:

- **CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL**
- **ERRORES DE FABRICACIÓN**
- **FACTORES QUÍMICO-AMBIENTALES**
- **FACTORES FÍSICO-AMBIENTALES**
- **FACTORES BIOLÓGICOS**

ALTERACIONES DEBIDAS A CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL

Las arcillas que se utilizan para producir piezas cerámicas pueden ser obtenidas en un único yacimiento, o bien pueden ser mezclas de arcillas de distintos lugares. En cualquiera de los dos casos es conveniente someter la materia prima a un tratamiento previo.

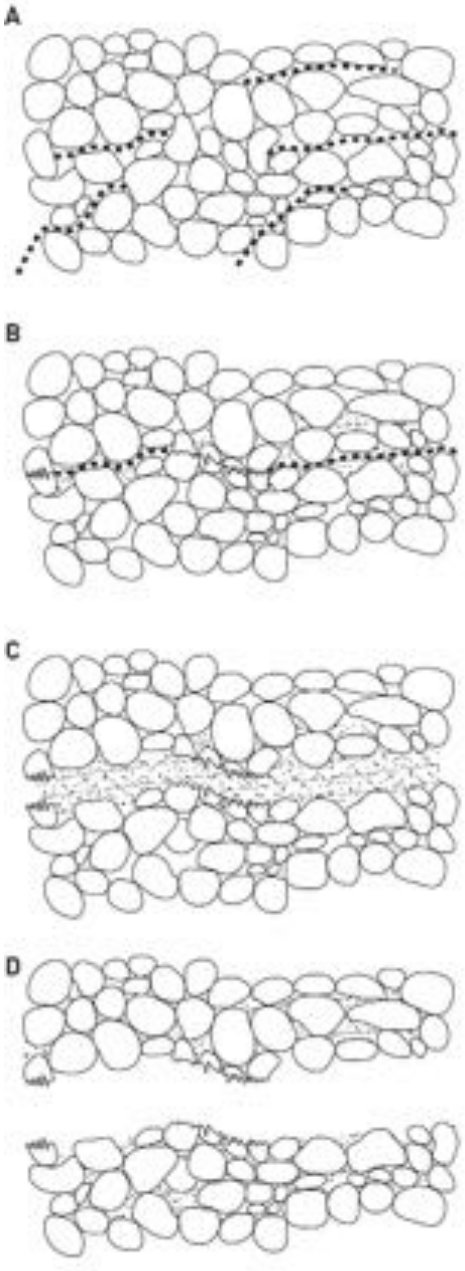
Ese tratamiento sirve para eliminar aquellas sustancias nocivas o impurezas que pudiera tener, o para neutralizarlas de modo tal que no produzcan daños a las piezas cerámicas. Estas impurezas pueden tratarse de ***SUSTANCIAS ORGÁNICAS***, de ***sALES SOLUBLES*** o de ***TERRONES Y NÓDULOS***. La arcilla también puede presentar una ***DISPERSIÓN DESIGUAL DE HUMEDADES***.

Todas estas características del material sin trabajar pueden producir, después de la fabricación de la pieza y de la puesta en obra, lesiones o alteraciones con diverso grado de gravedad.

Comúnmente las arcillas contienen sales solubles en baja cantidad, alrededor del 1 %. Las sales son, en general, cloruros y sulfatos alcalinos. Durante el período de secado, estas sales pueden cristalizarse en la superficie, provocando ***EFLORESCENCIAS*** o ***SUBFLORESCENCIAS***, que si se humedecen provocan la degradación del material debido a las fuerzas internas producidas por la cristalización.

Si la arcilla no recibe sales de alguna fuente externa, las contenidas en la arcilla en pequeñas cantidades no son suficientes para causar daños a la pieza cerámica.

El proceso de cocción, por las temperaturas a las que se somete al material, ayuda a eliminar algunas de las sales contenidas en el mismo. Por ejemplo, los cloruros se descomponen completamente a los 750 ºC.



Proceso de deterioro producido por las sales solubles.

Los sulfatos suelen aparecer en forma de $CaSO_4$, pero debido a su poca solubilidad tienen poca importancia. El $MgSO_4$, el $NaSO_4$ y el $KaSO_4$ son más peligrosos, pero se descomponen durante la cocción a temperaturas elevadas, y atmósferas reductoras.

Los carbonatos aparecen a menudo en las arcillas en forma de CaCO. Sin embargo, las arcillas con presencia de carbonato de calcio o de magnesio no son admisibles para la fabricación de materiales cerámicos.

Esto se debe a que los nódulos de carbonato de calcio –que se conocen como ***caliche***– se descomponen durante la cocción. De este modo, permanecen en forma de una cal, el óxido de calcio.

Cuando el óxido de calcio absorbe agua proveniente de la humedad ambiental o del agua de lluvia, se transforma en hidróxido de calcio. El hidróxido de calcio a su vez reacciona con el dióxido de carbono presente en la atmósfera, volviendo a formar carbonato de calcio.

El proceso descrito se conoce como el ***CICLO DE LA CAL*** y provoca un aumento de volumen que puede llegar a agrietar la pieza. Si debido a falta de molienda estos nódulos tienen una medida de 2 a 3 milímetros pueden ser perjudiciales para la pieza cerámica.

Pero si estos carbonatos se encuentran en medidas pequeñas y distribuidos en la masa, pueden considerarse menos dañinos, dado que se combinan con los silicatos durante la cocción. Los óxidos pueden absorber anhídrido sulfuroso, según el combustible que se utilice en la cocción, y formar sulfatos que provoquen eflorescencias.

Es posible también encontrar titanio dentro de las arcillas. Este componente influye en el color de la pieza. Asimismo, el vanadio forma depósitos de sales, verdes o rojos, que aparecen después del secado y también puede aparecer como componente de la materia arcillosa.

Se puede encontrar también ***MATERIA ORGÁNICA***, que después de la cocción provoca depósitos carbonosos, que aumentan la porosidad de la pieza.

Un modo simple de conseguir la eliminación de las impurezas de la arcilla es dejándola en reposo durante un año en condiciones de exterioridad. Así se logra que las impurezas orgánicas se pudran, que la humedad sea homogénea en la masa, que se diluyan las sales solubles y que los terrones y los nódulos se disgreguen. Los cambios de temperatura, el aumento de volumen debido a la humedad que se congela en invierno, y la reducción por el secado en verano, provoca la disgregación del material compactado.

En los procesos industriales de fabricación, las arcillas se pasan por diversos molinos que las ***TRITURAN*** hasta lograr una medida adecuada para formar la pasta, sin la presencia de nódulos de carbonatos o de otras piedras.

ALTERACIONES DEBIDAS A ERRORES DE FABRICACIÓN

En la fabricación de cualquier tipo de pieza cerámica se deben tener muy en cuenta los procedimientos utilizados, ya que de ello dependerá la aparición de fallos en las piezas que afectan su calidad y resistencia en obra.

Los métodos de fabricación de piezas cerámicas son básicamente dos: el manual o artesanal y el industrial. En el modo de fabricación manual las técnicas que se utilizan son las tradicionales. Esas técnicas centenarias están basadas en la experiencia empírica.





Manchas de eflorescencias en muros de obra de fábrica. El origen y composición de las sales eflorescibles contenidas en los ladrillos son muy variados.

SUSTANCIAS PORTADAS POR EL MATERIAL	ALTERACION
Sales solubles	Eflorescencias y subeflorescencias
Sustancias orgánicas	Depósitos carbonosos
Nódulos o terrones	Heterogeneidad de humedades

ALTERACIONES DEBIDAS A CARACTERÍSTICAS INTERNAS DEL MATERIAL CERÁMICO

Esto hace que, dependiendo del lugar donde se realizan, las técnicas presenten variaciones en su metodología y en el tipo de herramientas que requieren. La experiencia del artesano, entonces, es un factor determinante en la calidad de las piezas acabadas.

Es de extrema importancia el seguimiento de la fase de cocción: el control del fuego, el tiempo aplicado a la cocción y las condiciones en las cuales se produce el enfriado. El cuidado de la cocción es fundamental porque es en este momento cuando las piezas se ven expuestas a las condiciones más extremas y cualquier defecto en las fases previas puede afectarlas directamente.

Los errores o deficiencias que se producen durante la fabricación, que pueden devenir en alteraciones posteriores de las piezas, se agrupan del siguiente modo:

- **ETAPA DE MOLDEO**
- **ETAPA DE SECADO**
- **ETAPA DE COCCIÓN**

Durante la etapa de ***MOLDEO y PREPARACIÓN*** de la pasta, las heterogeneidades en el amasado y los errores en los procesos de dotación de forma pueden generar deformaciones posteriores y llegar incluso a producir grietas y fisuras. El ***SECADO*** es una parte importante del proceso, ya que el agua contenida en el material –al evaporarse durante el calentamiento en el horno– puede producir defectos o fisuras en la superficie. La ***COCCIÓN*** es la etapa en la cual las piezas están sometidas a las condiciones más críticas y en la cual todos los errores que se puedan haber cometido afloran, pudiendo dañar la pieza o afectar el acabado.

ETAPA DE FABRICACION	ALTERACIONES
Deficiencias en la etapa de moldeo de la pieza	Deformaciones Grietas y fisuras Exfoliaciones y laminados Caliche
Deficiencias en la etapa de secado de la pieza	Fisuras de superficie Deformaciones Grietas
Deficiencias en la etapa de cocción de la pieza	Disminución de la resistencia mecánica Microfisuras Deformaciones Corazón negro Diferencias de calidad de piezas

ALTERACIONES DEBIDAS A ERRORES DE FABRICACIÓN

DEFICIENCIAS DURANTE LA ETAPA DE MOLDEO

MOLDEO: es el proceso mediante el cual se le da a la arcilla la forma buscada. El control de todo el proceso de fabricación que comienza en la preparación de la pasta, sigue con la adecuada molienda de las arcillas y encontrando el grado de humedad adecuado y su correcto secado, es también muy importante durante el moldeo. Este proceso requiere que la arcilla se encuentre en estado plástico.

SISTEMA INDUSTRIAL: el más utilizado para dar forma a la masa de arcilla es mediante una máquina de extrusión. La pasta debe ser pasada por esta máquina, cuyo origen se remonta a la “pastera” (o bomba de vacío). De este modo, al pasar por la boquilla la pasta va tomando forma, específicamente de un prisma continuo. Ese prisma es luego cortado del largo deseado, y se constituyen las piezas.

Sin embargo, no todas las piezas pueden ser realizadas de este modo. Las formas curvadas, los relieves o los acabados más perfectos precisan de otro modo de moldear las piezas. Ese segundo procedimiento industrial se realiza a través de prensas. Para la utilización de prensas se requiere una arcilla de grano más fino y con poca cantidad de agua en la masa. Así, se reduce el tiempo de secado, las contracciones son menores y se logra mayor control en el acabado final.

SISTEMA MANUAL: de moldeo se realiza colocando la pasta en moldes de madera ubicados en el suelo. Los moldes tienen lados desmontables para quitar las piezas. El resultado de la producción, comparado con el método industrial de fabricación de cerámicas, es más irregular en forma, cantidad y calidad. Las consecuencias de un mal amasado durante el moldeo manual puede ser que durante el proceso de secado y cocción surjan fisuras que debiliten el material.

La deficiencia en la preparación y moldeo de la pasta puede convertirse en ***DEFORMACIÓN*** de las piezas, generalmente alabeadas. Si los procesos de amasado y moldeado son manuales o artesanales, la probabilidad de que estos defectos aparezcan se ve muy incrementada. Un amasado de la pasta que no sea lo suficiente homogéneo puede generar ***GRIETAS y FISURAS*** en el momento de la contracción que sufre la pieza por el aumento de la temperatura en el horno. Un moldeado inadecuado es la causa de que pueden aparecer también ***EXFOLIACIONES y LAMINADOS***. Estas alteraciones aparecen por la orientación de los planos superficiales como una estructura laminar hojosa. El resultado suele producir el ***DECAPADO*** de las piezas. Por último, si la molienda de la pasta es defectuosa, se puede producir el fenómeno de la ***CALICHE***.

DEFORMACIONES: las deformaciones más habituales que sufren las piezas cerámicas suelen ser los alabeos, las curvaturas u otros defectos de moldeo. Estas deformaciones pueden ser producto del desequilibrio de la boquilla de la máquina de extrusión o de desajustes del carro cortador. Otra deformación posible se genera al producirse la extrusión. La masa es impulsada por una hélice que presiona para que ésta salga por la boquilla. Según cuan lejos o cerca esté la masa de la hélice, recibe mayor o menor presión. Esto incide en la homogeneidad de la masa y afecta sobre todo a las piezas macizas, que una vez cocidas sufren deformaciones. Las piezas así creadas no soportan bien las heladas, y se quiebran de forma irregular. También se pueden deformar las piezas por presentar un bajo contenido de arena.

- ***EXFOLIACIONES y LAMINACIONES***: son defectos producidos por el uso de arcillas con excesiva plasticidad. La generación de estas alteraciones se da durante la extrusión, es decir en el paso del material por la boquilla. Allí, los materiales laminares se van orientando para generar láminas sin trabar (o estructuras hojosas). También se pueden producir laminaciones cuando la prensa no compacta completamente la pasta. Estas anisotropías planares reaccionan ante la entrada de agua, generando exfoliaciones o laminaciones.

- ***FISURAS***: si la pasta de arcilla no ha quedado lo suficientemente homogénea para el moldeo, se pueden producir fisuras, tanto durante el secado como durante la cocción.

- ***CALICHE***: se produce cuando la cal viva (CaO) que está contenida en la pasta arcillosa aumenta de volumen. Ese aumento tiene lugar en la hidratación ($Ca(OH)_2$). Si la molienda es deficiente, y la cal se presenta en tamaños superiores a los 0,5 mm, la caliche puede dañar a la pieza resultante.

DEFICIENCIAS DURANTE LA ETAPA DE SECADO

El proceso de secado es muy importante en la fabricación de las piezas cerámicas. Es en esta etapa cuando el agua se elimina a través del sistema poroso. Como el secado se produce en la superficie de la pieza existe el peligro de que un secado mal controlado derive en alteraciones. El proceso se da cuando la velocidad de evaporación en la superficie es tan elevada que el agua procedente del interior no llega en cantidad suficiente. Si esto sucede, se produce una contracción de la superficie, que se encontrará sometida a esfuerzos de tracción si el núcleo no experimenta contracciones similares. Esta tracción puede provocar la formación de ***FISURAS y GRIETAS***.

El secado se ve alterado si se presenta aire dentro de la pasta húmeda. El aire obstruye la conexión de la red de capilares y aísla dentro de la masa a las bolsas de agua que se encuentran lejos de la superficie. Si la cantidad de agua es excesiva, el sistema poroso puede no ser suficiente, si a esto se le agrega el aumento de volumen que se produce durante el proceso de evaporación, puede dar como resultado microtensiones internas que lleven al deterioro de la pieza. Por último, si para favorecer el secado se calienta la pieza, el aire que se encuentra en el interior se dilata más que la pasta. Esto puede provocar la ruptura posterior.

- ***FISURACIONES***: las fisuraciones que se producen en una pieza pueden ser consecuencia de un secado muy rápido. Esto genera una diferencia de humedad entre el interior y el exterior de la masa de arcilla. La diferencia de humedad se produce también durante la cocción, cuando el secado de la pieza fue deficiente. Estas tensiones internas que se producen debidas a la diferencia de humedad pueden ser causantes de fisuraciones. Los procesos de quiebre se acentúan si las piezas tienen poco espesor.

- ***DEFORMACIONES***: debido a su posición en el secadero y a cómo reciban el chorro de aire caliente, las piezas pueden tener un secado que no sea uniforme. Así, se pueden producir deformaciones, generalmente alabeos. Si la masa es muy plástica puede llegar incluso a la fisuración. Para evitarlo, en la actualidad la industria cerámica produce condiciones de distribución de aire caliente a través de cámaras o túneles por donde se hacen circular a las piezas. La circulación se da en sentido contrario al del aire caliente que tira el horno. De esta manera se logra un secado más gradual, desde dentro hacia fuera. Las piezas se ponen en contacto primero con aire caliente y húmedo y luego se las va enfrentando con aire caliente y seco.

DEFICIENCIAS DURANTE LA ETAPA DE COCCIÓN

La cocción es un momento crítico en la fabricación de las piezas cerámicas. Es en esta fase cuando la pieza se encuentra sometida a las condiciones más extremas. La cocción es también el momento en el cual el material sufre más cambios, tanto físicos como químicos. Los cambios que se producen son: cambios de fase, reacciones en estado sólido, soluciones sólidas, oxidaciones, reducciones, sinterizaciones, y vitrificaciones. Aquí la pieza pasa de ser arcilla a ser cerámica. Como resultado, cambian también sus propiedades físicas.

El material obtenido es de mayor dureza, inalterable ante la acción del agua, de gran durabilidad, y de porosidad variable según su proceso de manufactura.

Las arcillas sometidas a temperaturas de hasta 200 ºC pierden toda el agua que contienen. De este modo, se producen en el material procesos de endurecimiento y de contracción. Pero estos fenómenos son –hasta esta temperatura– reversibles. La arcilla puede recuperar su humedad, y con esto sus propiedades originales, incluida la plasticidad.

Cuando la temperatura supera los 200 ºC las alteraciones que se producen en la arcilla son irreversibles. Entre los 450 ºC y los 650 ºC la arcilla pierde tanto el agua absorbida, como el agua de constitución.

Esto genera que la contracción del material continúe y se convierta en un silicato alumínico anhídrido. En el caso del caoli, el producto anhídrido obtenido se llama metacaoli ($AL_2O_{3\cdot 2}SiO_2$).

Al llegar a los 850 ºC se inicia la descomposición del silicato alumínico anhídrido, que también en el caso del metacaoli puede tomar la siguiente forma, $3(Al_2O_{2}.2SiO_2) = 3Al_2O_2.2SiO_2 + 4SiO_2$, donde se observa la presencia de mulita ($3Al_2O_2.SiO_2$). Esta nueva sustancia tiene la propiedad de ser muy dura y de tener un coeficiente de dilatación muy bajo.

Estas son las razones por las que se induce su formación en la cerámica, haciendo que la temperatura de cocción llegue a los 900 ºC o 950 ºC.Las arcillas, al llegar a los 1.700 ºC, se funden.

Entre los 200 ºC y los 800 ºC las contracciones producidas en las arcillas no son de mayor consideración. Pero las arcillas sometidas a una temperatura mayor a los 800º C sufren contracciones que aumentan proporcionalmente aumenta la temperatura, y que a los 1.200 ºC puede alcanzar valores alrededor del 20 %.

Durante la cocción la cerámica adquiere su ***POROSIDAD***. La porosidad depende de la evaporación del agua que comienza en el período de secado y finaliza durante la cocción. Dado que la porosidad es la relación entre los espacios vacíos y el volumen total, expresado en porcentaje, la porosidad es máxima cuando la pieza pierde toda el agua, y disminuye a medida que la cocción avanza, y se va produciendo la contracción de la pieza. A temperaturas más altas de cocción, la contracción de la pieza será mayor y menor la porosidad.

Generalmente las arcillas contienen sales solubles en bajas cantidades, alrededor del 1 %. Estas sales se cristalizan durante el secado en la superficie, y si la cocción no las descompone pueden formar ***EFLORESCENCIAS*** o ***SUBEFLORESCENCIAS***.

Estas eflorescencias o subeflorescencias, al humedecerse la pieza, generan la degradación de la misma por los esfuerzos internos producidos al aumentar su volumen. Pero este fenómeno no suele producirse si no existe una fuente de aportación de sales, ya que las contenidas en la arcilla no suelen producir daños permanentes.

La norma que define la eflorescenciabilidad (norma NBE-FL 90) la define como la capacidad de producir en la superficie manchas generadas por la expulsión de sales solubles. Asimismo, establece que los ladrillos vistos no deben producir eflorescencias. El período de cocción elimina bastantes peligros asociados con la cristalización de sales. Por ejemplo, los cloruros se descomponen por completo a los 750 ºC. El $MgSO_4$, el Na_2SO_4 y el K_2SO_4 son muy perjudiciales para la cerámica, pero todos se descomponen a altas temperaturas y en atmósferas reductoras.

Los carbonatos aparecen en las arcillas generalmente en forma de CaCO. Las arcillas que presentan estos carbonatos no pueden ser utilizadas para la fabricación de piezas cerámicas. Los carbonatos calcios o magnesios a temperatura de cocción se transforman en óxidos. Cuando la pieza se humedece se transforman en hidróxidos que aumentan de volumen produciendo daños en las piezas.

IMPUREZAS ORGÁNICAS: forman depósitos carbonosos luego de la cocción, aumentan la porosidad de la pieza, por eso no es aconsejable que existan.

Durante la cocción –y debido a toda la gama de transformaciones que se producen– se deben tener en cuenta todos los cuidados necesarios.

Si estas precauciones no son consideradas, se generan diversos tipos de problemas. Las alteraciones más comunes son: ***DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA, MICROFISURACIONES, DEFORMACIONES*** y el proceso conocido como ***CORAZÓN NEGRO***.

Estas patologías generadas por defectos durante el momento de cocción pueden ser resultado de las variaciones de la temperatura o de las condiciones reductoras del horno.

DISMINUCIONES DE LA RESISTENCIA MECÁNICA: para que la cocción del ladrillo suponga una protección efectiva contra los agentes externos debe alcanzar la temperatura de ***VITRIFICACIÓN*** o ***SINTERIZACIÓN***.

Si esta temperatura no es alcanzada –o no es mantenida el suficiente tiempo– no se llegan a formar las fases vítreas adecuadas. Esta malformación impide la obtención de la resistencia mecánica prevista. Al no alcanzar las fases vítreas deseadas, se facilita además la penetración de agua. Esto da lugar a las alteraciones ligadas a la incorporación de humedad en las piezas cerámicas. La disminución de la resistencia mecánica por defectos de la cocción puede llevar a la ***DISGREGACIÓN*** del material cerámico.

- ***MICROFISURACIONES***: las altas temperaturas a las que se expone la arcilla durante su cocción provocan que sus distintos componentes reaccionen de modos diversos. El cuarzo, cuando alcanza los 573 ºC, cambia su fase de cuarzo de baja temperatura a cuarzo de alta temperatura. Este cambio va acompañado de un aumento de volumen. Bajo determinadas condiciones, una arcilla con alto contenido de cuarzo que sufre un paso brusco por esa temperatura, se microfisura. Las microfisuraciones se producen alrededor de los granos de cuarzo, debilitando la resistencia de la pieza.

- ***DEFORMACIONES***: si las arcillas utilizadas son arcillas muy plásticas, las altas temperaturas durante el proceso de cocción pueden generar que las piezas se deformen, o incluso que lleguen a fisurarse.

- ***CORAZÓN NEGRO***: se denomina corazón negro al efecto producido por las condiciones reductoras que se dan en el interior del ladrillo. Cuando el oxígeno no puede penetrar en la pieza cerámica, se retiene en la superficie del mismo. El interior del ladrillo queda, de este modo, de color negro.

Por último, la cocción es también la etapa en la cual se define la calidad de la pieza, de un correcto horneado dependerá la buena calidad de la misma. El tiempo de horneado es importante, ya que si las piezas cerámicas son retiradas del horno antes o después de tiempo producirá distintos tipos de problemas. Si el tiempo de cocción es inferior al necesario el resultado es una pieza con menor resistencia mecánica, y que es más sensible al ***DESGASTE*** y a la ***ABRASIÓN***. Si el tiempo de cocción es mayor que el necesario habrá ***ALTERACIONES DE COLOR, VITRIFICACIONES*** e incluso ***DEFORMACIONES***. La importancia del tiempo de cocción se refleja en los diferentes nombres que reciben los ladrillos:

- **ADOBE**. Es arcilla sin cocer, moldeada y secada al sol. Requiere muy pocos medios para su realización pero tiene muy mala resistencia ante el efecto del agua.

- **PARDOS**. Estos ladrillos tienen muy poca cocción. Debido a eso presentan un color pardo, su resistencia mecánica es muy baja y su propensión al desgaste muy alta.

- **PINTOS**. Muy parecidos a los anteriores, su coloración es heterogénea. Esto se debe a que su cocción fue irregular.

- **PORTEROS**. Son piezas que se cocieron en la parte exterior del horno.

- **RECOCHOS**. Estos ladrillos han tenido una cocción correcta.

- **ESCAFILADOS**. Han tenido un exceso de cocción. Pueden presentar un comienzo de vitrificación, alabeos o algún otro tipo de deformación.

- **SANTOS**. Por su exceso de cocción estos ladrillos han sufrido vitrificación, oscurecimiento de la pieza y deformación resultante.



Ladrillos antiguos de masa heterogénea y calidad variable.

ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES QUÍMICO-AMBIENTALES

Las reacciones químicas que provocan alteraciones en los materiales cerámicos de construcción encuentran su origen en dos problemas fundamentales: la contaminación atmosférica y la presencia de sales solubles.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Durante la segunda mitad del siglo XX, un proceso en gran medida universal se vio notablemente agudizado.

Este proceso se trata de las migraciones de las áreas rurales hacia las áreas urbanas. Se origina y acentúa de este modo un aumento muy importante de las necesidades de movilidad y de consumo energético.

Por lo tanto, el consumo de combustibles fósiles incrementa la cantidad de óxidos del carbono, de azufre y de nitrógeno en el aire.

La presencia de aerosoles que modifican la composición porcentual de lo que se puede denominar “aire puro” y el desarrollo indiscriminado de la actividad industrial aumentan la mayoría de los contaminantes presentes en el aire.

Por otro lado, los depósitos de materias en forma de partículas actúan formando costras y ennegreciendo las piezas constructivas. Se favorece así la oxidación del dióxido de azufre a sulfato y el posterior ataque químico de éste sobre las construcciones.

La acción de los contaminantes se puede relacionar con la deposición de gases ácidos y de material en forma de partículas, sobre la superficie de las cerámicas.

Se pueden considerar como algunos de los contaminantes atmosféricos más importantes a los compuestos de azufre y de nitrógeno, a los óxidos de carbono, a los cloruros y fluoruros, a los compuestos orgánicos volátiles y a las partículas sólidas.

Los gases anteriormente mencionados ascienden hasta las capas más altas de la atmósfera y allí reaccionan liberando compuestos de peso específico más alto que el del aire. Luego descienden disueltos en el agua de lluvia, como ácidos que se depositan en las plantas y en las construcciones.

Los efectos de la contaminación atmosférica, si bien son relativamente nuevos en lo que a la vida de las fábricas cerámicas se refiere, pueden ser muy perjudiciales para éstas.

La contaminación atmosférica y la lluvia ácida pueden provocar deterioros serios, ya que pueden disolver la cal o el carbonato cálcico de los morteros.

Los daños producidos van desde los cambios del orden estético a aquellos más perjudiciales para su composición intrínseca. Las deposiciones de suciedades pueden causar aumentos de volumen.

En la fábrica de ladrillos el deterioro producido por contaminación atmosférica comienza por la superficie.

Favorecida por la textura rugosa del ladrillo, las partículas contaminantes del ambiente quedan adheridas a la fábrica y de allí pasan al interior del cerámico. El agente puede ser tanto húmedo como seco.

La adhesión de la contaminación se produce por la acción de distintos tipos de fuerzas gravitatorias, con sedimentación en las rugosidades del paramento y la embocadura de los poros abiertos.

Los mecanismos de adhesión que generan el ensuciamiento (que se manifiesta mediante costras negras) son el gravitatorio y el de tensión superficial ligado al fenómeno de la adsorción, cuando existe alto contenido de humedad en el aire y en paramento.

Sea el mecanismo de deposición que sea, las partículas de suciedad que toman contacto con la superficie de la fachada –y que no rebotan tras el choque– permaneces adheridas a ella, formando la costra de suciedad y ennegreciendo las fachadas.

En los ladrillos, los óxidos contaminantes, como NO_x, el SO_2 o el CO_2 atacan a los silicatos alcalinos y alcalinotérreos, que son parte del aglomerante de la cerámica. En la atmósfera existe dióxido de azufre, que mediante un proceso de disolución y oxidación catalítica se transforma en ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico es uno de los agentes más agresivos, ya que disuelto en agua lixivia los metales alcalinos y alcalinotérreos. Este desgaste genera en el material ***CANALES*** y ***GRIETAS***, quedando expuestos los granos de cuarzo y el resto del material.

Otra reacción que genera desgaste es la formación de compuestos salinos que se cristalizan (la cristalización de sales se detalla en el apartado que sigue). Esta se produce al combinarse derivados del ácido sulfúrico, como los aniones de sulfato, con elementos alcalinos o alcalinotérreos.

COSTRAS Y DEPÓSITOS: son acumulaciones de partículas sólidas de contaminación. Estas partículas sólidas están, generalmente, generadas por los diversos procesos de combustión, como ser calefacciones, motores de vehículos, fuentes generadoras de energía (las centrales térmicas) o procesos industriales de todo tipo.

Esta forma de alteración puede evolucionar a través del tiempo, espesándose y hasta desprendiéndose del sustrato. El contaminante que actúa como principal agente de alteración es el dióxido de azufre.

Este compuesto es emitido por los escapes de los automóviles. El dióxido de azufre puede reaccionar, en presencia de humedad, con el carbonato cálcico presente en los ladrillos. Se forman así depósitos de yeso en la superficie.

Otro tipo de acumulación que provoca alteraciones sobre las fábricas cerámicas son los depósitos de calcita. Las denominadas ***COSTRAS NEGRAS*** son el resultado de la acumulación de las partículas en suspensión de los humos y adquieren ese color característico.

Por último, la acumulación de metales y los compuestos de hierro lixiviados puede producir precipitados en tonos rojizos.

FACTOR	ALTERACIÓN
Contaminación atmosférica	Costras y depósitos Enmugrecimiento
Ciclos de cristalización/hidratación de sales solubles	Eflorescencias subeflorescencias criptoeflorescencias Costras Exudaciones
ALTERACIONES DEBIDAS A LOS FACTORES QUÍMICO-AMBIENTALES	

ACCIÓN DE LA CRISTALIZACIÓN/HIDRATACIÓN DE SALES SOLUBLES

Las sales solubles se han mencionado en la mayoría de los apartados sobre las patologías de los cerámicos. Esto se debe a que los ciclos de cristalización e hidratación de las sales solubles conforman el proceso más importante en lo que refiere a alteraciones de las fábricas cerámicas.

En las superficies de las fábricas cerámicas se suelen encontrar sulfatos de sodio, potasio, magnesio, calcio y hierro, así como carbonatos de calcio y carbonatos de socio y cloruros de sodio. La identificación de las sales que se encuentran en la superficie de las fábricas no se corresponde necesariamente con las que se pueden encontrar al interior de las mismas. La razón se esconde en las diferentes tasas de solubilidad de las sales. Estos niveles diferenciales de solubilidad hacen que algunas migren más fácilmente que otras. Las de solubilidad mayor son los sulfatos de sodio, potasio y magnesio. Menor solubilidad presentan los sulfatos de calcio.

Las sales solubles pueden tener diversas procedencias. Las sales solubles en la fábrica pueden provenir de la arcilla que la conforma o del mortero. También pueden provenir del exterior, de humedades ascendentes o de la contaminación ambiental. Se puede puntualizar el origen de las sales solubles de la siguiente manera:

- **EN UN AMBIENTE CONTAMINADO**, una atmósfera ácida puede atacar a las cerámicas, produciendo reacciones de cristalización de sales.

- **LA FÁBRICA CERÁMICA PUEDE CONTENER SALES SOLUBLES**. Esa composición está en relación directa con las arcillas que la conforman, con el agua utilizada en el amasado y con los combustibles que se emplean durante la cocción (especialmente el carbón).

- **LOS MATERIALES UTILIZADOS EN RESTAURACIONES ANTERIORES** y en la confección de morteros pueden ser portadores de contenido en sales solubles, especialmente importante es el cemento de Pórtland. Los morteros son, en la mayoría de los casos, la fuente principal de sales solubles para los materiales cerámicos.

- **EL AGUA PUEDE ARRASTRAR SALES SOLUBLES** cuando asciende por capilaridad desde el suelo. Estas sales proceden de los abonos, de los ácidos húmicos, de los tratamientos contra plagas, de las salmueras antihielo, de la orina o de los excrementos.

Independientemente de su origen, las sales solubles que están disueltas en la humedad del sistema poroso de los materiales cerámicos sufren el proceso de cristalización cuando se produce la evaporación del agua, o el enfriamiento del líquido en el que están disueltas. En general, la evaporación se suele producir desde la superficie hacia el interior de la pieza.

Si la temperatura es baja, la evaporación tiene lugar en la superficie y los depósitos cristalizados toman la forma de ***EFLORESCENCIAS*** y ***COSTRAS***, según la naturaleza de las sales. Si la temperatura es más alta, la evaporación es más rápida y comienza por debajo de la superficie. Las sales se depositan en el interior en forma de ***SUBEFLORESCENCIAS***.

Estas subeflorescencias, al principio, se encuentran hidratadas. Pero en determinadas condiciones de temperatura y humedad se pueden transformar en anhídridos que, al encontrase con un nuevo incremento de la humedad ambiental, incorporan moléculas de agua al circuito, con la consecuente expansión volumétrica y presión sobre las paredes de los poros. Las sales solubles en agua, al cristalizarse, generan tensiones internas en el material tanto en la superficie como en el interior, que puede terminar en la desintegración del ladrillo.

EFLORESCENCIAS: la aparición de este tipo de alteración provoca que el ladrillo o fábrica de cerámica deje de tener propiedades de durabilidad y resistencia a los agentes atmosféricos. Las eflorescencias se manifiestan como ***MANCHAS SUPERFICIALES***, en general blancas, sobre las fábricas cerámicas. En principio parecen tener sólo efectos estéticos.

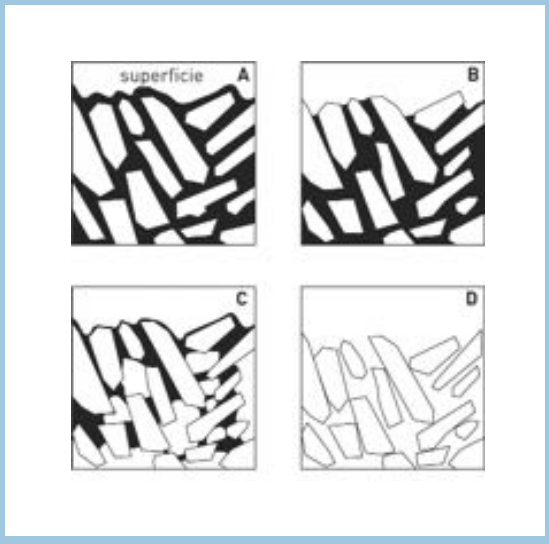
Pero si las eflorescencias son destructivas pueden ocasionar pérdida de aristas y descomposición de superficies. Estas patologías se agravan con otros factores como la heladicidad y la expansión por humedad (se verán estos fenómenos en el apartado de alteraciones físico-ambientales).

La cristalización de sales, tanto en la superficie como en el interior de la fábrica, genera esta alteración, como resultado de la exposición a agentes atmosféricos. La principal causa del surgimiento de las eflorescencias es el transporte de una solución salina en el interior de la fábrica y la posterior acumulación de sales sobre la superficie por evaporación rápida del agua. Esto resulta en la precipitación de sales disueltas cuando se sobrepasa una concentración de saturación.

Por lo tanto, los ladrillos que presentan una estructura porosa más abierta son los que sufrirán los efectos de las eflorescencias con más agresividad y asiduidad.

La composición de las eflorescencias puede ser muy diversa. Las sales que contienen son de naturaleza diversa pueden encontrar su origen en una multiplicidad de fuentes. Las condiciones ambientales que promueven la aparición de eflorescencias son que la fábrica se encuentre a temperatura relativamente baja y que esté sometida al viento y al sol para que se produzca una rápida evaporación de agua.

Como estas condiciones se suelen dar en primavera, las eflorescencias aparecen generalmente en esa estación. Dentro de las eflorescencias, se pueden distinguir a las ***EFLORESCENCIAS BLANCAS*** y a las ***AMARILLENTAS***.



Proceso de disolución de un material cerámico por efecto de aguas ácidas.



Eflorescencia blanca de origen sulfático.



Erosión física de un ladrillo de baja calidad por haber sido cocido de forma incorrecta.

EFLORESCENCIAS BLANCAS: son producto de sales que se encuentran predominantemente formando parte de la materia prima. En general son sulfatos solubles o insolubles y sulfuros insolubles. Si la materia prima contiene carbonato cálcico y magnesio, puede generar eflorescencias de sulfato de magnesio. Este tipo de eflorescencia provoca un desmoronamiento superficial que avanza progresivamente hacia el interior de la fábrica. El sulfato de magnesio se caracteriza por ser muy soluble en agua y por expandirse notablemente cuando cristaliza. Por eso se presenta cristaliza en forma de eflorescencia antes que otros sulfatos presentes en la fábrica.

Cuando el sulfato de magnesio cristaliza pasa de su peso molecular de 120 a formas de heptahidrato (cuyo peso molecular es 246). Se experimenta así un aumento de volumen de hasta un 225 %. Por otro lado, durante la evaporación la cristalización se produce cerca de la superficie de las piezas.

Por lo tanto, se generan roturas y desmoronamientos con relativa facilidad. Para evitar este tipo de eflorescencias se suele aumentar la temperatura y el tiempo de cocción de las fábricas. Además se adicionan productos químicos a la masa y se tratan los ladrillos cocidos a base de siliconas.

EFLORESCENCIAS AMARILLENTAS: son las que presentan un aspecto de manchas con tonos verdosos y amarillentos. En general están muy adheridas a las fábricas. Esto hace que no se las pueda eliminar mediante cepillado. Estas eflorescencias están originadas por sales de vanadio, o por la existencia de hierro, molibdeno, cobre, cromo, níquel y manganeso. Las sales de vanadio son muy móviles, y se desplazan a través de los poros. Sin embargo, cristalizan en el exterior, por lo que colorean sólo el paramento descubierto y no el grueso del enlucido. La mancha no suele atacar a la pintura. Sin embargo, cuando se emplean pinturas de bajo poder cubriente se suele transparentar a través de ella.

CRIPTOEFLORESCENCIAS Y SUBEFLORESCENCIAS: Cuando la cristalización de sales se da en el interior de los materiales cerámicos, se forman estos dos tipos de alteraciones. Al producirse en el seno de las fábricas, la presencia queda oculta al ojo humano. Las subeflorescencias y las criptoeflorescencias son más peligrosas que las eflorescencias superficiales.

Esto se debe a que confinan las sales al espacio de los poros, capilares y microfisuras de la pieza cerámica. Se incrementa así el efecto perjudicial debido a la presión por aumento de volumen de los cristales y a la presión por hidratación. La dilatación térmica diferencial también afecta la resistencia interna de la pieza.

EXUDACIONES*:* Un detalle que a tener en cuenta es que las eflorescencias son diferentes a las manchas de mortero. Aunque su apariencia es similar, las manchas de mortero se deben a una eliminación deficiente del sobrante de este material en el momento de la ejecución de la fábrica. Es el caso de las exudaciones. Las exudaciones encuentran su origen en el lixiviado de la cal del mortero en el momento de su hidratación, para precipitar posteriormente en forma de carbonato cálcico.

ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES FÍSICO-AMBIENTALES

Existen diversos factores de agresión físico-ambiental. Las agresiones sobre las fábricas cerámicas pueden provenir de la ***HUMEDAD POR CAPILARIDAD***, del ***AGUA DE LLUVIA***, de las ***HELADAS*** y de los procesos de ***EXPANSIÓN POR HUMEDAD***.

Estos agentes mencionados pueden actuar de manera independiente, aunque en general lo hacen de forma combinada, lo que incrementa aún más su poder destructivo. Dentro de los cambios con causas físicas ambientales, también se incluyen aquellas alteraciones producidas por los ***EFECTOS DEL TERRENO*** y ***LA CIMENTACIÓN*** y ***LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA***.

HUMEDAD POR CAPILARIDAD

La capilaridad es el efecto que se produce cuando el material se encuentra en contacto con el suelo húmedo. La absorción capilar de la humedad del suelo que se produce está relacionada directamente con el tamaño de los poros del material. La gran porosidad de los ladrillos hace que éstos sean muy propensos a absorber agua por capilaridad.

El fenómeno de capilaridad se acentúa en el mortero, que por ser más poroso permite con mayor facilidad que se humedezcan las juntas. Es de las juntas de donde los ladrillos absorben el agua. Esta vía de acceso del agua a través de las juntas se da aunque el zócalo de la pared sea de piedra. Por más que la piedra tenga menos porosidad que el ladrillo, éste se humedece de igual modo a través de las juntas.

La humedad del muro por capilaridad hace que las sales aparezcan en la superficie, especialmente en la franja donde se alterna su condición de humedecido y secado. Este proceso se acentúa en los muros con zócalos de piedra, ya que el agua tiende a llegar hasta la parte cerámica del muro, y es retenida allí por las sales higroscópicas.

AGUA DE LLUVIA

El agua de lluvia no es tan dañina para la fábrica de ladrillos como lo es la ascensión de agua por capilaridad. Pese a ello hay que darle la importancia que le corresponde. Los materiales expuestos al agua de lluvia se ven afectados por la presión que ejerce el agua al caer sobre el material y por la acción del viento que aumenta esta presión. La absorción del agua depende también del tipo de superficie: cuanto más porosa sea, mayores posibilidades hay de que el agua penetre.

LAVADO DE LAS FACHADAS: por formación de escorrentías no es muy frecuente en condiciones normales, ya que la textura rugosa del ladrillo evita que el agua corra a gran velocidad. Este fenómeno puede producirse en caso de precipitaciones fuertes y continuas. La lluvia capaz de escurrir por la fachada, lo hace en forma de lámina fina o de película.

Durante su trayectoria descendente, el agua de ve succionada continuamente por las fábricas y por la capa de suciedad de las mismas. Las condiciones para la absorción y formación de escorrentía y los lapsos en que se producen estos fenómenos, se pueden obtener experimentalmente y mediante el factor de absorción.

El agua deslizante causa una ligera erosión físico-química sobre el material. Esto favorece después el establecimiento de caminos preferentes de paso. En las fábricas de ladrillo, las escorrentías se suelen repartir regularmente por las discontinuidades entre juntas y piezas. Esto resulta en un lavado homogéneo.

El riesgo de alteración del agua de lluvia se da cuando se combina con el viento. Los golpes de agua y viento sobre los materiales de construcción en general provocan la ***EROSIÓN*** del mismo. La acción conjunta del agua y del viento se expresa con el factor de exposición. En general, la lluvia golpea la parte superior de la fachada, y los bordes laterales si es exenta. En la zona inferior de las fachadas, las trayectotes del agua son casi paralelas. Por esto resulta muy difícil el lavado de los paños verticales por la acción del agua batiente. La erosión de los materiales cerámicos existe pero no es de gran importancia comparado con la acción de otros factores de alteración, como la humedad capilar y las sales solubles cristalizadas. Sin embargo, el agua escurrida tiene una acción de erosión y desgaste concreto, además de ser un medio de transporte para las partículas de suciedad.

El lavado por agua de lluvia tiene una relación con el ensuciamiento de fachada muy cercana, debido a estas particularidades de arrastre parcial o total de las partículas de suciedad depositadas. El lavado puede ser sucio o limpio, dependiendo de las condiciones de la superficie afectada y del agua escurrida que lo produce. La escorrentía se separa en flujo, según las trayectorias preferentes. Se contribuye así que, si el lavado es sucio, de generen marcas denominadas ***ESCORREDURAS***. Por último, la escorrentía provoca la redistribución de la suciedad, porque deposita nuevamente partículas que había arrastrado sobre las trayectorias preferentes.

HELADAS

Para que las heladas sean un problema para el material cerámico se deben dar determinadas condiciones. Para empezar es necesario que los sistemas porosos estén saturados de agua. Esta saturación hace que al expandirse el agua, cuando llega al punto de congelación, genere tensiones internas que afectan al material cerámico.

La resistencia a las heladas depende en gran medida del tamaño de los poros. Una gran cantidad de poros finos hace que el material sea más propenso a ser afectado por las heladas. Si se tiene en cuenta que las piezas cerámicas cocidas a bajas temperaturas presentan gran cantidad de poros finos, estos serán los que más sufran bajo el efecto de las heladas.

Otro factor de importancia en lo que respecta al daño que se producen por las heladas es la posición de la fábrica cerámica con respecto a otras construcciones que le sirven de cobijo. La cara más afectada es la cara norte. La acción de las heladas puede producir ***DESCONCHADO*** y ***DESINTEGRACIÓN*** en la superficie de los materiales.

EXPANSIÓN POR HUMEDAD

Cuando se sacan los ladrillos del horno, éstos absorben la humedad del ambiente. La absorción de la humedad ambiente que provoca un aumento del volumen de las piezas. La capacidad de absorber agua depende de la temperatura a la cual se haya cocido el ladrillo y del tipo de composición que presente. Esta expansión que en su mayor parte se da en los primeros días puede continuar hasta mucho tiempo después.

La temperatura de cocción es determinante en este fenómeno, dado que a menor temperatura de cocción la transformación de filosilicatos o minerales de la arcilla es menor. Esto aumenta las posibilidades de absorción de humedad y con ello las variaciones de volumen. Los cambios de volumen provocan movimientos en las fábricas de ladrillos que, si no son tomados en cuenta, pueden causar daños tales como ***FISURAS*** o ***DEFORMACIONES***.

EFECTOS DEL TERRENO Y DE LA CIMENTACIÓN

En general, las lesiones debidas a los asientos o a las acomodaciones del suelo no se presentan en la construcción nueva o casi nueva, como consecuencia de la entrada en carga de la edificación. Pueden aparecer en cualquier momento de su vida útil, y las razones pueden ser varias. La consolidación natural del suelo es una de las razones del asiento. Se puede dar por tráfico intenso o por la presencia de riegos frecuentes. Los cambios de las propiedades físicas y mecánicas del suelo se pueden producir también por averías en las redes de abastecimiento en de saneamiento. La rotura de las arquetas de las redes también puede originar que el suelo varíe sus características.

La construcción de un nuevo edificio en un área próxima o en la medianera de la construcción de fábrica de cerámica, la demolición de un edificio pueden producir daños en los muros y medianeras de las construcciones circundantes (especialmente si un edificio con pocas plantas para a tener una cantidad de plantas con mayor altura, o viceversa).Las fábricas pueden presentar lesiones debidas a asientos diferenciales. Los asientos diferenciales son los descensos de un punto de la cimentación respecto al conjunto de ella. Esto impone a la fábrica las deformaciones y formas de roturas subsiguientes.

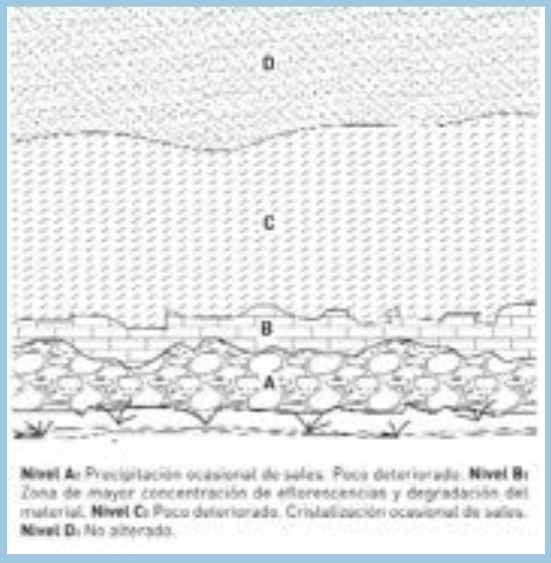
Los deslizamientos del terreno, en situaciones de laderas con estratos de corta potencia y de permeabilidades diferenciadas, son provocados por el agua de lluvia y de otras instalaciones que presenten fugas o escorrentías. Así, los estratos superiores pueden arrastrar a parte de la cimentación y deformar las fábricas, tanto las portantes como las no portantes. Estas deformaciones se manifiestan mediante grietas y fisuras. En general, las fisuras se muestran inclinadas, respondiendo a una solicitación de tracción.

La presencia de árboles en las proximidades de la construcción puede producir lesiones de distinto tipo. La retirada del agua de las arcillas (cuando se trata de suelos arcillosos) en épocas estivales se ve incrementada por la presencia de plantas y de árboles que tienen sus raíces próximas a la cimentación de la construcción. Este proceso genera lesiones de asientos localizadas en las edificaciones. Los cambios en el plano de apoyo de la cimentación ocasionan fisuras inclinadas.





Manchas, deterioro y pérdida del material cerámico debido a la humedad retenida en el interior de las piezas. En algunos casos se produce un equilibrio entre la ganancia y la pérdida de humedad lo cual sólo retrasa al deterioro final del material cerámico.



Alzado de un muro con humedad capilar y eflorescencias.

ACCIÓN DE LA TEMPERATURA

Las oscilaciones térmicas contribuyen a la degradación de las piezas, especialmente las húmedas. Esto se debe a que las bajas temperaturas producen la congelación del agua. La solidificación del agua provoca el aumento del volumen de la misma. Las variaciones de temperatura continuas provocan que el estado del agua pase de sólido a líquido alternativamente. Esto se traduce en ciclos de hielo/deshielo que pueden llegar a producir la fisuración de las fábricas cerámicas. La situación es muy peligrosa si las piezas estuvieran ya en el punto de saturación.

Los materiales cerámicos más susceptibles a los cambios de temperatura son aquellos que fueron cocidos a bajas temperaturas o que presentan un sistema poroso irregular.

Otro proceso generado por los ciclos térmicos es el de las dilataciones. Las dilataciones pueden generar desperfectos en las fábricas, siempre que no se hayan tenido en cuenta las modificaciones de las dimensiones que sufren los ladrillos cuando se los pone en obra. Este proceso se puede revertir actuando sobre las juntas de dilatación.

FACTOR	ALTERACIÓN
Humedad por capilaridad	Eflorescencias Subeflorescencias
Agua de lluvias	Lavado de fachadas Erosión Escorrentías
Heladas	Desconchado y desintegración
Expansión por humedad	Deformaciones Fisuras
Efectos del terreno y de la cimentación	Deformaciones Fisuras inclinadas Grietas
Cambios de temperatura	Fisuración

ALTERACIONES DEBIDAS A LOS FACTORES FÍSICO-AMBIENTALES

ALTERACIONES DEBIDAS A FACTORES BIOLÓGICOS

Dadas ciertas condiciones ambientales, muchos materiales de construcción se ven afectados por la colonización biológica y por el cambio subsiguiente en su apariencia.

Aunque muchos de estos organismos no pueden verse naturalmente, sus efectos son bastante visibles y las degradaciones que pueden llegar a producir son grandes. Los tipos de organismos que colonizan los materiales de construcción son:

- **BACTERIAS**
- **ALGAS**
- **HONGOS**
- **LÍQUENES**
- **MUSGOS**
- **PLANTAS SUPERIORES**

BACTERIAS (o microorganismos): pueden existir aisladas o en colonias. Están presentes en todos lados y originalmente provienen de la tierra o del agua. No son visibles como crecimientos superficiales pero son capaces de causar la ***DECOLORACIÓN*** de las fachadas y el ***DETERIORO*** de los minerales y metales.

Las bacterias están implicadas en la corrosión del hierro y del acero. También atacan los depósitos calcáreos de la cal y de la arena. Existen bacterias capaces de afectar a los morteros, el concreto y otros productos del cemento.

ALGAS: se presentan como polvos o fragmentos de colores diversos. Ven favorecido su crecimiento y la adherencia al soporte por la presencia de humedad. Pueden formar ***PÁTINAS***, del tipo fangoso, debido a su naturaleza pulverulenta. Esta pátina favorece, por otro lado, el anidamiento y desarrollo de ciertos organismos parasitarias. El daño fundamental que producen es estético. Pueden producir ***MANCHAS*** verdes, rojas, marrones y negras.

HONGOS: se pueden presentar de muchas maneras. Fundamentalmente causan la ***CORROSIÓN SUPERFICIAL*** de los materiales de construcción, debido a la secreción de sustancias químicas. La alteración y degradación se manifiesta por ***MANCHAS*** y ***EROSIONES***. También provocan la creación de desniveles superficiales, que favorecen aún más su desarrollo.

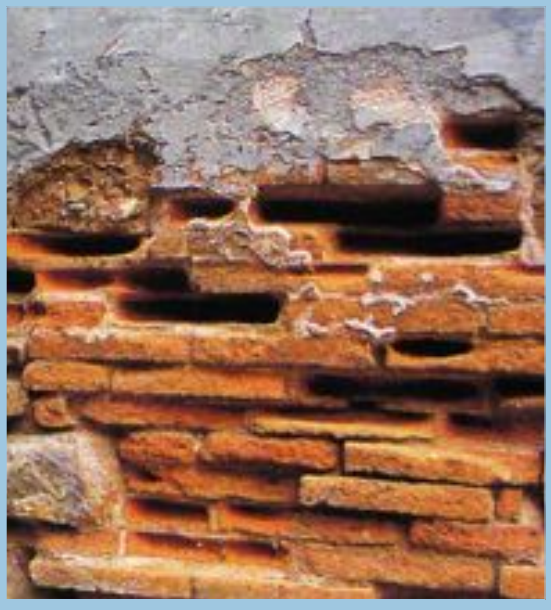
LÍQUENES:, se presentan como polvos y fragmentos orgánicos y originan costras de alta resistencia a la humedad y a la temperatura. Las alteraciones que producen son de ***NATURALEZA QUÍMICA*** y ***MECÁNICA***, debidas a la producción de ácidos orgánicos.

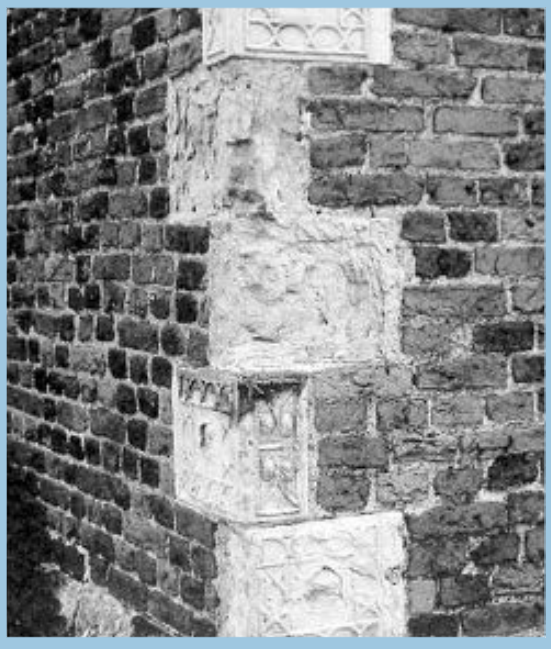
Además, tienen procesos de expansión con la humedad y de contracción con el secado. Estas pautas favorecen la degradación de la resistencia mecánica de las fábricas cerámicas.

MUSGOS: se manifiestan como almohadillas superficiales, que pueden provocar ***ALTERACIONES MECÁNICAS***, si existe penetración de las raíces.

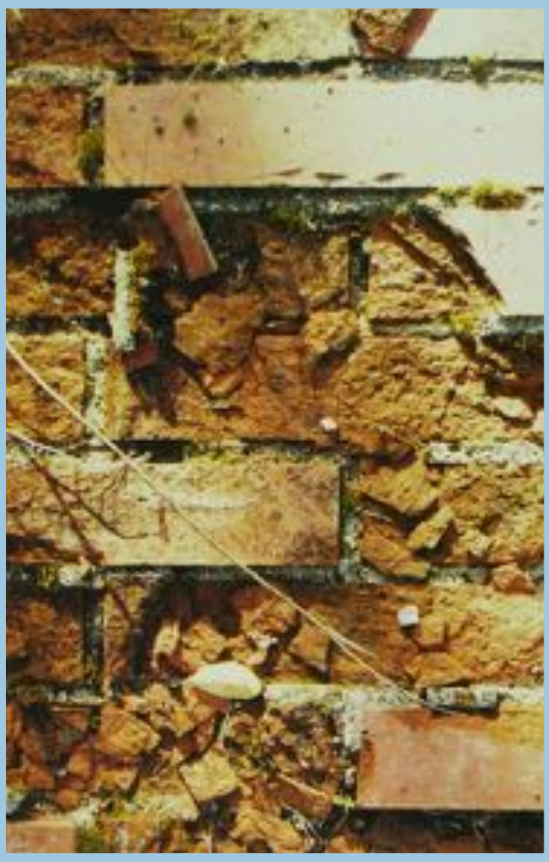
PLANTAS SUPERIORES: pueden provocar serios daños en las construcciones cuando sus raíces penetran en los muros, produciendo ***GRIETAS, FISURAS*** y ***DESMORONAMIENTOS***.





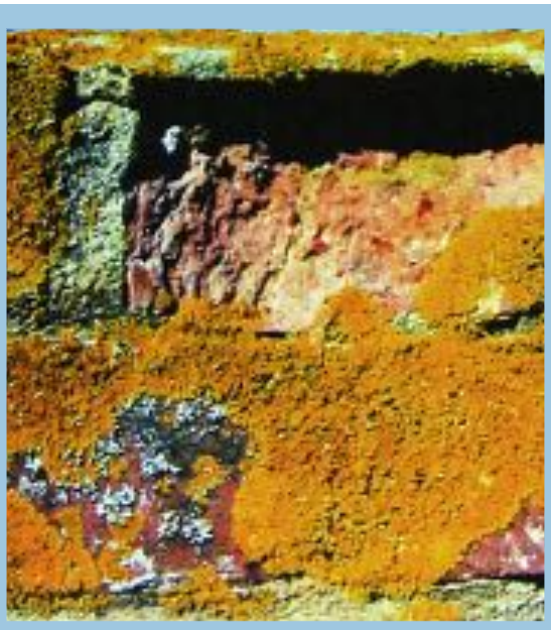


En muchas obras de fábrica antiguas, los morteros son más compactos, menos porosos, más duros y, por lo tanto, menos erosionables que las piezas cerámicas.





Efecto devastador del ciclo hielo-deshielo en muros de ladrillos.



Pérdida de material por la aparición de líquenes que retienen humedad y descascaran el ladrillo.



Un aglomerante pobre o utilizado incorrectamente produce la pérdida del mismo y deja las piezas cerámicas mucho más vulnerables a los factores atmosféricos de degradación.

FACTOR	ALTERACIÓN
Bacterias	Decoloración Deterioro
Algas	Pátinas Manchas
Hongos	Erosión (corrosión superficial) Manchas
Líquenes	Costras Disminución de la resistencia mecánica
Musgos	Disminución de la resistencia mecánica
Plantas superiores	Grietas y fisuras Desmoronamientos

ALTERACIONES DEBIDAS A LOS FACTORES BIOLÓGICOS

DIAGNOSIS

Los estudios de las construcciones cerámicas y de sus patologías implican la realización de una serie de investigaciones. Estos estudios tratan de discernir y clarificar cuáles son los procesos que pueden estar influyendo en el origen y desarrollo de las alteraciones.

Asimismo, las investigaciones de ***DIAGNOSIS*** del estado de las fábricas cerámicas proporcionan informes que posibilitan la puesta en práctica de los tratamientos e intervenciones posteriores a la identificación de daños. Los tratamientos e intervenciones que se apliquen a las construcciones con fábricas cerámicas dependen completamente de la realización correcta de la diagnosis de daños y de causas de alteraciones.

Los estudios de diagnosis de lesiones proporcionan una imagen del problema que hay que afrontar. Las investigaciones de diagnóstico se basan en observaciones, análisis y ensayos diversos, y todos ellos contribuyen a caracterizar de manera clara y precisa el tipo de ambiente en el que se encuentra la fábrica cerámica, el tipo de material utilizado en la construcción, su comportamiento frente a diferentes agentes exógenos (como el agua, los contaminantes, el clima) y los productos que la alteración ha generado.

El acercamiento o toma de contacto con las fábricas cerámicas se da de manera gradual. El investigador debe reunir una serie de informaciones y datos acerca del ***AMBIENTE*** donde se encuentra la construcción, de los ***ANTECEDENTES HISTÓRICOS*** del edificio, de las características de su ***CONSECUCIÓN EN OBRA***, y por último, acerca de los ***MATERIALES CERÁMICOS*** en sí mismos.

Los estudios de diagnosis se pueden realizar in situ (en el lugar de la construcción) y en el laboratorio, dependiendo de los objetivos de investigación. En general, se utilizan ensayos normalizados para llevar adelante las pesquisas. Dentro de los ensayos y de las pruebas que se suelen utilizar para la diagnosis, no se debe menospreciar la ayuda de la inspección visual.

ANÁLISIS DEL ENTORNO

El análisis del entorno de la construcción es fundamental para entender muchos de los procesos de alteración que pueden estar afectando a los edificios de cerámicos. Las patologías que afectan a las construcciones de fábricas cerámicas encuentran, en muchos casos, su origen en el medioambiente circundante.

Esta es la razón por la que se hace fundamental el relevamiento de los datos atmosféricos y climáticos, junto con los de construcción. Dentro de lo que se conoce como ***ANÁLISIS DEL ENTORNO***, se suele incluir:

- **ESTUDIOS DEL MEDIOAMBIENTE** (climatología y contaminación ambiental)
- **ESTUDIOS DEL EMPLAZAMIENTO**

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES

Los estudios medioambientales tienen en cuenta tres factores fundamentales, a saber: la ***CLIMATOLOGÍA***, la ***CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*** y los ***FACTORES SOCIALES***.

CLIMATOLOGÍA: se deben estudiar los diversos ciclos meteorológicos, las oscilaciones térmicas y el grado de insolación que sufre la construcción bajo estudio. Se deben medir también los niveles de pluviosidad y estudiar la influencia de los vientos.

Si el edificio estuviera ubicado en zonas con niveles variables de movimientos sísmicos, se debe realizar inevitablemente una investigación sobre este tema, estimando los niveles del coeficiente de sismicidad.

Los datos climatológicos son en general de fácil obtención. De no contarse con equipos para la medición, siempre se pueden requerir estos datos en las oficinas o centros meteorológicos.

Las Conserjerías de Medio Ambiente son centros de información climatológica muy importantes en el proceso de recopilación de datos del entorno de la construcción.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: es, al igual que los factores climáticos, una de las fuentes más importantes de generación de daños en las fábricas cerámicas.

El grado de contaminación atmosférica es uno de los datos fundamentales, entonces, a reseñar en la diagnosis del entorno. La contaminación encuentra su origen, principalmente, en la emisión de gases. Los gases son producto del quemado de combustibles fósiles, por lo tanto la contaminación se agudiza notablemente en las áreas urbanas e industriales.

La contaminación ambiental es la causa de la formación de ***DEPÓSITOS SUPERFICIALES*** y ***COSTRAS*** sobre los materiales cerámicos. Asimismo, provocan reacciones químicas como resultado de la presencia de dióxido de azufre en los gases de combustión.

Las partículas en suspensión deben ser estudiadas, ya que pueden ser transportadas por el viento y depositadas en las construcciones cerámicas. De este modo, influyen sobre el edificio provocando diversos tipos de daños. Entonces, se deben poder determinar cuáles son los contaminantes que contiene el ambiente en la zona, su origen, cómo llegan hasta la edificación (su medio de transporte) y el nivel de exposición que tiene la construcción a los mismos.

Es fundamental también investigar diversos tipos de contaminantes, como son los pesticidas y los abonos, que no provienen de la quema de combustibles fósiles. Esta clase de contaminantes puede tener acceso a las construcciones mediante el proceso de ascensión capilar de agua contaminada que se halle recorriendo el terreno.

FACTORES SOCIOLÓGICOS, CULTURALES y ***POLÍTICOS:*** –inherentes al medio ambiente que rodea a las edificaciones– son uno más de los constituyentes del entorno que debe ser estudiado. A estos factores, por depender básicamente de la acción humana, se los conoce también como factores ***ANTRÓPICOS***. La distribución y el diseño del espacio urbano influyen en el entorno y lo modifican. Los actos de vandalismo constituyen uno de los aportes más dañinos del hombre a las construcciones. Pero la ausencia del cuidado humano sobre las construcciones puede provocar daños aún mayores incluso que los producidos por su presencia. Por todas estas razones, los factores antrópicos, que parecen secundarios a la hora de establecer un diagnóstico de la construcción mediante el estudio del entorno, no deben pasarse por alto.

ESTUDIOS DEL EMPLAZAMIENTO

DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO: donde se encuentra la construcción es también muy importante. Conocer la influencia que la ubicación del edificio tiene sobre su estado de conservación implica tener en cuenta la localización de la construcción (si está dentro o fuera del casco urbano) y los factores urbanísticos que lo rodean (vías de comunicación y espacios circundantes). Los edificios cercanos –su anchura y altura– y las zonas verdes lindantes también influyen en la conservación o daño de las fábricas cerámicas. Estas construcciones pueden servir de protección atmosférica-meteorológica y las áreas verdes constituyen filtros naturales de los contaminantes atmosféricos. El tráfico motorizado debe ser incluido en este tipo de análisis. Se deben relevar las características que presente, los tipos de vehículos que circulen mayoritariamente por la zona (tránsito pesado o liviano y frecuencia), si existen acumulaciones y retenciones y, especialmente, las vibraciones que el tránsito puede producir. Es bien sabido que si estas vibraciones coinciden en frecuencia con las vibraciones del material, se pueden producir quiebres y fracturas de importancia.

ESTUDIO DE LA CONSTRUCCIÓN

Una vez que se ha efectuado una evaluación completa de las características del entorno que rodean a la construcción bajo análisis, se procede al análisis del edificio en cuestión. Dentro de este proceso, se pueden diferenciar algunas etapas:

- **DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO**
- **ESTUDIO DE LA CIMENTACIÓN**
- **ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**
- **ESTUDIO DE LAS ESCORRENTÍAS Y DRENAJES**

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO: se busca conocer la disposición exacta de todos los elementos que pueda incluir. Para esto se deben disponer de los planos de todo el edificio bajo estudio. Los croquis de detalles son muy útiles para accionar sobre aspectos en concreto. La disposición de estos planos y croquis posibilita una correcta confección de mediciones y presupuestos de tratamiento.

ESTUDIO DE LA CIMENTACIÓN: incluye la investigación acerca del tipo de cimentación y del estado de la misma. También se deben incluir los datos acerca de los materiales con que se ha realizado. Se debe analizar el terreno mediante catas o sondeos.

Gracias a estos análisis se pueden conocer las características geológicas del asentamiento, y también de estancias enterradas que puedan ser desconocidas hasta el momento. Los niveles freáticos y sus ciclos se estudian durante esta etapa de investigación. Los niveles freáticos afectan en forma directa a las humedades que ascienden desde el suelo.

ASPECTOS	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Características del ambiente	Estudios medioambientales Estudios del emplazamiento
Antecedentes históricos de la construcción	Localización
	Factores urbanísticos circundantes
Características de la consecución en obra	Descripción de la construcción
	Investigación sobre la cimentación
	Investigación sobre las características constructivas
	Investigación sobre escorrentías y drenajes
Características de los materiales utilizados	Realización de la petrografía/ estudios sobre textura/ estudios sobre composición mineralógica
	Estudios sobre las propiedades físicas
	Estudios sobre las propiedades hídricas
	Estudios sobre las propiedades mecánicas
	Estudios sobre las propiedades térmicas
	Estudios sobre las propiedades de durabilidad

PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE LAS LESIONES EN PIEZAS CERÁMICAS

Se debe incluir en los estudios de cimentación una evaluación de la influencia de cimentaciones ejecutadas en los alrededores y adosadas al edificio. Las excavaciones, las sobrecargas diferenciales, los movimientos de tierras, las galerías y los túneles cercanos, son factores que pueden afectar cualquier proyecto de intervención o de tratamiento que se proponga llevar a cabo. Por lo tanto, el relevamiento de estos datos es parte fundamental de la diagnosis.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS: deben incluir las siguientes:

a. Tipología estructural, estado general, materiales utilizados, unión entre partes y distribución de cargas.

b. Elementos secundarios (instalaciones, herrerías o carpinterías, zonas de unión de diferentes tipos de materiales).

c. Cubiertas, estado de conservación, filtraciones, capacidad de desagüe.

d. Elementos inconclusos

e. Construcciones adosadas (se deben relevar especialmente la aparición de tensiones perjudiciales por empujes o asientos).

ESCORRENTÍAS Y DRENAJES: su estudio se realiza esencialmente para detectar los pasos de agua a través del edificio. Como para la mayoría de los materiales de construcción, el agua constituye su principal enemigo y es el agente que provoca los mayores daños. De este modo, se deben evaluar en la diagnosis los elementos de evacuación de agua, las gárgolas y los canalones. Simultáneamente al estudio de los sistemas de desagüe, se deben investigar las posibles escorrentías libres, causadas por grietas y fisuras.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

En la investigación de las causas de alteración que afectan al estado de los materiales de construcción y en la evaluación de la intensidad o grado de deterioro de los mismos, un paso ineludible y fundamental es conocer los materiales que forman parte de la edificación. La caracterización de los materiales de la construcción incluye la descripción macroscópica (visual) de los mismos, la determinación de su origen y su caracterización física, química y mineralógica.

Los métodos e instrumental necesarios para llevar adelante la caracterización son múltiples y variados, y se verán en este apartado.

Para poder realizar un reconocimiento de los materiales cerámicos que componen una construcción, se debe poder conocer sus propiedades específicas, sus componentes y su forma de preparación. Las propiedades que definen a los materiales cerámicos también pueden influir en su deterioro. Para poder dilucidar las propiedades y características de las cerámicas se debe someter a los materiales en estudio a pruebas o ensayos. Los métodos y procedimientos de los análisis y ensayos se encuentran bien normalizados.

ESTUDIOS DEL ENTORNO	OBJETIVO
Del medioambiente	Climatología
	Contaminación ambiental
Del emplazamiento	Factores sociales
	Estudios de tráfico
	Áreas verdes

OBJETIVOS DEL ANÁLISIS DEL ENTORNO DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

Las regulaciones y recomendaciones que se utilizan para llevar a cabo los análisis son las dictadas por UNE (normas españolas), RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais de Matériaux), ASTM (norteamericanas), NORMAL (del Centro Nationale della Ricerca-Istituto Centrale per il Restauro)e ISRM (International Society for Rock Mechanics).

Para poder caracterizar de forma completa a un material cerámico, los análisis y ensayos deben cubrir las siguientes áreas de investigación:

- **PETROGRAFÍA, ESTUDIOS DE TEXTURA Y DE LOS MINERALES CONSTITUTIVOS.**
- **PROPIEDADES FÍSICAS**
- **PROPIEDADES HÍDRICAS**
- **PROPIEDADES MECÁNICAS**
- **PROPIEDADES TÉRMICAS**
- **PROPIEDADES DE DURABILIDAD**

ESTUDIOS DE COMPOSICIÓN: PETROGRAFÍA, TEXTURA Y MINERALOGÍA

Conocer la ***COMPOSICIÓN*** de un material cerámico implica develar su petrología, mineralogía y composición química. Este análisis proporciona información acerca de la homogeneidad en el mezclado de la pasta, de la ***VITRIFICACIÓN*** (la cantidad de vidrio que existe en la masa), de la temperatura de cocción, de la existencia de desgrasantes añadidos y del grado de selección de la materia prima. Se debe evaluar, en el caso de la vitrificación, su grado de extensión.

En cuanto a la homogeneidad en el mezclado de la pasta, se puede dar o no debido a la existencia de zonas enriquecidas o empobrecidas de la presencia de ciertos minerales. Para evaluar la temperatura de cocción se miran los bordes de reacción entre la matriz de la pasta y los granos minerales, que indican temperaturas de cocción elevadas. También indican la presencia o ausencia de ciertas fases minerales.

El análisis de la morfología y del tamaño de los granos habla de la presencia o ausencia de desgrasantes que se hubieren añadido a la pasta al momento de su preparación.

En un nivel microscópico, se puede constatar la existencia o la ausencia de una orientación mineralógica o textural. Esta información habla acerca del método de moldeo. Cuando se observan orientaciones muy puntuales que corresponden a la huella de los dedos, el método de moldeo es, evidentemente, manual. Cuando se observa una orientación clara en toda la pieza cerámica, el método de moldeo es el de extrusión.

En relación con las fases mineralógicas, en función de la cocción, se pueden distinguir las fases minerales ***RESIDUALES*** (o ***RELICTOS***) y los compuestos ***NEOFORMADOS*** (o de ***NEOFORMACIÓN***).

Dentro de los compuestos neoformados, se puede separar a las fases de ***PROGRADO*** y las fases ***RETRÓGRADAS*** (o ***SECUNDARIAS***). A través de las fases residuales y de las de prograd se puede determinar la temperatura de cocción del material bajo análisis.

Este estudio se conoce como análisis de las paragénesis minerales o estudio de los minerales en equilibrio. Además, la temperatura de cocción se puede obtener a través de la determinación del grado de ***VITRIFICACIÓN*** (o ***SINTERIZACIÓN***). La vitrificación es la cantidad de vidrio que existe, que depende de la mineralogía de la arcilla de partida y de la temperatura a la que se efectúa la cocción.

UNE 67019:1996 EX	Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Definiciones, clasificaciones y especificaciones.
UNE 67026:1994 EX	Ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida. Determinación de la resistencia a compresión.
UNE 67026:1995 EX/1M	Ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida. Determinación de la resistencia a compresión.
UNE 67027:1984	Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua.
UNE 67028:1997 EX	Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de heladicidad.
UNE 67029:1995 EX	Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de eflorescencia.
UNE 67030:1985	Ladrillos de arcilla cocida. Medición de las dimensiones y comprobación de la forma.
UNE 67030:1986 ERRATUM	Ladrillos de arcilla cocida. Medición de las dimensiones y comprobación de la forma.
UNE 67031:1985	Ladrillos de arcilla cocida. Ensayo de succión.
UNE 67031:1986 ERRATUM	Ladrillos de arcilla cocida. Ensayo de succión.
UNE 67036:1994 EX	Productos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de expansión por humedad.

NORMAS UNE PARA CALIDAD DE CONSTRUCCIÓN. MATERIALES CERÁMICOS

Para analizar el grado de uniformidad de la cocción se realiza un estudio comparativo, sobre una misma pieza de material cerámico, de la textura y la mineralogía. Este análisis se hace en las partes externas o superficiales y en el corazón de la cerámica.

Existen ciertos compuestos en los materiales cerámicos que pueden alterarse fácilmente a partir de reacciones diversas. Estos compuestos, aún en pequeña cantidades, afectan a la durabilidad del material cerámico. Esta es la razón de la importancia de la determinación de la composición química de los materiales cerámicos bajo investigación.

ENSAYOS DE COMPOSICIÓN

Como se ha dicho, el tipo de arcilla es uno de los puntos más importantes en el desempeño de los materiales cerámicos de construcción. La información acerca de la composición de los materiales puede ser muy útil –incluso crítica– ante una posible intervención y diseño del tratamiento de patologías.

MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA: es capaz de revelar la estructura y el desempeño de los materiales, incluso acercándose a niveles casi moleculares. Los resultados pueden ayudar a medir el cambio a nivel microscópico. Los métodos de microscopía electrónica también son utilizados para monitorear el desempeño de nuevos materiales introducidos y para predecir futuros comportamientos.

RADICAL SOLUBLE	PORCENTAJE MÁXIMO DEL PESO (%)
Sulfato	0,5
Calcio	0,3
Magnesio	0,03
Potasio	0,03
Sodio	0,03

CONTENIDO DE SALES EN LAS CERÁMICAS SEGÚN LA NORMATIVA INGLESA

(Fuente: Els materials ceramics en la construcció).

Los análisis físicos y químicos permiten identificar sales y otras sustancias extrañas a la estructura de la fábrica.

Esta información puede ayudar al investigador a dar cuenta de las causas de su impregnación y de su permanencia.

Asimismo, permite estudiar sus efectos agresivos y las patologías que producen.

La microscopía electrónica, la difracción y la espectroscopía pueden rastrear formas a nivel molecular.

Esto permite a los laboratoristas interpretar o predecir fenómenos y comportamientos cruciales para prevenir daños, o para palearlos.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

La determinación de las propiedades físicas es un paso fundamental en la caracterización de los materiales cerámicos. Los estudios de determinación ayudan a establecer variaciones debidas a la acción de diversos agentes patógenos.

En un estudio de diagnosis, los factores de alteración y los daños producidos en los materiales bajo investigación se identifican también por las interrupciones o modificaciones de las propiedades físicas normales.

Dentro de las propiedades físicas que se deben determinar, se incluyen:

- ***COLOR***
- ***DENSIDAD***
- ***POROSIDAD***

SAL	ORIGEN
Sulfato cálcico ($CaSO_4 + 2H_2O$)	Ladrillo
Sulfato sódico ($Na_2SO_4 + 10H_2O$)	Reacciones ladrillo – cemento
Sulfato potásico (K_2SO_4)	Reacciones ladrillo – cemento
Carbonato cálcico ($CaCO_3$)	Mortero o enfoscado de cemento
Carbonato sódico (Na_2CO_3)	Mortero
Carbonato potásico (K_2CO_3)	Mortero
Cloruro potásico (KCl)	Lavado con ácido
Cloruro sódico ($NaCl$)	Agua de mar
Sulfato de vanadio ($VaSO_4$)	Ladrillo
Cloruro de vanadio ($VaCl_2$)	Lavado con ácido
Óxido de manganeso (Mn_3O_4)	Ladrillo
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	Contacto con hierro metálico
Hidróxido de hierro ($Fe(OH)_2$)	Contacto con hierro metálico
Hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$)	Cemento

ORIGEN PROBABLE DE LA EFLORESCENCIA SEGÚN LA SAL PREDOMINANTE

DETERMINACIÓN DEL COLOR

La apariencia estética de las fábricas cerámicas queda definida por el ***COLOR***. Por lo tanto, esta propiedad física no es un rasgo menor. La determinación del color del ladrillo se utiliza tanto para caracterizarlo como para estudiar la existencia o no de variaciones. Las variaciones en el color son indicadoras de posibles alteraciones. Si la variación del color es pronunciada, se puede estar delante de un ennegrecimiento por contaminación atmosférica, por ejemplo. Además, el estudio del color es importante de cara a una intervención o tratamiento sobre los materiales cerámicos. Muchos de los productos que se utilizan en la limpieza o conservación provocan variaciones del color, por lo que éste tiene que estar suficientemente estudiado.

En general, la determinación del color se realiza a través de la utilización de cartas de color, conocidas como ***TABLAS DE COLOR MUNSELL***. Otro método de determinación es la utilización y medición con ***ESPECTROCLORÍMETROS***.

La composición química de los materiales cerámicos es la que determina el color de los mismos. También participan en esa determinación la intensidad de la cochura y las condiciones atmosféricas en el horno de cocción. Es decir, que el color de un material cerámico depende de estos tres procesos.

Específicamente en relación con la composición química de los ladrillos cerámicos, se deben tener en cuenta varios puntos. La naturaleza de las arcillas y de la cantidad de impurezas que existan, junto con el contenido en óxidos e hidróxidos de hierro, el contenido en hierro combinado en los silicatos, la proporción de alúmina y de óxido cálcico son condiciones químicas que hacen variar el color de los ladrillos. Así, las fábricas cerámicas presentan colores que oscilan entre el blanco paja al negro violáceo.

Este rango de colores tiene la siguiente relación con la composición química: si los ladrillos están fabricados con arcillas que no contienen compuestos de hierro en grandes cantidades, los colores que resultan son de la gama de los blanco-amarillentos. Si las fábricas cuentan con cantidades importantes de compuestos de hierro, los colores serán de la gama de los rojos y violetas.

Asimismo, las arcillas que cuenten con hierro y con carbonato cálcico resultan en ladrillos de colores anaranjados. Las arcillas que muy ricas en carbonato cálcico son de tonos amarillentos. Si en la arcilla existe presencia de material orgánico, sus colores resultantes son oscuros, negruzcos.

El óxido férrico (Fe_2O_3) es el agente colorante más importante de los materiales cerámicos. El color rojo con que se suele reconocer a los ladrillos proviene de este compuesto químico. Las variaciones de colores que se observan en los ladrillos son el resultado de la presencia de otros óxidos metálicos.

Por ejemplo, el óxido de manganeso los vuelve marrón-pardo; el óxido de cromo los vira a los rosas; el óxido de cobalto junto con el de manganeso los vuelve negros; el óxido de antimonio y el óxido de titanio amarillos; el óxido de cobre verdes y el óxido de cobalto azules. Cuando se busca un color específico para los cerámicos, el procedimiento consiste en mezclar estos óxidos en polvo con arena. Esta mezcla se debe añadir antes de la cocción a la pasta y resultará en el color de superficie deseado.

Las condiciones atmosféricas del horno y la temperatura influyen también, como ha sido mencionado, en el color resultante de la fábrica cerámica. Las atmósferas oxidantes suelen proporcionar colores claros a los materiales cerámicos. Las atmósferas reductoras otorgan colores oscuros. Los ladrillos suelen tener un color rojizo en las atmósferas oxidantes a una temperatura entre 900 ºC y 1000 ºC. Encima de este rango de temperatura, el color de los ladrillos puede virar a púrpura. Al llegar a los 1200 ºC, los ladrillos se vuelven marrones o grises. Las atmósferas reductoras producen ladrillos cerámicos violáceos o azulinos. En general, estas fábricas presentan manchas negras.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

La densidad de un material se define como la masa (M) por unidad de volumen (V) y se expresa generalmente en kg/m³. Cuando se determina la densidad de las fábricas cerámicas, se puede establecer la distinción entre ***DENSIDAD APARENTE*** y ***DENSIDAD REAL***. La diferencia descansa en que la primera, la ***DENSIDAD APARENTE***, mide el volumen incluyendo su parte sólida y todos sus espacios vacíos. Se define por la masa del material seco por unidad de volumen total. La densidad aparente no permite, a priori, y de una manera categórica, determinar la calidad de un producto cerámico.

DENSIDAD REAL (o densidad verdadera): mide el volumen sin sus espacios vacíos, ya que se define como la masa de material seco por unidad de volumen de la parte sólida.

Diversos factores condicionan la variación de los valores de la densidad. Se pueden mencionar como los más importantes a la composición de la pasta, a la temperatura de cocción, al método de moldeo utilizado y a la porosidad. En términos generales, se puede afirmar que una pieza cerámica tendrá mejor calidad (si se comparan piezas similares) cuanto más alta sea su densidad aparente. Si su densidad aparente es elevada, también lo será su compacidad.

La densidad real de los ladrillos contemporáneos se encuentra en los 2.050 kg/m³. La densidad real medida en ladrillos de edificios históricos se encuentra en el rango que va de los 2.450 kg/m³ y los 2.850 kg/m³.

DENSIDAD APARENTE: los ladrillos de cerámica que se utilizan en la actualidad poseen valores que varían según los tipos de ladrillos. Por ejemplo, la densidad aparente de un ladrillo vitrificado es de 1.900 kg/m³; para ladrillos de tipo macizo es de 1.750 kg/m³ y en los ladrillos huecos la densidad aparente es del orden de los 1.200 kg/m³. Con estos valores se puede establecer la comparación con la densidad aparente de los ladrillos utilizados en la construcción de edificios históricos, que oscila entre los 1.350 y los 2.000 kg/m³.

DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD

Los ladrillos cerámicos son materiales que presentan altos niveles de porosidad. Esta elevada porosidad está en función de los constituyentes del ladrillo y de sus procesos de fabricación. Los constituyentes tienen relación directa con la porosidad porque cuanto más grande es el tamaño de las partículas de arcillas, tienden a crear poros grandes, por lo que aumenta la porosidad. Del mismo modo, cuanto mayor proporción de calcita se encuentre en la fábrica, se originarán ladrillos más porosos. Esto se debe a que se produce su disociación y la liberación de dióxido de carbono. Disminuye así la porosidad a medida que aumenta la proporción de filosilicatos.

El desgrasante utilizado influye también en los niveles de porosidad de las fábricas cerámicas, en cuanto a la granulometría. Una distribución granulométrica coherente favorece que las partículas se empaqueten. Esto proporciona una mayor compacidad al material.

La materia orgánica puede originar huecos, mientras se produce su combustión. El resultado de este proceso es una porosidad que está en función de la proporción existente de materia orgánica y del tamaño de la partícula.

Los valores de porosidad de los ladrillos cerámicos oscilan entre el 15 %y el 40 %, lo que es bastante elevado. Los valores más altos son los de ladrillos utilizados en las construcciones de edificios históricos, que se encuentran entre el 30 % y el 40 %. Esta diferencia se debe a los diversos procesos de fabricación de las fábricas cerámicas.

Es cierto que la porosidad definida como la relación entre el volumen de los poros y el volumen total, no da información completa del comportamiento de una pieza cerámica frente al agua. Esto se debe a que interviene la forma y la medida de los poros y la comunicación que se establece entre ellos y con el exterior. No obstante, de manera general, se puede considerar más durable una pieza de cerámica cuanta más baja sea su porosidad.

Esta circunstancia se da con mucha facilidad en las fábricas cerámicas de origen industrial, pero no en las de origen artesanal. Así, el tamaño y la distribución de los poros se ven condicionados por factores del proceso de fabricación. Estos factores son la temperatura a la que se cuece y el moldeo de la arcilla. En relación con el moldeo, se puede decir que el moldeo manual resulta en piezas cerámicas que presentan una porosidad mayor que las que se moldean por prensado y extrusión.

En cuanto a la influencia de la temperatura, un aumento de la misma origina una proporción de poros grandes mayor y una disminución de la presencia de poros finos. Para realizar esta distinción se establece una separación de tamaños de poros en 0,25 mm de diámetro.

Más allá del porcentaje de poros, se deben estudiar otros parámetros que son de interés para caracterizar a los materiales cerámicos. Estos parámetros son el ***MODELO DEL SISTEMA POROSO***, el ***TIPO DE POROSIDAD***, la ***FORMA DEL PORO*** y la ***DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DEL PORO***.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HÍDRICAS

Las propiedades que caracterizan el comportamiento de los materiales cerámicos frente al agua están relacionadas con los procesos de obtención, pérdida y circulación de agua por el interior de los mismos. Las relaciones existentes entre el material cerámico y el agua incluyen las que se dan con el agua en estado líquido y también gaseoso. Los parámetros hídricos se determinan mediante ensayos específicos.

Estos estudios arrojan resultados que son necesarios a la hora de establecer un diagnóstico de patologías de los materiales cerámicos de construcción. Esos resultados permiten interpretar los mecanismos de alteración que pueden estar sufriendo las fábricas cerámicas y a establecer los índices de su durabilidad y comportamiento mecánico.

El agua constituye un agente de alteración que interviene en casi todas las formas de alteración, sean químicas, físicas o biológicas. La composición de la fábrica y su respuesta al agua están íntimamente relacionadas. Si existen variaciones en la composición mineralógica y textural en un ladrillo de cerámica existirán variaciones en sus características hídricas.

Los cambios composicionales y texturales implican modificaciones en el sistema poroso.

Por lo tanto, el comportamiento hídrico será diferente y dependiente del sistema de poros en cuestión.

Las propiedades hídricas incluyen:

- ***ABSORCIÓN Y DESORCIÓN DE AGUA***
- ***SUCCIÓN CAPILAR O CAPILARIDAD***
- ***PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA***
- ***EXPANSIÓN HÍDRICA O EXPANSIÓN POR HUMEDAD***

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN Y DESORCIÓN DE AGUA

Los estudios de absorción y desorción de agua tratan de conocer la proporción de poros de la fábrica que es susceptible de saturarse de agua. Asimismo, trata de calcular la velocidad a la que se produce el fenómeno de saturación. En general, todos los cuerpos porosos absorben la mayor cantidad de agua durante los primeros momentos de contacto con ella. Las cerámicas son cuerpos porosos, por lo que se atienen a esta norma. La explicación de la absorción de agua durante los primeros minutos se encuentra en que ésta se introduce y llena, inicialmente, los poros de mayor tamaño. Esto provoca un incremento rápido de la absorción de agua.

La absorción del agua que se da por parte de una masa de arcilla cocida proporciona un parámetro de indicación de la porosidad de esa cerámica. Como se ha mencionado, la porosidad está en función de la composición de la materia prima y del grado de cocción que haya tenido. Por lo tanto, existe una relación entre los niveles de absorción/desorción de agua y la composición y el grado de cocción de la cerámica.

La temperatura de cocción también se encuentra relacionada con los niveles de absorción y desorción. En líneas generales, cuando la temperatura de cocción se eleva, se forma una proporción de fase vítrea mayor. Esto provoca que disminuya la porosidad y por lo tanto, también disminuye la absorción. Sin embargo, cada tipo de arcilla presenta una temperatura máxima de cocción para una absorción determinada.

En cuanto a la absorción, lo que constituye un punto central es que el agua no se introduzca en el material, es decir, que la absorción sea la más pequeña posible. Asimismo, que si el agua se introduce, lo haga de la manera más lenta posible. Para las fábricas de arcilla, los valores de absorción de agua se encuentran entre el 4,5 % y el 35 %. La norma ASTM fija el valor límite de absorción en el 8 %, mientras que la norma UNE no fija valores límites. Las baldosas cerámicas presentan valores de absorción del rango del 15 % al 20 %. Estos valores corresponden al moldeo mediante método manual. Si las baldosas cerámicas se moldean por métodos de prensado y extrusión, los valores de absorción se ubican entre el 10 % y el 12 %.

Es muy frecuente que los valores de absorción disminuyan con el tiempo, una vez que la pieza se encuentra colocada en el exterior. Esta disminución se debe al progresivo taponamiento de los poros ubicados en los sectores más exteriores por material diverso. Ejemplo de estos tapones son polvos, sales solubles, hollín, y otras sustancias que se depositan en las pequeñas cavidades de la fábrica de cerámica arrastradas por vientos y aguas de lluvia.

En relación con la desorción, la eliminación del agua absorbida por la fábrica debe realizarse de la manera lo más rápida posible. Por lo tanto, estos valores serán mejores cuantos más altos sean. Existen ensayos de desorción de agua que permiten determinar la capacidad que presentan los materiales cerámicos para eliminar el agua que pudieran contener. Esta eliminación se puede dar por evaporación, una vez que se han alcanzado las condiciones de saturación.

DETERMINACIÓN DE LA CAPILARIDAD (O SUCCIÓN CAPILAR)

La determinación de capilaridad o succión capilar de las fábricas es cerámicas es uno de los puntos fundamentales que se deben determinar con precisión. Esto se debe a que altos valores de capilaridad aumentan la capacidad de absorción del ladrillo del agua del mortero, antes de completar el fraguado.

Este proceso reduce la adherencia entre ambos, por lo que disminuye notablemente la resistencia del ladrillo cerámico. Así, el grado inicial de succión capilar es uno de los valores que más influyen en cuanto adherencia entre la fábrica y el mortero. Esa es la razón por la cual la determinación de este parámetro está muy especificada por distintas normativas, entre las que se pueden nombrar a las UNE, las ASTM y las RILEM.

Entre la succión capilar y la porosidad se puede verificar una relación directa. Los materiales porosos poseen la capacidad de succionar agua por encima del nivel que presenta la superficie líquida en contacto con ellos. El movimiento vertical del agua a través de un material cerámico ***(ASCENSIÓN CAPILAR)*** se fundamenta en la presión de succión.

El tamaño de los capilares se relaciona con la velocidad y la altura que puede alcanzar el agua. La capacidad para succionar agua depende de la presión, y ésta es inversamente proporcional al tamaño de los capilares. La altura alcanzada será tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de los conductos entre los poros y dependerá del rango de distribución del tamaño de los poros. La causa de este proceso es que cuanto más finos son los poros, mayor es la presión capilar y más lenta la absorción de agua, aunque mayor la altura que alcance.

De este modo, las fábricas con mayor proporción de microporos serán las que exhibirán mayores alturas o coeficientes de penetración capilar. Los ladrillos cerámicos de baja porosidad presentan capilaridad más baja. A su vez, los ladrillos con porosidades altas, muestras altos niveles de capilaridad.

Además, la capilaridad depende del volumen de poros que se encuentren comunicados entre sí y de la distribución de radios de acceso. Es decir que para un mismo valor de porosidad, la cantidad de agua que se absorbe por succión capilar es mayor en las fábricas que presentan un porcentaje mayor de poros finos.

Los valores que se utilizan para situar la succión capilar en ladrillos de construcciones históricas están entre 0,05 g/cm^{2}xmin y 0,35 g/cm^{2}xmin. Los valores de altura alcanzada por el agua absorbida se sitúan entre los 15 mm y los 25 mm, durante el primer minuto. Si un ladrillo presentara valores de capilaridad superior a los 0,10 g/cm^{2}xmin, la norma UNE hace la recomendación de humedecerlo antes de su colocación.

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA Y AL VAPOR DE AGUA

Las tejas son el objeto principal de los ensayos de permeabilidad al agua líquida. Esto se debe a su utilización como protectores de la humedad, lo que constituye una de sus propiedades más requeridas. Los ensayos están normalizados por las normas UNE.

La permeabilidad al vapor de agua hace referencia a la capacidad del vapor de agua a fluir por en el interior de los materiales de construcción. El proceso es importante ya que un gran porcentaje del agua de la atmósfera que se introduce en el interior de los materiales cerámicos lo hace en forma de vapor.

Por lo tanto, la permeabilidad al vapor de agua es un parámetro de interés para evaluar la capacidad de absorción de agua y la alterabilidad de las fábricas cerámicas. La permeabilidad al vapor de agua mide la cantidad de vapor de agua que puede fluir por un material cerámico cuando se establece un gradiente de presión entre dos superficies paralelas del mismo.

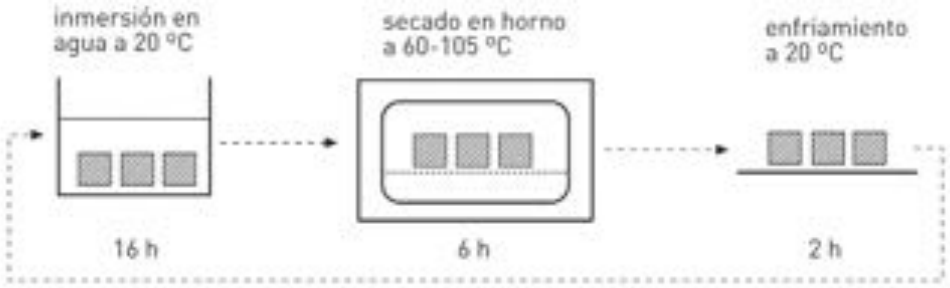
Esta propiedad se expresa numéricamente por la cantidad de vapor de agua que fluye, por unidad de tiempo y de superficie. La permeabilidad es una propiedad estrechamente relacionada con las condiciones ambientales que establecen el gradiente de presión por el que se produce el flujo de vapor. También influyen la porosidad y el tipo de conectividad de los poros.

Sin embargo, las referencias a los valores de permeabilidad al vapor de agua por parte de los materiales cerámicos son muy poco abundantes. Se pueden encontrar citas a valores del rango de los 160-180 g/m^{2}x-24horas. Las recomendaciones de la NORMAL italiana 11/85 hacen las especificaciones del ensayo.

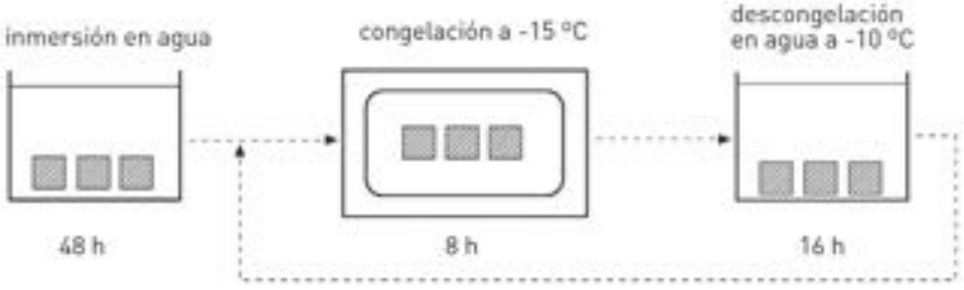
DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN HÍDRICA (O EXPANSIÓN POR HUMEDAD)

Algunos materiales cerámicos desarrollan tensiones internas que se manifiestan en un incremento de volumen (dilatación) debido fundamentalmente al contenido de ciertos materiales arcillosos (del grupo de las esmectitas).

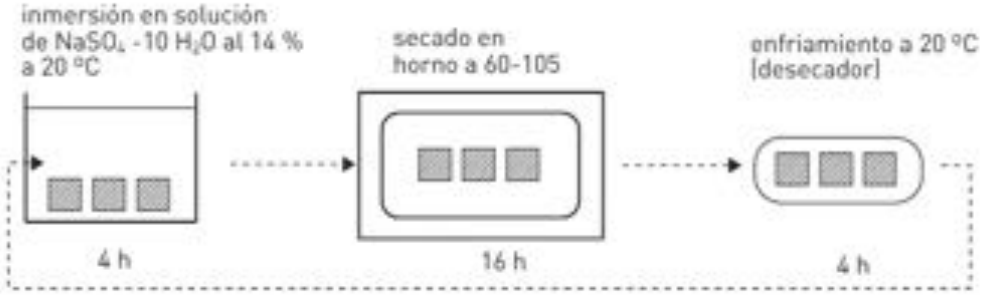
La expansión por humedad también se puede deber a la presencia de nódulos de cal. Simultáneamente, la pérdida de humedad puede traer consigo un proceso de contracción o de retracción.



Esquema del ensayo de humedad-sequedad.



Esquema del ensayo de heladicidad.



Esquema del ensayo de cristalización de sales.

Ensayos de piezas cerámicas.

La reversibilidad total o parcial de las dilataciones y contracciones causadas por las condiciones cambiantes de sequedad-humedad se notan más en los ladrillos silico-calcáreos. En este tipo de fábricas las juntas de dilatación se deben colocar a intervalos de 7,5 a 9 mm. Las fábricas de ladrillo de arcilla deben ser colocadas con una separación de 12 a 18 mm o con 10 a 12 mm, tanto para expansiones hídricas como de otro tipo.

Los materiales cerámicos que presentan valores altos de expansión cuando entran en contacto con el agua deben utilizarse con precaución debido a su susceptibilidad a la degradación de sus cualidades físicas mediante esta vía de alteración.

La determinación de las propiedades de expansión hídrica o de retracción se puede realizar utilizando las normas UNE y RILEM. Para los ladrillos de arcilla, los valores porcentuales de expansión hídrica son del rango del 0,1% - 0,2% y para los ladrillos silico-calcáreos los valores oscilan entre el 0,001 % y el 0,05 %.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas hablan de los comportamientos de los materiales cerámicos frente a la presión de distintos tipos de esfuerzos mecánicos. Estos esfuerzos se pueden tratar de la compresión y de la tracción, como los más importantes.

Las fábricas de las construcciones, a partir de un nivel de tensión determinado, pueden sufrir daños físicos irreversibles. Estos daños contribuyen a la degradación del material y a las inestabilidades estructurales.

Es por esto que el estudio de las propiedades mecánicas de las fábricas de cerámica permite la realización de un diagnóstico válido de alteraciones. Cuando se intenta conocer la resistencia mecánica de un ladrillo cerámico, se trata de averiguar la medida del esfuerzo bajo el que éste se rompe, o su capacidad de aguantar esfuerzos sin romperse.

La resistencia mecánica de las fábricas cerámicas es la propiedad que se suele determinar con más frecuencia. Esto se debe a que la resistencia mecánica es la propiedad más característica de este tipo de materiales. Los ladrillos de cerámica se encuentran dentro del grupo de los materiales frágiles.

Este tipo de materiales de construcción presentan mayor resistencia a los esfuerzos de compresión que a los de tracción.

En general, se puede decir que cuanto más pequeño es el tamaño del grano del material cerámico, su resistencia mecánica es mayor.



Ensayo de eflorescencia en ladrillos macizos.

Por otro lado, la resistencia disminuye cuanto mayor es la porosidad y el contenido de agua. Los ladrillos cerámicos que presentan una resistencia mecánica elevada y baja porosidad, pero que poseen un poro medio con un diámetro inferior a 1-2 mm, duran menos que los que tienen baja resistencia mecánica y mayor porosidad.

Esto se debe a que este último tipo de ladrillo presenta tamaños de poros superiores a los 1-2 mm.

Las propiedades mecánicas que se estudian y ensayan son:

- ***RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN***
- ***RESISTENCIA A LA TRACCIÓN***
- ***RESISTENCIA A LA FLEXIÓN***
- ***DUREZA SUPERFICIAL***
- ***COEFICIENTES DE ELASTICIDAD Y DE POISSON***

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En general, las fábricas cerámicas se utilizan para realizar esfuerzos de compresión. Esta es la razón por la que los ensayos de determinación de este tipo de resistencia son los más comunes para los materiales cerámicos. Además, la resistencia a la compresión es la propiedad más requerida debido al empleo de las fábricas cerámicas como material estructural. Se han intentado relacionar la resistencia a la compresión con la porosidad, la absorción o la resistencia a la flexión, pero sin resultados claros.

En cualquier caso, para conocer la magnitud de la resistencia a la compresión, se debe seguir el ensayo específico que indica la norma UNE 7.059.

Generalmente, la resistencia a la compresión aumenta si aumenta la temperatura de cocción hasta los 1.300 ºC y disminuyo a partir de aquí.

La resistencia a la compresión también disminuye a lo largo de un año si las piezas se almacenan al aire libre. Esta disminución puede alcanzar un valor del 20 %.

Los ladrillos presentan resistencia a la compresión en función de las propiedades físicas de la arcilla que los compone, de los métodos de fabricación que se hayan utilizado y en el grado de cocción que presentan.

Se admiten tensiones que varían entre 1/6 a 1/4 de las tensiones de rotura. Éstas pueden alcanzar valores de 85 a 300 Kp/cm^2.

Según el “Pliego general de condiciones para la recepción de ladrillos cerámicos en las obras de construcción (RL-88)”, los valores de resistencia a la compresión de las fábricas contemporáneas, de las macizas y de las perforadas, no deben ser menores a 100 Kp/cm^2. La norma española establece unos valores que se sitúan entre 50 y 300 Kp/cm^2.

Los ladrillos de construcciones históricas presentan valores de resistencia a la compresión que varían entre 15 y 300 Kp/cm^2.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La resistencia a la tracción depende de la resistencia de los granos minerales que compongan la fábrica cerámica. A su vez, depende también de la matriz que une dichos granos y del área interfacial entre los minerales. Como en todos los materiales porosos, el esfuerzo de tracción está condicionado por los compuestos que existen en el interior de los poros. Esos compuestos pueden ser aire, agua o resinas, por mencionar los más importantes.

La fábrica cerámica, por su diseño, no puede soportar esfuerzos de tracción por tiempos prolongados. Si se lo somete a una compresión uniforme, en general se pueden observar el desarrollo progresivo de grietas. Estas grietas aparecen paralelas al eje de carga, como resultado de los esfuerzos perpendiculares de tracción a la compresión principal.

La medida de la resistencia a la tracción y del esfuerzo cortante del ladrillo es de un rango de 1/2 a 1/3 de la resistencia a la compresión.

Para conocer los valores de la resistencia a la tracción de las fábricas cerámicas se utilizan ensayos o fórmulas empíricas para calcularla.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Las fábricas cerámicas ofrecen valores de resistencia a la flexión muy bajos. Éstos pueden variar de 1/10 a 1/20 de los valores de la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión debe ser determinada debido a que los esfuerzos de flexión pueden producir zonas con esfuerzos de tracción. Cuando la fábrica cerámica va a estar sometida a este tipo de esfuerzos mecánicos, se hace necesario su correcto dimensionamiento. Los valores de resistencia a la flexión de los ladrillos utilizados en construcciones antiguas están comprendidos entre los 30 y los 80 Kp/cm^2.

DETERMINACIÓN DE LA DUREZA SUPERFICIAL

Las fábricas cerámicas tienen una dureza que depende tanto de sus componentes como de la cohesión que éstos presenten. Es decir, la dureza de la pieza depende de la dureza de cada uno de los minerales que constituyen la pieza cerámica y de la cohesión entre esos minerales.

La determinación de la dureza superficial de los materiales de construcción cerámicos se puede realizar a través de varios métodos. Los métodos de dureza más destacados son por: ***RAYADO, ABRASIÓN, REBOTE*** y ***PENETRACIÓN*** (microdureza Knoop).

La determinación de la dureza superficial por abrasión es especialmente utilizada para los materiales que se emplean en pavimentos y solados que se someten a tráfico intenso. La determinación implica saber la cantidad de material que se desprende por la acción de un abrasivo bajo determinadas condiciones.



Realización de una prueba esclerométrica.

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y DEL MÓDULO DE POISSON

El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es un índice de rigidez relacionado con la resistencia a compresión.

En general, el módulo de elasticidad de los ladrillos cerámicos es superior a $20x10^4$ Kp/cm^2. El módulo de elasticidad de muros de fábrica de ladrillo es del orden de $(5\text{-}6)x10^4$ Kp/cm^2.

El módulo de Poisson es la relación entre las deformaciones unitarias transversales y longitudinales. Es una medida adimensional. Para las fábricas cerámicas se obtiene un valor de 0,25, teniendo en cuenta un módulo de elasticidad transversal $G=0,4E$ (siendo E el módulo de elasticidad de Young).

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

Frente a las variaciones de la temperatura, todos los materiales usados en construcción son susceptibles de sufrir procesos de dilatación.

Estos materiales pueden verse expuestos a la intemperie con mucha frecuencia. Por esta razón se suelen ver afectados por los cambios de temperatura, en forma de ciclos térmicos diurnos o estacionales.

Estos ciclos, en determinados ambientes y sobre determinados materiales, pueden generar lesiones características o ayudar al desarrollo de otras.

Por lo tanto, el estudio de las propiedades térmicas es muy útil para interpretar las lesiones que se generan y que inciden en el deterioro de los materiales de construcción.

Así, la correcta caracterización de un material de construcción que debe ser diagnosticado en cuanto a sus posibles lesiones debe incluir ensayos para la determinación de sus propiedades térmicas. En los productos de arcilla, esta propiedad térmica está en función de la materia de origen y del incremento de la temperatura que se produzca.

Determinar las propiedades térmicas de los cerámicos es importante también para medir la diferencia de los coeficientes de dilatación entre el soporte y la cubierta de los materiales cerámicos esmaltados, cuando son utilizados en la fachada.

DILATACIÓN TÉRMICA: de los productos cerámicos es bastante pequeña. Las considerables dilataciones y contracciones que se producen durante las sucesivas etapas de la fabricación, desaparecen cuando se llega a los 1.000 ºC. A esta temperatura los coeficientes de dilatación son mínimos. Para los ladrillos de arcilla, los valores del coeficiente de dilatación térmica en volumen están comprendidos en $(5\text{-}7)x10^{-6}$ ºC. Para los ladrillos silico-calcáreos, el valor es de $14,4x10^{-6}$ ºC. En términos generales, se puede afirmar que la estabilidad térmica de la cerámica es muy alta.

TIPO DE LADRILLO		Kcal/m.h
Macizo	Recién hecho	0,82
	Seco	0,45
	Viejo	0,35
Hueco		0,28

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LAS PIEZAS CERÁMICAS
(Fuente: Els materials ceràmics en la construcció).

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: que presentan las fábricas cerámicas varía según la composición, la densidad, la humedad ambiente en la que se encuentre y el envejecimiento que haya sufrido. Los valores de conductividad térmica para una fábrica maciza recién fabricada son de 0,82 Kcal/m.h. El valor para una fábrica maciza seca es de 0,45 Kcal/m.h. Para una fábrica maciza vieja, 0,35 Kcal/m.h y para una fábrica agujereada, 0,28 Kcal/m.h.

RESISTENCIA AL FUEGO de los materiales cerámicos: es muy buena. Las temperaturas que sufren estos materiales durante la cocción son más elevadas que las que se producen en condiciones normales durante un incendio. Esto les otorga gran resistencia durante los incendios.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE DURABILIDAD

DURABILIDAD: es la capacidad o aptitud de un material para resistir la acción agresiva de los agentes de alteración. Los ensayos de durabilidad tienen como objetivo medir la capacidad de los materiales de construcción para desempeñar la función que se le asigna en la obra, durante un período de tiempo largo y sin experimentar cambios de apariencia, cambios en alguna de sus propiedades o la pérdida de su integridad física. De este modo, este tipo de estudio es muy útil a la hora de efectuar un diagnóstico de lesiones.

Los ensayos de durabilidad ayudan a predecir el comportamiento de los materiales en obra, a establecer índices de calidad o de durabilidad y a evaluar los tratamientos que se propongan mediante la comparación entre la durabilidad de un material constructivo sin tratar y uno bajo tratamiento.

Estos procedimientos posibilitan las comparaciones entre las formas y los mecanismos de deterioro que se registran en el sitio y los que se registran en el laboratorio. Además, permiten establecer pautas de comportamientos diferenciales de los materiales de construcción frente a diferentes agentes de alteración.

Los estudios de durabilidad comprenden los procedimientos comparativos y los experimentales (o de laboratorio). Cada uno de estos métodos es complementario a los otros ante la evaluación de resultados. Sin embargo, este tipo de ensayos presentan también limitaciones importantes. Las condiciones de laboratorio nunca llegan a reproducir la cantidad de factores ambientales que actúan de manera conjunta en el medio ambiente natural.

En general, se pueden reproducir mediante pruebas de laboratorio uno o dos agentes de alteración.

Por otro lado, la intensidad de los agentes que se ponen a prueba se establece por encima de lo que es usual en el medio real, mientras los tiempos de programación de los procedimientos son mucho más cortos. Se debe también tener en cuenta el “efecto escala”. El tamaño de las probetas con muestras es muy pequeño si se lo compara con los muros de un edificio.

Así, se puede llegar a tener resultados distorsionados. Pero aunque hay que tomar recaudos antes de extrapolar resultados de los experimentos de durabilidad, éstos son muy útiles para establecer comportamientos diferenciales de los materiales frente a agentes de alterabilidad concretos.Los ensayos de durabilidad se realizan a través de los ensayos de envejecimiento artificial acelerado.

Existen normativas específicas para ladrillos cerámicos en el ensayo de resistencia a las heladas. Se pueden consultar las UNE y las ASTM. El resto de los ensayos de envejecimiento artificial acelerado siguen las normativas de los materiales de piedra.

Se pueden mencionar entre esos ensayos los de: ***CRISTALIZACIÓN DE SALES***, ***HUMEDAD-SEQUEDAD***, ***CICLOS TÉRMICOS***, ***EXPANSIÓN HÍDRICA***, ***CICLOS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA*** y a ***ATMÓSFERAS CONTAMINADAS***.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Una vez efectuados los ensayos, hay que proceder a la evaluación de los resultados. La evaluación implica la cuantificación del estado de alteración de la fábrica cerámica y sus posibles causas. Pero el diagnóstico de patologías es imprescindible sobre todo, a la hora de encarar un tratamiento adecuado. La elección del método de intervención y el tratamiento que va a ser llevado a cabo dependen de los resultados de las investigaciones de diagnóstico.

El estudio del deterioro de cualquier material de construcción incluye la descripción de las formas de alteración y la valoración del grado de alteración.

Se deben analizar los productos de la alteración, junto con la ubicación de las lesiones (mediante mapas de lesiones) y su relación con el sustrato en el que se asientan. El análisis de morteros y revocos es importante, junto con el reconocimiento de pátinas y recubrimientos.

Para establecer los agentes y los mecanismos del deterioro, hay que combinar los resultados obtenidos con los que surgen de los ensayos con los datos microclimáticos y nanoclimáticos. Estos datos, a su vez, deben ser correlacionados con los datos de contaminación ambiental.

La comparación de los resultados de los ensayos a muestras alteradas y a muestras no alteradas posibilita la medición de la patología a la que hay que enfrentarse con un tratamiento adecuado.

TRATAMIENTO

Para llevar a cabo el diseño del tratamiento sobre los materiales cerámicos, todos los datos relevados en el período de diagnóstico deben conjugarse de la mejor manera.

Así, se construyen planes y marcos de trabajo válidos y eficientes, según el resultado que se quiera lograr. Para establecer el tratamiento adecuado, se parte de una hipótesis acerca del método más indicado para llevar a cabo el proceso de intervención.

La hipótesis se basa en la información obtenida a partir de los estudios de diagnóstico. Esta hipótesis de trabajo debe ser contrastada y modificada posteriormente, tratando muestras en el laboratorio y efectuando ensayos sobre zonas piloto, que deben ser seleccionadas de forma cuidadosa.

Una cuestión que no debe pasarse por alto es la necesidad de un control técnico permanente de las labores de intervención que se efectúan. Además, estas labores deben ser llevadas a cabo por personal especializado e idóneo para la tarea.

Otro aspecto a tener en cuenta es el de las prioridades en la intervención. Se debe considerar en primer lugar la atención a las causas de deterioro. Se debe intervenir sobre estos factores para erradicarlos o minimizarlos cuanto sea posible. Luego, se debe llevar a cabo la intervención propiamente dicha.

Históricamente, los tratamientos de conservación o protección de fábricas cerámicas fue un punto relegado de las preocupaciones de los interventores y restauradores de construcciones, especialmente de las construcciones históricas.

TRATAMIENTO	PROCEDIMIENTO
Limpieza	Con agua Con métodos mecánicos Con métodos químicos Con compresas absorbentes
Consolidación	Aplicación de productos inorgánicos Aplicación de productos orgánicos Aplicación de productos mixtos (sílico-orgánicos)
Protección	Hidrofugación Corrección de humedades Cobertura de las piezas
Sustitución	
Complementación y reconstitución	De los materiales cerámicos De morteros
Reparación de juntas y fisuras	
Mantenimiento y prevención	

SECUENCIA DEL TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES CERÁMICOS Y SUS RESPECTIVOS PROCEDIMIENTOS

Desde 1978, las Recomendaciones NORMAL resumen las experiencias teóricas y prácticas acerca de los tratamientos sobre superficies cerámicas. Estas recomendaciones suelen indicar la importancia de la realización de los estudios de diagnosis previos al diseño del tratamiento.

La Comisión Europea, a partir de 1998, mediante el programa Desarrollo de la Investigación Científica, lleva adelante un proyecto de investigación de cooperación internacional. El objetivo de este programa es el de evaluar los tratamientos de restauración de los edificios de materiales cerámicos y evitar los daños ocasionados con métodos de intervención mal empleados o diseñados.

En general, se pueden establecer ciertas etapas o grupos en la intervención sobre los materiales cerámicos. Estos grupos son: ***LIMPIEZA***, ***CONSOLIDACIÓN***, ***PROTECCIÓN*** o ***HIDROFUGACIÓN***, ***SUSTITUCIÓN***, ***COMPLEMENTACIÓN*** y ***RECONSTITUCIÓN*** y ***REPARACIÓN DE ELEMENTOS, FISURAS*** y ***JUNTAS***. Finalmente se deben realizar las tareas de ***MANTENIMIENTO*** y ***CONSERVACIÓN PREVENTIVA***.

LIMPIEZA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

Las técnicas de limpieza varían en relación con el objeto que debe ser limpiado. En general, las causas que promueven un tratamiento de limpieza pueden ser las costras y los depósitos superficiales, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica.

Otras patologías que requieren de una intervención de limpieza son las presencias de sales solubles –depositadas por contaminación ambiental o por las lluvias y vientos– y las pintadas o ***GRAFFITIS*** de origen humano.

Los procesos de limpieza se pueden dividir según el método utilizado:

- **CON AGUA**
- **MÉTODOS MECÁNICOS**
- **MÉTODOS QUÍMICOS**
- **EMPLASTOS ABSORBENTES**

Para decidir cuál es el método de limpieza más adecuado, se debe analizar el ladrillo, el tipo y el grado de suciedad y alteración del material. Estas investigaciones son las que se llevan a cabo en el período de diagnosis, pero pueden ser modificadas posteriormente, mientras se lleva a cabo la intervención.

Como ya se ha mencionado, la eficacia y la inocuidad del sistema de limpieza debe contar con el apoyo de pruebas y ensayos previos a la utilización del mismo.

LIMPIEZA CON AGUA: Si la limpieza elegida emplea agua en su consecución, o cualquier otro producto que implique el humedecimiento de los materiales cerámicos, implican un peligro de introducción de agua en las fábricas cerámicas, con el consiguiente riesgo de introducción de sales, acción del hielo, aparición de eflorescencias, etc. Por lo tanto, el humedecimiento de las fábricas por el método de limpieza que se elija debe estar lo más cuidado y restringido posible.

La limpieza con agua, entonces, se debe restringir a las situaciones donde su acción no perjudique a las cerámicas ni sea promotora de nuevos procesos de alteración.

Al ser las fábricas cerámicas materiales con altos niveles de porosidad, se suele aconsejar un valor de porosidad del 20 % como límite máximo, cuando se desea utilizar métodos húmedos de limpieza.

Antes de comenzar una limpieza con agua, se deben valorar el estado de la fábrica pero también de las juntas de mortero.

Las limpiezas húmedas constituyen un recurso de relativa sencillez y eficacia para suciedades no muy intensas. Sin embargo, frente a depósitos muy adheridos, a pinturas o a manchas producidas por costras desprendidas, este método no resulta muy adecuado. En los casos de suciedades leves, el uso de agua pulverizada es un método válido de limpieza.

Las eflorescencias salinas se eliminan con lavados prolongados. Los depósitos muy sucios, ya sean costras negras o incrustaciones resistentes, se pueden eliminar por la aplicación de chorros de agua intermitentes y espaciados.

Así, se puede conseguir un reblandecimiento progresivo y se evita la saturación de humedad del material. Los lavados discontinuos ayudan a evitar la saturación del material. El uso controlado de nebulizadores, de atomizadores y de pulverizadores se propone como un método de limpieza que no conlleva tanto peligro para los materiales cerámicos.

La temperatura del agua suele ser siempre superior a los 5 ºC. Sin embargo, la utilización de agua a diferentes temperaturas, siempre y cuando la acción térmica no sea peligrosa para la conservación de los materiales cerámicos, constituye otro método eficaz de limpieza que se está utilizando mucho contemporáneamente.

También se puede recurrir a detergentes diluidos en el agua de limpieza. Se debe prestar mucha atención a que estos compuestos químicos no generen agresiones a los materiales y que no originen restos que no se puedan eliminar posteriormente. Se deben preferir siempre los detergentes neutros.

Otro de los problemas que se debe tener en cuenta es el posible desarrollo de formas biológicas de vida como resultado de la inserción de humedad en las fábricas. De este modo, después de la realización de una limpieza con agua se debe proceder a la aplicación de biocidas.

Las piezas vidriadas o esmaltadas plantean menores problemas en la intervención de limpieza con agua. Su absorción de agua es mucho más baja y la decoración superficial resulta resistente.

Las piezas vidriadas, por lo general, incorporan un alto grado de impermeabilización a la pieza. Este tipo de fábricas puede limpiarse a través de proyección de agua a presión media, de unos 15 a 40 Kg/cm^2.

Nunca se debe aplicar agua a presión que pueda dañar los ladrillos, y hay que tener especial cuidado con esto. Sí se les pueden aplicar un detergente neutro.

Si la limpieza se realiza en superficies reducidas, se puede lavar con agua, cepillo con pelos naturales y jabón neutro. Posteriormente, se debe aclarar cuidadosamente para eliminar cualquier tipo de restos de la limpieza.

Las limpiezas por chorro de vapor de agua son muy peligrosas para las fábricas cerámicas, por lo que su uso no se recomienda. Este peligro se basa en la posibilidad de producir choques térmicos y posterior resquebrajamiento.

Además, el agua se puede introducir en el interior del material cerámico y originar nuevas patologías.

MÉTODOS MECÁNICOS: incorporan, para su consecución, herramientas de diverso calibre. Estas herramientas pueden ser cepillos, rascadores, equipos de aire comprimido y de granallado.

También los equipos de proyección de abrasivos. Los métodos de limpieza mecánica requieren que las piezas cerámicas y la construcción en su conjunto presenten un buen estado de conservación.

Además, se deben aplicar sobre construcciones y materiales que presenten una resistencia elevada a la abrasión y al desgaste. Esto se debe a que los métodos mecánicos de limpieza pueden ocasionar un deterioro superficial, sobre todo en salientes, molduras o aristas y la erosión de las caras planas.

La erosión o la abrasión de estas superficies puede traer consigo mayor vulnerabilidad para que se produzcan nuevos procesos patológicos.

Las lesiones llegan a ser mayores si se deben eliminar organismos biológicos que se encuentren adheridos al sustrato.

Los métodos de limpieza mecánicos pueden originar, entonces, microfisuras, pérdida de material y disminución de la cohesión del material en superficie. Esto pone de relevancia la importancia que tiene una buena diagnosis del material antes de comenzar y de elegir el método de limpieza adecuado para los materiales cerámicos.

Dentro de los métodos mecánicos de limpieza, se pueden diferenciar los ***MÉTODOS HÚMEDOS*** y los ***MÉTODOS SECOS***. Los procedimientos de ***LIMPIEZA HÚMEDOS*** combinan la acción limpiadora del agua, lo que facilita el desprendimiento de elementos extraños. El desprendimiento se logra mediante la acción reblandecedora del agua.

Sin embargo, los métodos húmedos incorporan los riesgos mencionados en la limpieza con agua, es decir, la saturación del material y los depósitos de sustancias o elementos extraños no deseados. Los procedimientos de limpieza secos son de una aplicación un poco más complicada.

Sin embargo, determinados depósitos como las eflorescencias (que no pueden eliminarse con agua solamente) se pueden eliminar con estos métodos.

Los procedimientos mecánicos más simples para la limpieza del material cerámico de la construcción son los métodos manuales. Estos procesos conllevan la realización de cepillados y rascados. Los cepillos que se emplean deben ser siempre los más blandos disponibles. El cepillado no debe ser enérgico y las púas del cepillo no deben arañar la superficie de las fábricas ni de los morteros. Los cepillos que se consideran más adecuados son los de uña de cerda natural.

Otros métodos no manuales son la aplicación de aire comprimido, de abrasivos y de partículas. Los ladrillos cerámicos se pueden limpiar también mediante la aplicación de aire comprimido y de herramientas abrasivas. Este tipo de métodos requiere de inversión monetaria mayor y de personal especializado para su ejecución. Además, estos procedimientos son lentos.

La proyección de partículas se debe utilizar sólo en construcciones que no muestren evidencia de desintegración de los ladrillos. Antes de su aplicación se deben revisar los rejuntados. Esto se debe a que las juntas defectuosas son una de las vías de penetración de agua más importantes.

La proyección de partículas es un método que se puede efectivizar en seco y en húmedo. Además, la variación de la composición de las partículas, de su dureza, tamaño, forma y la presión a la que se proyectan, lo con constituye como un método muy versátil. Pero esta misma versatilidad necesita que los distintos parámetros estén muy controlados, a fin de garantizar los resultados buscados.

La proyección de partículas no debe ser utilizada en edificios históricos, por la degradación de la superficie que supone. Pero se usa generalmente para eliminar pintura o cal de lixiviado. También elimina con eficacia los depósitos de suciedades adheridos a la superficie.

LIMPIEZA QUÍMICA: limpieza de los materiales cerámicos gracias a la aplicación de productos químicos, es uno de los métodos de limpieza más utilizados. A diferencia de lo que sucede con los materiales pétreos, la limpieza química se puede realizar con cierta seguridad.

Esto se debe a que los materiales cerámicos tienen estabilidad frente a las diversas sustancias químicas y son de carácter neutro. Las propiedades anteriores hacen de los materiales cerámicos elementos altamente inertes.

Para realizar una limpieza por aplicación de productos químicos, se hacen necesarios y fundamentales los controles para la obtención del pH (el grado de acidez), antes y después de la limpieza.

Por otro lado, siempre que sea posible, se debe realizar un análisis de la superficie antes del tratamiento y después del mismo, a fin de confirmar que no se hayan producido alteraciones graves en la composición del sustrato ni que hayan quedado residuos de los productos.

Una recomendación muy seguida por los interventores, es la de humedecer las fábricas previamente a la aplicación de productos, para limitar su actividad. Los productos químicos de limpieza se comercializan en diferentes fórmulas. En esas fórmulas los diferentes principios activos se presentan diluidos, para que su acción no sea tan agresiva.

1. Sistema de Hidroarenado: Limpia el ladrillo asegurando una limpieza correcta de las capas negras de contaminación. Al no incluir ningún tipo de agente agresivo, logra una limpieza regular y uniforme sin dañar ni dejar huellas o marcas en la superficie. Efectivo para eliminar manchas de grafitis y lechadas de cemento.

2. Proceso de limpieza por Proyección de Polvo de Gres: Sistema de limpieza que garantiza una perfecta preservación del material, consistente en proyectar un chorro de gres blanco finamente calibrado a través de una cortina de agua, a baja presión. El proceso no provoca polvo.

3. Proceso de limpieza por vapor puro sobre presión: Sistema no agresivo recomendado para ladrillos barnizados. Su ventaja reside en que no genera abrasión, en la combinación de la acción conjunta del calor, la fuerza mecánica del chorro y la disolución por agua, y en que no permite la saturación de agua.

4. Lavados con tensoactivos: Este sistema, que permite la limpieza de manchas de origen químico de difícil extracción, suele combinarse con el proceso por chorreos de agua, consistente en la pulverización de agua clara sobre el material a tratar. El mayor inconveniente del proceso radica en el hecho de que resulta dificultoso neutralizar totalmente los productos después de la limpieza.

SISTEMAS DE LIMPIEZA DE LADRILLOS

Existen algunos productos que son activos sólo durante unos minutos, por lo que se los puede dejar en la superficie durante horas sin peligro para los materiales bajo tratamiento.

Los productos químicos se aplican, en general, mediante un cepillo. Se los deja actuar un tiempo determinado, dependiendo del producto y del material a limpiar. El rango de actividad de los productos va desde los dos a los treinta minutos.

Después de la aplicación se debe enjuagar la superficie para eliminar los restos. El agua debe tener una presión de entre 15 y 40 Kg/cm^2. Se deben utilizar productos con bajas concentraciones y con períodos cortos de actividad para evitar riesgos innecesarios.

La naturaleza de los productos de limpieza tiene dos posibilidades, ser ***ÁCIDOS*** o ser ***ALCALINOS***. La elección de cada uno está en función de los elementos que se deben limpiar y de las características de los componentes del ladrillo.

LIMPIEZA ÁCIDA: debe llevarse a cabo con mucha precaución. Las preparaciones de compuestos ácidos se deben aplicar muy diluidas, en general, inferiores al 10 %. La acción de estos productos se puede basar en el ataque del depósito o en el ataque del material en la interfase con el elemento extraño. Este último caso comporta un riesgo mayor.

Se suele considerar al ladrillo cerámico como un material neutro o resistente a los ácidos. Sin embargo, ciertos limpiadores ácidos pueden eliminar los esmaltes o superficies de acabado. El compuesto más utilizado dentro de los productos ácidos es el ácido fluorhídrico. El poder limpiador de este compuesto se basa en que es capaz de disolver los silicatos de la superficie del elemento cerámico en la interfase ensuciamiento/elemento cerámico.

El ácido fluorhídrico es efectivo para suciedades leves. Si las suciedades son más persistentes, se lo combina con algún agente alcalino. El ácido fluorhídrico es altamente tóxico. Esta situación obliga a que el personal que se encarga de su aplicación debe ser muy cuidadoso y estar suficientemente protegido. El ácido fluorhídrico se utiliza en concentraciones bajas, del 2 % al 8 %. Si las concentraciones son mayores, puede llegar a disolver la sílice y los silicatos que constituyen el vidrio o cubiertas y barnices.

Semejante proceso puede conducir a la reprecipitación de sílice coloidal, prácticamente imposible de eliminar sin dañar el sustrato. Por otro lado, este químico no diluido llega a disolver los morteros de cal. Esta acción de disolución de los componentes silíceos es la base de la limpieza con ácido fluorhídrico y provoca el desprendimiento de las costras o depósitos superficiales.

Asimismo, su aplicación elimina las sustancias absorbidas como productos biológicos y pinturas.

En el caso en que la formulación de dilución sea errónea, se puede provocar un importante deterioro del material. Es conveniente, por lo tanto, la realización de pruebas previas en zonas determinadas. Estas comprobaciones aseguran la eficacia del tratamiento y garantizan que el material bajo tratamiento es inerte ante el limpiador.

El empleo de ácido fluorhídrico no es recomendado si existen materiales pétreos cercanos a la zona bajo tratamiento. Especialmente si esos materiales rocosos tienen alto contenido en carbonatos, como las calizas y los mármoles. La reacción química de este tipo de rocas con el ácido puede derivar en procesos de cristalización de fluoruro cálcico en los poros y cavidades de la piedra.

La terracota sin esmaltar y otros elementos escultóricos cerámicos se pueden limpiar con este ácido. Para los casos de suciedades intensas se puede recurrir a formulaciones combinadas de ácidos diferentes. Algunos de estos productos pueden ser los ácidos clorhídricos, los ácidos nítricos, los ácidos fosfóricos y los ácidos sulfónicos.

Los productos ácidos se recomiendan para eliminar suciedades compuestas por depósitos solubles en ácidos, como las manchas de cal. Para efectuar la limpieza se debe lavar primero con agua fría la zona, luego aplicar los productos ácidos. Finalmente, mediante herramientas pequeñas se debe eliminar los restos manualmente, acabando con un cepillado.

LIMPIEZA QUÍMICA ALCALINA: se emplea especialmente para las suciedades grasas. Ejemplos de estas suciedades son las pinturas al aceite. También se utiliza para la remoción de suciedades de naturaleza orgánica. Si bien los productos alcalinos son muy efectivos, su utilización no está muy extendida. Esto se debe a que los compuestos alcalinos tienen por base a los hidróxidos de sodio y potasio. Estos productos favorecen la aparición de sales solubles y su posterior cristalización, con la consiguiente formación de eflorescencias.

También se utilizan los compuestos y soluciones con base de amonio, como el hidróxido amónico y acetona. El amonio resulta un componente de aquellas formulaciones más eficaces y más utilizadas.

TIPO DE EFLORESCENCIA	TRATAMIENTO
Eflorescencia de sulfatos solubles de color blanco	Cepillado y lavado con agua
Eflorescencia de sulfatos alcalinos	Cepillado y lavado con agua más solución de jabón sódico al 1 %
Eflorescencia de carbonatos	Previamente, se mejora el muro para evitar absorción de ácido no deseada. Aplicación de soluciones de ácido clorhídrico al 10 % o 20 %. Se debe lavar para eliminar restos de ácido
Eflorescencia de sales de vanadio	Lavado con agua la pared, aplicación de sosa y lavado nuevamente con agua
Eflorescencia de sales de vanadio sobre enlucido de yeso	Aplicación de soluciones derivadas de ácidos etileno-diamino-tetraacético

TRATAMIENTOS DE EFLORESCENCIAS

Se suele recurrir con frecuencia a una combinación de productos alcalinos con ácido fluorhídrico, con la finalidad de atenuar mutuamente su acción. Después de la aplicación de este producto mixto se requiere un lavado intenso.

La combinación de químicos se debe aplicar sobre superficies pequeñas, para que la aplicación y posterior aclarado y eliminación puedan ser controlados con facilidad. Los limpiadores alcalinos mezclados con el ácido fluorhídrico son muy efectivos para la limpieza de ladrillos cerámicos.

Los productos alcalinos se recomiendan para eliminar suciedades compuestas por depósitos solubles en álcalis, como son las pinturas a base de aceite de linaza.

APLICACIÓN DE EMPLASTOS ABSORBENTES: se restringen a zonas o elementos concretos, de pequeño espesor (1 mm como máximo) y corta extensión. Este tipo de limpieza es especialmente útil para la terracota sin esmaltar.

TIPO DE DEPOSITO	TRATAMIENTO ACONSEJADO
Sales solubles (solubles en agua)	Lavado con agua Aplicación de emplastos absorbentes Cepillado
Depósitos de cal (solubles en ácidos)	Lavado con agua Aplicación de productos químicos ácidos Eliminación manual Cepillado
Pinturas con bases en aceites de linaza (solubles en álcalis)	Aplicación de productos químicosalcalinos

TRATAMIENTO DE DEPÓSITOS SUPERFICIALES SEGÚN EL TIPO

La limpieza por emplastos absorbentes consiste en la aplicación de pastas que se adhieren a la superficie a limpiar, a modo de compresas. Los emplastos poseen la capacidad de absorber las sustancias depositadas sobre la superficie del material cerámico como las sustancias que se encuentren al interior de sus poros.

Los emplastos son efectivos, entonces, en la eliminación por extracción de las sales solubles. Al poseer esta característica de eliminación de sales solubles, también se los utiliza para extraer eflorescencias y depósitos biológicos, como líquenes, hongos y microorganismos diversos.

Además, limpian manchas resultantes de los productos orgánicos, de los microorganismos o de oxidaciones de materiales ferrosos. Este último tipo de mancha es resultado de la disolución o lixiviación de componentes metálicos, como el orín producto de la oxidación de elementos férreos.

Las pastas requieren que el soporte donde se aplican esté en buen estado de agregación. Si los materiales sobre los que se depositan las pastas se encuentran en mal estado, el emplasto puede arrastrar fragmentos sueltos. Esto sucede en el proceso de aclarado y eliminación de la pasta.

Los emplastos están compuestos generalmente por sustancias terrosas y arcillosas. Suelen ser de sepiolita y atapulgita. Estos dos materiales son muy absorbentes pero se requiere antes de su empleo que todas las sustancias grasas sean eliminadas con acetona.

Las arcillas se deben aplicar de manera preparatoria en forma de suspensión líquida. Posteriormente, se debe aplicar la pasta base humedecida. Este procedimiento favorece la adhesión al soporte. Finalmente, el emplasto se debe recubrir con una tela o gasa y algodón hidrófilo humedecido.

Este último paso garantiza que el emplasto permanezca con el nivel de humedad requerido. Se debe recubrir todo con una capa plástica, aunque ésta debe contar con orificios de ventilación.

Se deja actuar un tiempo promedio de tres días, aunque suele haber variaciones dependiendo de los materiales y de las suciedades bajo tratamiento. Cuando se ha eliminado la cataplasma, se debe aclarar la zona con agua abundante.

Este tipo de tratamiento no presenta ningún tipo de contraindicaciones para los materiales cerámicos. La razón es que los materiales que componen los emplastos –las arcillas– no presentan carácter corrosivo. Además, se las aplican sobre soportes materiales que poseen las mismas características.

Existen otro tipo de emplastos, además de los compuestos solamente por materiales arcillosos, son las cataplasmas biológicas. En general su formulación posee una base de arcillas, urea y glicerina. Este tipo de cataplasma se suele emplear en la eliminación de residuos difíciles de quitar. Se las utiliza especialmente para depósitos de yeso. Se deben aplicar capas de unos tres centímetros.

Cuando están colocadas, se las sella durante un tiempo, que es más prolongado que las compresas mencionadas de atapulgita y sepiolita. Se las debe dejar actuar por un mes, aproximadamente.

Los tiempos que necesitan para actuar presentan el problema de la disponibilidad de tiempo que se tenga para realizar el tratamiento. Además, para eliminar estas compresas se requiere recurrir a la microarenización.

CONSOLIDACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

El proceso de ***CONSOLIDACIÓN*** de los materiales cerámicos tiene la finalidad de devolver o aumentar la cohesión de los componentes de las fábricas que la han perdido o visto reducida.

La consolidación superficial engloba a los procedimientos que están destinados a restablecer la firmeza estructural de los elementos cerámicos que debido a los procesos de alteración y degradación se han convertido en una masa de partículas pulverulentas con poca aglutinación.

La introducción de compuestos adhesivos intenta paliar estos procesos de deterioro. Como se ha mencionado anteriormente, la disgregación de los materiales cerámicos encuentra su causa especialmente en el proceso de fabricación.

La causa es, en general, una cocción defectuosa que no permite que se lleven a cabo las transformaciones mineralógicas necesarias para obtener las características mecánicas propias de las fábricas cerámicas.

Por otro lado, la pulverización o disgregación superficial de las piezas se puede deber a los depósitos en la superficie de diversos agentes contaminantes o a los procesos de cristalización de sales solubles.

La consolidación debe hacer frente a estos procesos de alteración. Sin embargo, los materiales cerámicos presentan la dificultad de exponer una superficie útil para la aplicación de los productos consolidantes muy reducida en relación con la extensión de la pieza. Esto se debe a los procesos de colocación de las piezas.

La dificultad es importante cuando es necesaria la introducción de consolidantes en el interior de la pieza. Si la degradación de los materiales cerámicos se debe a la cocción deficitaria, se hacen necesarios estos procesos de consolidación en profundidad. Así, se precisa un disolvente que actúa como vehículo para arrastrar el consolidante en el interior de la fábrica.

En los tratamientos de consolidación de fábricas de ladrillo, la variabilidad en la porosidad que presentan estos materiales constructivos provoca que se varíen mucho los tipos de productos consolidantes a ser utilizados. Es decir que ciertos productos y métodos de tratamiento que son muy efectivos en ladrillos que presentan baja porosidad, suelen no dar resultado en ladrillos que presentan niveles altos de porosidad. Por lo tanto, la investigación realizada en la etapa de diagnosis en cuanto a la determinación de la porosidad del material a tratar, es fundamental a la hora de elegir un tratamiento de consolidación adecuado.

Los productos consolidantes se pueden dividir en tres grandes grupos: los ***CONSOLIDANTES INORGÁNICOS*** y los ***CONSOLIDANTES ORGÁNICOS***. En una situación intermedia entre estos dos grupos se ubican los ***CONSOLIDANTES SILICOORGÁNICOS***, que presentan propiedades orgánicas e inorgánicas. Las bases fundamentales de los procesos de consolidación son las mismas que para los materiales rocosos. Sin embargo, la investigación con respecto a la compatibilidad y eficacia de los productos consolidantes comerciales con respecto a las fábricas cerámicas es mucho menor que la que se realiza incluso actualmente en relación a los materiales pétreos. La mayoría de los productos comerciales para la consolidación de los materiales cerámicos tienen secreto de patente, lo que resulta en que la información disponible es muy escasa.

CONSOLIDANTES INORGÁNICOS: tienen la ventaja de ser similares a los componentes de los ladrillos. Así, resisten mejor la acción de la intemperie. Además de una mayor durabilidad, los consolidantes inorgánicos presentan una mejor resistencia química. Pero por otro lado, no poseen características mecánicas óptimas (que sí poseen los consolidantes orgánicos). La penetración de los consolidantes inorgánicos se dificulta bastante, por lo que no son efectivos para las consolidaciones en profundidad.

CONSOLIDANTES ORGÁNICOS: se pueden mencionar a las resinas y a las ceras. En general, las ceras que se utilizan más son las de origen sintético, como las parafinas y las ceras microcristalinas. En cuanto a las resinas, las que se suelen utilizar para la consolidación de materiales cerámicos son las acrílicas, las epoxídicas, las de poliéster y las poliuretánicas.

CONSOLIDANTES SÍLICOORGÁNICOS: son consolidantes de naturaleza mixta, es decir, tienen como base una cadena de silicona constituida por átomos de silicio y oxígeno A esa cadena se unen radicales libres de naturaleza orgánica. Dentro de este grupo de derivados de las siliconas se utilizan con frecuencia las resinas de alquilsiliconas, los aminoalquilalcoxisiliconas, las metilsiliconas o las trimetoxisilietilendiamina. Consolidantes mixtos han sido utilizados en fábricas de ladrillo, tanto decorativas como estructurales y en mosaicos medievales.

Los tipos de consolidación mencionados –consolidación superficial–, que implican la introducción de elementos consolidantes de distinta clase en la fábrica disgregada constituyen un conjunto de operaciones que se puede diferenciar de otro tipo de consolidación, la ***CONSOLIDACIÓN ESTRUCTURAL***. La segunda clase de soluciones de consolidación se utiliza cuando las fábricas de ladrillo han perdido su capacidad de carga. Al perder esta propiedad mecánica, las fábricas pueden sufrir desprendimientos de sus partes o de su totalidad. Frente a estos casos extremos, se puede hacer necesaria su total o parcial eliminación.

Los signos de las fallas estructurales de las fábricas cerámicas, se encuentran fácilmente con la aparición de fisuras y grietas que presentan una orientación inclinada o vertical. También en la fracturación de piezas, en la pérdida de material o en el aplastamiento de los morteros. Todos estos problemas muestras la falta de resistencia de las fábricas cerámicas a los esfuerzos de compresión.

Antes de realizar la consolidación estructural se debe realizar el cálculo de las necesidades de refuerzo de las fábricas. Este cálculo permite evitar los sobredimensionamientos de las consolidaciones y también los subdimensionamientos de las mismas, que se traducen en falta de capacidad portante.

Por otro lado, si los cálculos son apropiados, se pueden establecer relaciones correctas de compatibilidad entre la nueva estructura y la vieja, el control de morteros empleados para anexar el elemento nuevo para prevenir las expansiones, agresiones o incompatibilidades del material.

En general, las soluciones para el problema de la pérdida de propiedades mecánicas se basan en dos criterios: la construcción de una fábrica adosada y la construcción de una estructura anexa. La primera de las soluciones implica construir una fábrica pegada a la que se encuentra alterada. Así, la nueva fábrica actúa como el elemento resistente a los esfuerzos que afectan al muro.

Sin embargo, presenta la dificultad de mantener la visibilidad del elemento (en caso que sea una pieza de importancia estética o artística). La posibilidad de utilizar este procedimiento depende de la importancia de la estructura a proteger, pero siempre es función de la disposición constructiva.

La segunda alternativa para dar solución al problema de pérdida de resistencia a la compresión de las fábricas cerámicas es la construcción de una estructura o pórtico. Esta estructura puede ser de hormigón o de perfilería de acero, siempre que soporto los esfuerzos. La construcción de la estructura es una solución fácil y requiere menor espacio que la primera opción. Además, este tipo de construcción de consolidación permite que el muro trabajado permanezca visible.

ELASTOFIX. Elastofix es una resina sintética monocomponente utilizada para conferir a los productos, a base de cemento, mayor flexibilidad, adherencia, impermeabilidad y incrementar la resistencia a la agresión química, a las lluvias ácidas y a los agentes atmosféricos en general. No tóxico.

EPOSAN. Producto monocomponente de consolidación para el saneamiento de superficies con mohos de condensación.

EPOTEC B2. Resina sintética específica para mejorar las características químico - físicas de los morteros monocomponentes Betonfix.

EPOTEC K20. Resina sintética monocomponente idónea para el tratamiento y la protección de ares sujetas a humedad de condensación.

EPOTEC K40. Resina epoxi bicomponente sin solventes. Impermeabilizante con elevada resistencia a los agentes químicos. Garantiza una adhesión estructural entre las juntas frías del hormigón. Es inodoro y puede ser diluido con agua y aplicado sobre superficies húmedas. Cuando endurece se transforma en un revestimiento monolítico, antiácido, absolutamente no tóxico.

EPOTEC K60. Resina sintética monocomponente con elevada penetración. Perfectamente resistente al agua y a los álcali. Penetra profundamente el soporte garantizando un elevado estado de consolidación.

KIMITECH PRIMER. Resina monocomponente con elevado poder de penetración. Aumenta las características mecánicas de los soportes blandos.

KIMICOVER BLINDO. Kimicover Blindo es una resina acrílica para la realización de revestimientos encapsulantes continuos con elevadas características de resistencia a los agentes atmosféricos. Realiza un estrato elástico e impermeable, resistente a los cambios térmicos, a los rayos solares, a las lluvias ácidas y a los agentes atmosféricos en general.

KIMICOVER FIX. Resina sintética bicomponente ausente de solventes, para consolidar soportes blandos y porosos en hormigón, cal o yeso. Se puede utilizar en locales cerrados y no ventilados.

KIMITECH EP-IN. Resina epoxi bicomponente a baja viscosidad con adherencia estructural al hormigón, acero, madera, piedras. Ausente de solventes, no presenta retiros cuando endurece. Penetra con facilidad en las fisuras y grietas (0,3 mm de espesor).

KIMITECH EP-TX. Adhesivo epoxi tixotrópico bicomponente libre de solventes con un fuerte poder adherente sobre soportes como hormigón, ladrillos, piedra, acero y madera.

KIMITECH EP-RG. Resina monocomponente con fuerte poder adherente para cemento y cal.

KIMITECH ST-160. Kimitech ST 160 es un tejido de armadura bidireccional en fibra de carbono de 160 gr/m² específico para consolidación estructural.

PRIMER ACR
Resina monocomponente con elevado poder de penetración. Aumenta las características mecánicas de los soportes blandos.

DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS PRODUCTOS CONSOLIDANTES Y DE PROTECCIÓN DE LADRILLOS DE LA CASA KIMIA SPA

Cuando la consolidación estructural se completa, se procede a la reparación y sellado de fisuras y grietas, ya sea por inyección de consolidantes o colocando elementos específicos. Entre estos elementos se pueden mencionar a los anclajes como las llaves o las grapas.

Si se colocan estos elementos, se debe comprobar con antelación la compatibilidad del material y de los ligantes que se emplean para el enganche de las piezas. Se debe tener especial cuidado con la corrosión. Para evitarla, se suele recurrir a las piezas galvanizadas.

Por otro lado, si se utilizan anclajes se deben tener en cuenta también los posibles problemas de dilatación diferencial de estos materiales en relación con las fábricas cerámicas. Para evitar este inconveniente, se deben recurrir a morteros con alto grado de elasticidad para evitar la reproducción de las fisuras, que pueden originarse en estos elementos de refuerzo. Los morteros que presentan una elasticidad adecuada para ser utilizados en estos casos son los sintéticos, del tipo de las resinas.

PROTECCIÓN: HIDROFUGACIÓN Y CORRECCIÓN DE HUMEDADES DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

La ***protección*** de la superficie de los materiales cerámicos tiene por objeto disminuir la velocidad de los procesos de degradación que los afectan. Estos procesos están estrechamente ligados a la interrelación con el medioambiente circundante. El problema de la presencia de humedades en las fábricas cerámicas es muy importante. Por eso, se vuelve imprescindible la eliminación de la humedad y de las causas que la provocan antes de realizar la hidrofugación. Así, recién se debe comenzar el proceso de impermeabilización cuando el soporte está seco.

La corrección de humedades es necesaria para evitar el deterioro continuo de las fábricas y para permitir que los procesos de impermeabilización den el resultado deseado. El proceso más simple para completar la eliminación de agua es la desecación natural. Para lograr que este proceso suceda se recurre a soluciones constructivas para permitir la convección forzada de aire.

De este modo, se busca favorecer las corrientes de aire que ayudan a la eliminación de la humedad. Si se insertan tubos porosos en el muro aumentan mucho las posibilidades de creación de corrientes desecadoras. Los tubos mencionados se conocen como sifones Knapen. Los sifones son tubos cerámicos que se deben introducir en los muros y absorben el agua de manera lenta y le dan salida hacia el exterior.

ELECTROÓSMOSIS-FORESIS: es otro sistema usado para eliminar aguas y humedades. Se basa en la aplicación de corrientes eléctricas para invertir la polaridad del sistema que se constituye por el edificio y el terreno. Se deben introducir en el interior de la fábrica varillas metálicas, que suelen ser de cobre. Estas varillas actúan como cátodos, conectadas a una pica. Esa pica actúa como ánodo y se la utiliza clavada en el suelo.

Se genera una diferencia de potencial que propicia un flujo de salida del agua. Simultáneamente, el sistema poroso del material se obtura. La instalación debe tener un mantenimiento periódico. De lo contrario, los elementos metálicos que la constituyen pueden sufrir procesos de corrosión.

Una vez solucionado el problema de las escorrentías de agua y seco el material a tratar, se puede comenzar el proceso de ***HIDROFUGADO***. Entre los productos más utilizados se encuentran las siliconas. Estos compuestos son aquellos ya mencionados dentro del grupo de los silicoorgánicos. Además de la acción hidrofugante, actúan como consolidantes, por lo que su acción es muy completa.

La protección para los ladrillos que han perdido la pintura original y presentan parte de su superficie al descubierto, se realiza mediante cubiertas con base de silicatos. Este material deja transpirar a la fábrica. La pérdida de pintura se debe a que no es permeable al vapor de agua, con lo que este producto solucionaría el problema.

SUSTITUCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

La sustitución o reposición de ladrillos cerámicos se realiza sólo en aquellos casos donde es imposible salvar los elementos originales.

Se llevan a cabo cuando las fábricas están muy deterioradas y constituyen una vía de entrada para el agua o cuando afectan la estética de la construcción.

Dentro de la sustitución se debe incluir a los procesos de reposición de piezas y de conglomerantes. El estudio previo, durante la etapa de diagnosis, es fundamental. Esto se debe a que la incorporación de nuevos materiales por reposición requiere que el comportamiento de las fábricas resulte lo más homogéneo que sea posible. Para eso, los materiales de sustitución deben cumplir una serie de requisitos en relación con sus características físicas, hídricas y mecánicas.

En cuanto a las propiedades físicas de los materiales de sustitución deben ser similares a las de la pieza original. Se debe prestar especial atención a la composición de la materia prima, al color, al coeficiente de dilatación térmica y al tamaño.

En relación con las propiedades hídricas de los materiales de sustitución deben ser iguales a las del ladrillo original. Se debe prestar especial atención a la absorción de agua y al coeficiente de permeabilidad al vapor de agua.

Por último, las propiedades mecánicas de los materiales de sustitución deben ser similares a las del ladrillo original.

Para lograr tal similaridad de piezas, es importante estudiar la composición de las pastas cerámicas y localizar las canteras de las que se extrajeron los barros. Este proceso, lamentablemente, no se puede realizar en la mayoría de las ocasiones. Lo que sí se puede realizar es la búsqueda del mismo tipo de fábrica en demoliciones de edificios.

Antes se debe comprobar que sean de la misma época de construcción y que posean características similares. Se puede recurrir también a la extracción de ladrillos de otras zonas del edificio que no necesiten el ladrillo visto. Esta técnica no es muy utilizada por el cuidado que se necesita en la realización de la extracción de piezas y porque es un procedimiento costoso. En estos últimos procedimientos se deben ensayar las piezas antes de ponerlas en obra.

Por otro lado, es importante estimar las temperaturas de cocción de las piezas originales. La caracterización de las fábricas cerámicas originales (que se realiza durante la diagnosis) debe ir acompañada de ensayos de cocción con las nuevas piezas. Esto permite correlacionar y comparar las propiedades y características de ambas.Existe cierta tendencia, especialmente presente en restauración de edificios históricos, de colocar piezas con un color intencionadamente diferenciado. El objetivo que se persigue es que se puedan reconocer las piezas no originales de las que sí lo son, a través del paso del tiempo.

Los morteros se intentan tratar del mismo modo y con las mismas herramientas que fueron empleadas en el momento de la realización de la construcción, en caso de tratarse de construcciones históricas.

Antes de la realización de la sustitución, se requiere de la eliminación de los restos originales. Este proceso de realiza mediante herramientas, escoplos o cinceles. Se deben cortar con un escoplo las partes deterioradas. Luego se debe realizar una limpieza concienzuda, quitar el polvo y humedecer todo el material adyacente con una brocha, lo que constituye el resanado de las superficies y la manifestación de la grieta, fisura o desperfecto.

Una vez terminado este proceso se debe medir el hueco disponible para insertar la pieza de reposición y el mortero que se debe calcular en la parte posterior y en los laterales del hueco. Así, se coloca el mortero en las caras de la fábrica, se coloca la pieza en la posición deseada y se encaja con el martillo. Simultáneamente, se intercala una cuña de madera que distribuye la fuerza y amortigua los golpes.

Finalmente, se debe limpiar el exceso de conglomerante de las juntas antes de que se endurezca y produzca manchas y se comprime el mortero medio endurecido para consolidar la junta y para lograr mayor compactación.

COMPLEMENTACIÓN Y RECONSTITUCIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

La finalidad de este proceso consiste en recuperar volúmenes o formas que se hayan perdido de las construcciones de fábricas cerámicas. Los procedimientos para complementar y reconstituir son varios.

REPARACIÓN CON PORCIONES DE LADRILLOS: se utiliza cuando la alteración que se debe tratar se produce solamente en una pequeña zona de la construcción o de la fábrica, o incluso en una sola pieza. Se suelen utilizar plaquetas de unos 25 milímetros de espesor.

Estas pequeñas placas deben tener características físicas, hídricas y mecánicas similares a la de las fábricas originales, siguiendo el proceso mencionado para la sustitución de piezas cerámicas.

La reparación con porciones de ladrillos se utiliza si hay peligro de daño para el resto de la fábrica circundante. En este método siempre es preferible la inserción de una sola porción de ladrillo.

Primero, se debe preparar el hueco, haciendo una base de mortero. El mortero puede tener o no sujeciones metálicas o compuestos adhesivos, dependiendo de las necesidades. Se debe limpiar y regularizar los huecos.

Por otro lado, es importante constatar que el mortero utilizado sea compatible con el original de la pieza. Las plaquetas se colocan sólidamente en el hueco así preparado. Una cuidado que se debe tener en cuenta es que si el mortero es de resinas epoxi o de algún otro tipo y se lo utiliza para la colocación de plaquetas en zonas grandes, se pueden llegar a originar problemas de disminución de los niveles de permeabilidad al agua calculados.

Esto podría provocar el desconchado de las zonas tratadas o de las zonas adyacentes. Si el área que se desea preparar posee unas dimensiones importantes, se deberán atar las nuevas hojas a las fábricas presentes. Para ello se pueden utilizar ladrillos a tizón, llaves metálicas o cualquier otro tipo de anclaje que resulte apropiado.

Cuando se vuelve imposible encontrar las piezas adecuadas, tanto para la complementación como para la sustitución de fábricas cerámicas, se puede recurrir a la ***REPOSICIÓN CON MORTEROS Y PINTURAS***. Este trabajo implica la reproducción del conjunto que se debe reemplazar. Se utilizan en las reposiciones morteros de restauración. Este tipo de morteros suelen ser a base de cemento, arena y/o polvo de ladrillo.

A veces se añade a la mezcla algunos aditivos. Otra posibilidad es la utilización de morteros modificados con polímeros. La reposición con morteros es una solución poco común, ya que sus resultados no son óptimos. Pocas restauraciones de este tipo no desfiguran o deterioran los ladrillos que se quería reparar.

Esto es especialmente grave en el caso de piezas ornamentales o decorativas. El objetivo de las reposiciones sería el de conseguir una mayor armonía estética en la fábrica. Una posible solución para evitar los cambios de color y de armonía visual de las fábricas es la pintura de los paramentos de fábrica de ladrillo. Esta solución uniforma las tonalidades y texturas.

REPARACIÓN Y LA REPOSICIÓN DE PIEZAS DECORATIVAS: como los azulejos, presentan ciertas características especiales que las diferencian del resto de las fábricas cerámicas. Los azulejos están compuestos de una base de pasta cerámica sobre la que se han aplicado colores, vidriados o esmaltados.

Este tipo de terminación les proporciona particularidades diferenciadas del resto de los materiales cerámicos de la construcción. Las posibilidades de actuación ante la alteración de estos materiales, que muchas veces poseen valor estético e histórico, son varias. Entre ellas están la conservación y restauración en el lugar donde se encuentran, el cambio de ubicación, la protección durante la obra, como las más importantes.

Cualquiera de estas operaciones presenta mayor complejidad de lo que parece y se las debe realizar con mucho cuidado. Además, los azulejos son piezas frágiles y poseen alto valor artístico y económico. El manejo y el tratamiento de este tipo de pieza se deben llevar a cabo por manos expertas y tiene que ser diferente al que se imparte a ladrillos y tejas.

Como primera medida, se debe realizar una investigación histórica que incluya la identificación de la procedencia y autoría de la pieza. Esto puede ser fácil para elementos singulares y especiales, ya que suelen tener la firma de su autor. Pero en el caso de piezas simples elaboradas en serie es un poco más complicado.

Sin embargo, encontrar las referencias no es imposible, ya que en las distintas zonas de elaboración de azulejos se siguen técnicas, colores y motivos decorativos diferentes. Por otro lado, muchas de las piezas tienen el nombre o sello del fabricante en el revés. Este sello suele estar estampado sobre la pasta cerámica.

Si la intervención no requiere cambio de emplazamiento ni consolidación, es decir, si la pieza presenta buen estado de conservación, se debe proceder a la protección del azulejo. La protección evita los riesgos de daños y alteraciones por golpes, manchas y cualquier otro inconveniente que puede surgir en el proceso de obra.

La protección se puede realizar mediante la colocación de algún material blando con la finalidad de que actúe como un colchón. Este colchón puede ser de planchas de poliestireno expandido. Lleva además una segunda protección exterior resistente.

La segunda capa de protección puede ser de ladrillo recibida con yeso. Cuando se realizan protecciones de azulejos es importante saber que se las debe revisar periódicamente, especialmente en las obras con tiempos largos. También es importante dejar registrado el lugar exacto donde se encuentran los elementos protegidos. Esto se debe a que hay que evitar riesgos de actuaciones a la espalda de los elementos.

Estas obras pueden alterarlos mediante golpes o incluso con la apertura descuidada de regolas o derribos parciales de muros.

La consolidación de azulejos se puede realizar mediante distintos procedimientos. Los procesos de consolidación dependerán de la situación que haya que tratar. Por ejemplo, si existe desprendimiento de piezas sueltas o de grupos de piezas, la consolidación se puede realizar retirando el material suelto para proceder a su recolocación.

La recolocación se debe hacer con un mortero que tenga unas características equivalentes al original. Cuando el desprendimiento es generalizado, se debe proceder al desmonte para recolocar posteriormente.

Otra solución es adherir el paño al muro mediante inyección de mortero de reparación o con capacidad adhesiva importante. La inyección de mortero se debe realizar por la parte superior. La operación se lleva a cabo a través de la apertura de un canal pequeño sobre el borde superior del paño. Desde allí se vierte el material consolidante.

Cuando los azulejos se desmontan para reubicarlos, es decir, para cambiarlos de lugar, se debe realizar una importante tarea previa. Esta tarea consiste en el registro minucioso del paño original. El registro y la documentación se realizan mediante fotografías y gráficos, esquemas y croquis. Esto asegura que la información de la posición original sea completa y se pueda repetir en la recolocación. El mortero de agarre también debe caracterizarse.

En general, los morteros antiguos estaban hechos a base de cal. Por lo tanto, se debe tratar de averiguar la dosificación y la granulometría del árido. El conglomerado debe tratar de reproducirse exactamente. Así, se evitan problemas de incompatibilidades entre el mortero nuevo y el original (que en general queda adherido a las piezas).

Primero, se deben fijar las piezas. Se las adhiere a un soporte rígido o se aplican cintas adhesivas, para evitar desprendimientos. Cuando los morteros originales son de cal, las operaciones de desmonte y recuperación de piezas son bastante simples. Para realizarlas se pueden emplear medios mecánicos, aunque utilizados con mucho cuidado.

Sin embargo, los azulejos están adheridos con morteros de cemento, que pueden no ser originales. Debido a reparaciones posteriores, incluso existe la posibilidad de presencia de distintos tipos de mortero para el mismo paño.

Para poder realizar el trabajo en estos casos, y en aquellos casos que los morteros de cal presentan mucha resistencia mecánica, hay que realizar un ataque al mortero mediante un ácido diluido. La acción del ácido o de algún producto similar degrada el conglomerante. Para realizarlo, se debe abrir una regola en el borde superior por la que se verterá el ácido. La concentración debe ir aumentando hasta lograr la separación de las piezas.

Evidentemente, este tipo de método requiere de una precaución extrema y de cuidados para el operario que la lleva a cabo. Los cuidados deben contemplar la seguridad de los azulejos y la salud del obrero. Cuando las piezas están separadas, se las clasifica, embala y almacena. La conservación de las mismas hasta el momento de su reintegración debe ser óptima.

El período de almacenamiento se utiliza para reparar las piezas o para reproducir las que se hubieren perdida. También existe la posibilidad de preparar piezas adicionales. Estas últimas sirven para adaptar el paño a una nueva ubicación de dimensiones diferentes que las del emplazamiento original.

Cuando se modifican la situación y disposición de azulejos, se debe tener en cuenta siempre su historia y los ordenes artísticos que rigieron su producción. Se trabaja así siguiendo una uniformidad de estilos y en concordancia con las nuevas composiciones.

REPARACIÓN DE JUNTAS Y FISURAS

Las juntas fisuradas o la pérdida de mortero requieren de tratamientos específicos. Estas dos alteraciones pueden generar accesos de penetración permanentes de agua y debilidad potencial de la estructura.

Para tratar las juntas, llagas y tendeles se debe proceder al proceso de ***REJUNTADO***. Para ello se debe examinar la fábrica, el mortero y su disposición en el muro. Se deben tener en cuenta el ancho, el perfil y la textura del rejuntado existente.

El mortero que se vaya a colocar debe cumplir una serie de condiciones: debe tener el mismo color, textura y disposición que el mortero original. Por otro lado, el nuevo mortero debe tener una resistencia a la compresión menor o igual que el mortero original.

Asimismo, la composición química de ambos morteros debe ser equivalente, ya que así se evita la aparición de sales solubles. La junta se debe preparar mediante la eliminación de parte de la misma.

Al menos se debe eliminar 25 mm, o como mínimo, su anchura. Posteriormente, se deben eliminar los restos de polvo y de material disgregado. Esto se puede realizar a través de métodos mecánicos o enjuagando con agua. Finalmente, se debe humedecer el soporte antes de colocar el nuevo mortero.

En el momento de la colocación se debe ejercer presión para lograr la compactación y eliminar las manchas de mortero rebosante.

La mayor parte de los problemas que se ven en la reparación de morteros están relacionados con la utilización de bases de cemento.

Este tipo de preparados puede llegar a provocar eflorescencia y también tensiones diferenciales, especialmente los de cemento Pórtland convencional.

Así, se puede llegar a dañar el conjunto de la pieza. Los morteros de cemento suelen ser más resistentes y rígidos que los morteros de cal. Estos últimos, aunque poseen menor resistencia mecánica, son más elásticos y se adaptan mejor a los movimientos que pueda tener la construcción.

Además, los morteros de cal son más porosos y por lo tanto facilitan la eliminación de agua por evaporación. Esta misma porosidad los hace más resistente a los ciclos de heladas.

Por lo tanto, las mezclas que utilizan cal y cemento pueden atenuar muchos de los problemas de los morteros que utilizan sólo cemento.

Los tipos de mortero de restauración pueden ser: ***INORGÁNICOS***, ***ORGÁNICOS*** y ***MIXTOS***.

MORTEROS CON BASE INORGÁNICA: podemos encontrar a los tradicionales –compuestos por barro, yeso y cal–, los morteros de cemento –que están determinados por el tipo de cemento y por los aditivos que incorporan– y los de nueva generación.

Estos últimos incluyen a los conglomerados de cementos modificados. Las aplicaciones de los cementos de nueva generación son muy variadas. Por ejemplo, los cementos modificados con agentes expansivos posibilitan contrarrestar el encogimiento característico de los cementos.

Los que poseen base de fosfato de magnesio o de aluminio tienen características autonivelantes y presentan una adherencia excelente. Los cementos aluminosos muestran grandes velocidades de fraguado.

Estos, sin embargo, pierden parte de sus propiedades en ambientes húmedos y cálidos. Por último, el cemento de etringita permite controlar la expansión del mortero.

MORTEROS CON BASE ORGÁNICA: son los que poseen una base de polímeros.

MORTEROS MIXTOS: son los que mezclan cemento y polímero termoestable o cemento y polímero termoplástico.

La reparación de fisuras y grietas se puede realizar mediante la aplicación o inyección de resinas resistentes. Las más utilizadas son las de tipo epoxi.

Estas resinas presentan una adherencia elevada con el material base. Además, desarrollan niveles de resistencia mecánica similares al soporte. Así, no se introducen nuevas tensiones en la construcción.

En los casos en que se recurra a la inyección de material reforzante, hay que tener en cuenta la fluidez que presente y la presión de introducción en la grieta.

También hay que escoger cuidadosamente los equipos y boquillas que sean adecuadas. Con estos valores controlados se puede realizar el relleno de toda la extensión de la grieta o de la fisura.

La superficie sobre la que se adherirá el consolidante debe haber sido previamente limpiada. Para hacerlo, se puede realizar un resanado mediante aplicación de aire a presión.

MANTENIMIENTO Y PREVENCIÓN

Estos dos procesos tienen por objetivo que los resultados que se obtengan de los tratamientos aplicados sean efectivos y duraderos. En las zonas urbanas o industriales, que presentan altos índices de contaminación ambiental, el deterioro de las construcciones es muy rápido. Por lo tanto, si el tratamiento se ha aplicado en una zona de estas características, se deben llevar a cabo tareas de mantenimiento y de prevención de futuras alteraciones.

El mantenimiento debe incluir revisiones periódicas de las construcciones y el control de los factores de alteración de las piezas cerámicas. Se deben controlar drenajes de agua de cornisas, terrazas y cualquier otro lugar donde haya paso de humedades.

La prevención tiene que ver con registrar los parámetros medioambientales y de los contaminantes de la atmósfera que rodean a la construcción. Así, se pueden tomar las medidas necesarias para evitar futuras alteraciones. De detectarse cambios dañinos potenciales para las cerámicas, se deberá realizar una investigación de prospección y análisis de aplicación de un nuevo tratamiento. Los datos se deben correlacionar entre sí y con las lesiones que se observan en las construcciones.

Morteros con base inorgánica	Morteros tradicionales Morteros de cemento Morteros de nueva generación
Morteros con base orgánica	Morteros con base polimérica
Morteros con base mixta	Morteros con cemento y polímero termoestable Morteros con cemento y polímero termoplástico

DISTINTOS TIPOS DE MORTEROS DE REPARACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

(Fuente: Estudio, caracterización y restauración de materiales cerámico).

ESTRUCTURAS DE TIERRA

Desde el comienzo de su historia, la humanidad ha buscado y utilizado los elementos de su entorno que le eran más propicios para su beneficio. La construcción en tierra es uno de los tipos de construcción más antiguos y simultáneamente, uno de los que ha sido más utilizado.

Esta construcción estuvo desacreditada durante mucho tiempo, ya que la arquitectura que ofrecía era considerada humilde y poco estética. Hoy en día, existe un gran sector informal que continúa construyendo sus viviendas en tierra, forzados por circunstancias socioeconómicas adversas. Estas construcciones suelen estar al margen de la ley.

Otro grupo de construcciones de tierra son los monumentos históricos. Ambos tipos de construcción requieren conocimientos específicos, tanto para la utilización de los materiales térreos como para el diagnóstico de sus posibles alteraciones y del tratamiento de las mismas.

Las construcciones de tierra pueden clasificarse en dos grupos: la fabricación de piezas y el empleo directo de la mezcla en la fábrica.

ADOBE: es la pieza más extendida y la más tradicional. Es de proporciones mayores que las fábricas cerámicas, pero depende de las zonas y de las épocas en que se comparen.



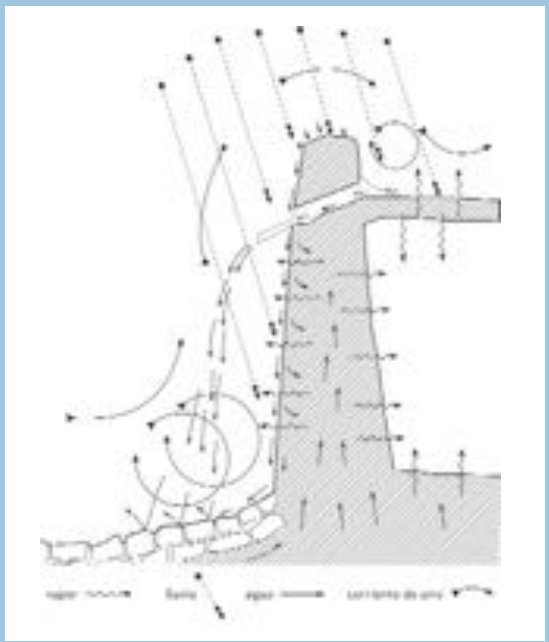
La gran absorción de agua de los muros de tierra provocan el fácil desprendiemiento de los revocos. En la actualidad diversos métodos se están ensayando para mejorar esta carcterística de los elementos téreos.



Si la situación constructiva de los muros de tierra es desfavorable, no tardarán en “lavarse” y desaparecer.

FACTOR	DAÑO
Agua	Cambios de volumen Erosión Desagregación de morteros Fisuras
Ciclos de hielo/deshielo	Erosión de superficie Quiebre de la pieza Enmugrecimiento superficial
Microorganismos	Debilitamiento mecánico Falta de cohesión Pulverización
Plantas superiores	Grietas Desmoronamientos
Falta de mantenimiento	Desagregación de las piezas
Viento	Retracción volumétrica por evaporación de humedad Erosión Grietas y taponamiento

FACTORES DE ALTERACIÓN DE LAS FÁBRICAS DE ARCILLA Y EL DAÑO QUE PRODUCEN



Efectos y movimientos de lluvia y viento en un tapial de tierra.

TAPIAL: es la fábrica de tierra más común, un conglomerado apisonado de tierra y áridos ejecutado entre encofrados o tapias. La gama de piezas que se pueden producir en tierra es amplia.

SOD: son porciones de tierra compacta con césped y raíces en la mezcla. El sod no necesita tratamiento posterior. Los bloques aligerados de tierras estabilizadas con puzolana se fabrican en prensas mecánicas y pertenecen a esta gama de materiales.

La ejecución de las piezas, tanto para los bloques como para los conglomerados, consiste en las siguientes fases:

- **EXTRACCIÓN DE LA TIERRA**
- **SECADO DE LA TIERRA**
- **ALMACENAMIENTO DE LA TIERRA**
- **CRIBADO, TRITURADO Y DOSIFICACIÓN EN SECO**
- **MEZCLADO HÚMEDO Y PUESTA EN FORMA PARA LA GRADILLA, LA PRENSA O LA TAPIA**
- **MOLDEO O APISONADO Y CURADO POSTERIOR**

Las fábricas de piezas de tierras siguen las normas de trabazón de las demás fábricas. Las fábricas de tapial se asemejan a las de hormigón. Las esquinas y huecos de las construcciones se realizan en otros materiales, como ladrillos cerámicos, piedra o madera. Las cumbreras de los muros se rematan con una viga de atado.

FACTORES DE ALTERACIÓN

Todas las fábricas de tierra –ya sean piezas o tapiales– deben cuidarse de las humedades absorbidas por capilaridad, de la erosión mecánica y climática; y deben cuidar especialmente los encuentros de borde con otros materiales.

ACCIÓN DEL AGUA Y DE LA TEMPERATURA: Como para cualquier otro material constructivo, el agua representa el peligro mayor para los materiales térreos. Una falta de drenaje adecuado hacia el exterior, una mala compactación o dosificación y las posibles retracciones que sufren estos elementos, provocan la apertura de fisuras.

Estas fisuras aumentan ostensiblemente la agresividad del agua en los materiales de tierra. Los efectos de la penetración del agua son múltiples. Cambios de volumen, erosión y desagregación y destrucción de morteros. Cualquiera de estos factores que provocan fisuras en las fábricas las condena a la acción del agua desde el interior de las mismas.

Los cambios de temperatura pueden genera también problemas de superficie en las fábricas de tierra. Los ciclos de hielo-deshielo afectan menos a las fábricas de tierra que a las de otros materiales.

Sin embargo, la erosión de superficie se puede dar por la acción de las heladas. La posibilidad de formación de cristales de hielo se da en zonas donde las condiciones de saturación por humedad son altas. En estas zonas las construcciones de tierra no son muy comunes. De producirse estas circunstancias, las fábricas térreas se quiebran o llevan a la superficie material que se deposita como suciedad.

DAÑOS BIOLÓGICOS:. Tanto si se trata de plantas mayores como de elementos microscópicos, los daños a las fábricas de tierra pueden ser grandes. La intromisión de raíces puede ejercer una fuerza en las fábricas suficiente para quebrarlas por su peso. Los microorganismos pueden penetrar en las construcciones e interponerse en las estructuras de comunicación internas de las fábricas. El efecto que producen es la decadencia y debilitamiento de la estructura. Los ácidos orgánicos producidos por estas bacterias cambian la estructura química de las partículas de arcilla. El resultado es el debilitamiento de la cohesión y la pulverización de la estructura de tierra.









Distintos avances en el deterioro de los muros de tierra. Oquedades, aparición de estructura, pudrición de dinteles, pérdida del aglomerante, porosidad notoria, estrías de lavado.

DAÑOS ANTRÓPICOS: Los mantenimientos defectuosos o nulos en cornisas o cubiertas y las obras de jardinería, pocería o de recubrimientos mal diseñadas o ejecutadas puede llevar a los materiales y fábricas de tierra a la completa desagregación.

La alteración de la arcilla de la tierra reblandece la cohesión y comienza así un proceso de disgregación de las tongadas de tapial y de los bloques.

ACCIÓN DEL VIENTO: El viento puede hacer que el contenido en agua de las fábricas de tierra se evapore, produciendo procesos de retracción volumétrica.

Una estructura de tierra debe tener un contenido de agua de alrededor del 20 % del peso, según las condiciones climáticas en que se encuentre.

La evaporación puede provocar la deposición de sales solubles en las capas de tierra. Las sales solubles rompen los lazos entre las partículas de tierra.

Por otro lado, los procesos de erosión provocados por el viento son importantes para las fábricas de tierra. Las partículas que acarrea el viento en su movimiento dejan su marca en este tipo de construcciones.

Las partículas depositadas en las superficies impregnan de sal a las mismas. En un período corto de tiempo, la base del muro puede romperse y caerse como consecuencia de estos procesos.

Los efectos de erosión dependen de la velocidad de los vientos y de su continuidad. Cuanto más fuertes son, las partículas destructivas que transportan son mayores, ya que impactan en el muro y lo degradan, produciendo grietas y taponamientos de porosidades.

El aire también puede generar la introducción de humedad excesiva en las estructuras de tierra, mediante la redirección de las aguas de lluvia o de rocío.

DIAGNOSIS DE PATOLOGÍAS

La información acerca de la construcción de tierra está contenida en la estructura física de la misma y en los métodos y materiales de su construcción. El investigador debe ser conciente que cada estructura de tierra contiene información relacionada con la época y los métodos constructivos específicos. La utilización de las técnicas de ***FOTOGRAMETRÍA*** y de la ***TECNOLOGÍA LÁSER*** han aumentado las oportunidades de estudiar y diagnosticar las alteraciones que pueden sufrir este tipo de fábricas.

Como en todo proceso de diagnosis, la ***INSPECCIÓN VISUAL*** previa es fundamental. Las variaciones de color de las diferentes arcillas pueden estar hablando de cambios en el pH del suelo, o de pérdidas o ganancias químicas de los materiales.

ESTUDIO DEL ENTORNO: es necesario y fundamental. Se debe observar el paisaje y el tipo de vegetación. Esto es importante para evaluar la presencia de agua y humedades.

ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN: de las fábricas de tierra también es muy importante. Para conocer el tipo de arcilla de la que se componen las fábricas de una construcción térrea, se puede realizar el ***TEST EMERSON***. Se pueden determinar con este tipo de ensayos acuosos los niveles de alcalinidad y acidez de las muestras, la presencia de carbonatos, cloros y sulfatos (estos tres últimos por inmersión en soluciones ácidas hidroclorídricas). El ***TEST DE CARBONIZACIÓN*** puede mostrar la presencia de material orgánico, aunque no su volumen.

ENSAYOS PARA CONOCER LA POROSIDAD, LA DENSIDAD Y EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS: Tanto la porosidad como la densidad de cualquier muestra dependen de su compacidad. El ensayo para conocer estas dos propiedades requiere una muestra con forma geométrica regular, por ejemplo un cilindro o un cubo. Esta muestra se pesa y la densidad se expresa en comparación con el valor equivalente del mismo volumen de agua.

El ensayo constituye un método simple de comparación que sirve para establecer relaciones entre muestras del mismo material y con otros materiales. Por lo tanto, pequeñas variaciones de esta prueba, siempre que se tomen muestras de material con volumen conocido, usando un compactador con resorte para controlar la densidad. Del mismo modo, el peso en seco y el peso saturado se pueden comparar con la capacidad de absorción.

En relación al tamaño de las partículas, este tema constituye uno de los puntos clave que debe ser elucidado por quienes llevan a cabo una diagnosis del material cerámico. Existen ensayos para determinar el tamaño de las partículas del material. El tamizado de material seco en polvo proporciona información inmediata de los porcentajes de tamaños de partículas específicos. La técnica es particularmente útil para arena y cieno.

Las arcillas, sin embargo, al pegarse fácilmente con otras partículas de mayor tamaño, o al formar nódulos del tamaño no se dejan medir tan fácilmente por los métodos convencionales de tamizado. Esto se debe a que quedan atrapadas por las mallas metálicas y por los tamices. De todas maneras, un conjunto de tamices es una pieza fundamental para el investigador de las propiedades y composición de los materiales cerámicos.

Un ensayo sencillo de realizar consiste en aplastar una muestra de material secado al horno y pesado contra un mortero, amasando el material en un medio impermeable hasta que todos los granos obtienen movimiento independiente. Se debe pesar la muestra.

La mezcla corre a través de los engranajes secuenciadamente, lo que permite determinar el porcentaje de peso que pasa cada medida sucesiva. Este método es especialmente útil para la arena gruesa, la arena fina y para el cieno. Se debe comparar luego el peso final total con el peso original. Esto permite confirmar la precisión del procedimiento. Si existiera una pérdida de peso significativa, el ensayo se debe repetir.



Distintos avances en el deterioro de los muros de tierra. Oquedades, aparición de estructura, pudrición de dinteles, pérdida del aglomerante, porosidad notoria, estrías de lavado.

Existe un ensayo de laboratorio que proporciona mayor exactitud en la medición de partículas más finas. Se trata del ensayo por dispersión controlada en el agua, que utiliza ***CALGON*** como dispersante. Para las partículas más finas no medibles por el ensayo del ***CALGON***, se utilizan las técnicas de sedimentación y los análisis con rayos X.

Entre todos los métodos de medición de las partículas, el más simple consiste en introducir una muestra en una solución con exceso de agua y una pequeña cantidad de detergente. Las partículas se deben agitar en un tubo de vidrio y se les debe permitir asentarse, estar suspendidas o flotar, por un período de doce horas. Transcurrido ese tiempo, el material orgánico forma una capa en la superficie.

La mayor parte del agua queda conteniendo las partículas de arcilla todavía en suspensión. Bajo esas partículas se acomodan capas de partículas de arcilla, cieno y arena, con los componentes más grande en el fondo.

Los límites entre cada uno de los tamaños son bastante claros, excepto para las gradaciones de las arenas más finas.

ENSAYOS PARA CONOCER LA POROSIDAD Y LAS PROPIEDADES HÍDRICAS*:* La porosidad y las propiedades hídricas de las arcillas, como ya se ha mencionado, están íntimamente relacionadas. Tanto es así que estudiando una de estas propiedades se obtiene información sobre la otra.

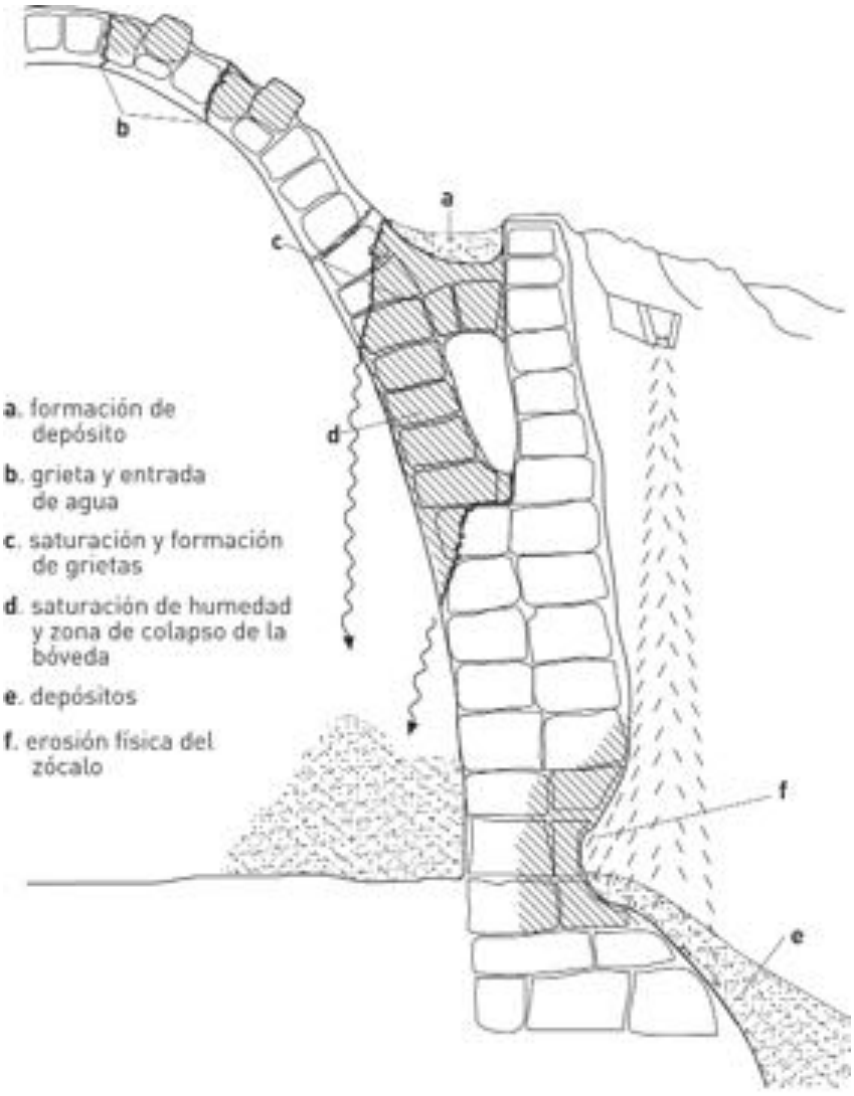
Por ejemplo, la ***POROSIDAD*** puede ser evaluada por una simple ***INSPECCIÓN VISUAL***. La aplicación de gotas de agua –con un tamaño importante– sobre una superficie plana de material seco, muestra la capacidad de absorción de dicho material. Este test o ensayo puede ser llevado a cabo en el lugar o sitio de la construcción que se está evaluando.

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN y ***SUCCIÓN CAPILAR:*** se pueden medir por otro test, específico para este propósito. La prueba consiste en cortar un pequeño cubo del material a evaluar, de unos 30 x 30 mm. Una pieza fina de esponja porosa se debe mantener en una bandeja en condiciones de saturación acuosa completa. Sobre esta pieza se deposita el cubo de material de muestra, completamente seco (secado en el horno) y previamente pesado.

Se debe cubrir todo con algún material impermeable, como por ejemplo una campana de vidrio. El volumen del cubo de material a evaluar ya debe haber sido medido físicamente, o por el manufacturero de la muestra.

El volumen se determina gracias a la medida de la cantidad de líquido que se requiere para llenarlo.

Se deja que la muestra absorba líquido hasta la saturación, para luego ser pesado. Se obtiene así información básica de la capacidad de absorción del material cerámico que se quiere diagnosticar. El agua se absorbe por acción de la succión capilar.



Típicos fallos en construcciones a base de tierra sin refuerzos leñosos.

En el punto de saturación, la muestra colapsa bajo una vibración leve. Si no colapsa, el material ha sido suficientemente consolidado por procesos naturales o sintéticos. Es esta la razón por la que este tipo de ensayos son muy útiles para efectuar la diagnosis y las pruebas de tratamiento a los materiales cerámicos.

Si se quiere obtener un resultado de precisión para conocer la porosidad exacta, se reemplaza la base de esponja por un material textil, para que la cantidad de agua introducida sea mínima.

La muestra se extrae cuidadosamente, se pesa, se seca y se vuelve a pesar. Se debe medir el tiempo transcurrido entre la puesta en posición y el colapso total del material. Una vez que se conoce el peso y el volumen del agua absorbida, se pueden definir los espacios vacíos accesibles al agua en relación con el volumen del material.

Si la muestra no colapsa, se la puede saturar por inmersión y pesar antes de ser secada y vuelta a pesar. Los resultados de este ensayo proporcionan el ***VALOR ABSOLUTO DE LA POROSIDAD*** y un valor comparativo de la capacidad de absorción.

El tiempo necesario para llevar al colapso a varias muestras de idéntico tamaño (pero con variaciones en el material) es un indicador de la absorción comparativa.

Además, el peso del agua que ha sido eliminada durante el secado se puede convertir a medidas de volumen, que puede ser expresado como un porcentaje del volumen total. Así, esta medida habla del espacio poroso disponible.

Sin embargo, las medidas que se obtienen por este procedimiento suelen ser menores a las que arroja el valor absoluto de porosidad. Esto se debe a la retensión de aire en la muestra colapsada. La diferencia es pequeña entre las dos medidas, por lo que son válidas ambas.

Los análisis por ***INMERSIÓN DE MERCURIO*** están casi en desuso para este tipo de material constructivo. Se lo ha reemplazado por otro análisis de laboratorio de ***DESPLAZAMIENTO GASEOSO***. Se puede medir una muestra irregular con este análisis obteniendo un alto nivel de exactitud en condiciones de laboratorio.

ENSAYOS PARA CONOCER LA RESISTENCIA.
Existe un amplio rango de ensayos para evaluar las propiedades físicas de una construcción de materiales cerámicos. Estas pruebas se suelen basar en preceptos comparativos. En general, se comparan muestras con origen conocido o con características conocidas, ya que se las usa como controles.

Uno de los ensayos, por ejemplo, mide la resistencia por extrusión. En una placa se debe realizar un agujero e introducir material en condición plástica.

Esto se hace mediante un gato hidráulico que opera en un cilindro. La presión en el gato da la medida de la resistencia y, más directamente, la medida o duración de la extrusión proyectada horizontalmente por una fuerza cohesiva de la columna, antes de que se rompa, proporciona la medida de la ductilidad y de la cohesión del material.

Si se comparan muestras de capacidad conocida con aquellas con incógnita, los resultados de estos ensayos proporcionan una guía útil para trabajar.

Parte de los objetivos de estos ensayos es determinar con límites amplios de tolerancia la conveniencia de la utilización de mezclas en reparaciones e intervenciones, además del objetivo general de entender y definir las características físicas de compatibilidad.

Otro ensayo muy utilizado industrialmente se sirve de un cilindro de arcilla en un molde con un pistón.

A esta muestra de material se le agrega progresivamente peso. La deformación de la muestra cilíndrica sin el molde cuando se ve impactada por el pistón es un índice de resistencia.

Los exámenes de penetración tienen una naturaleza similar. Se utilizan como medida estándar de cálculo de la rigidez de muestras maleables.

TRATAMIENTOS

Desde tiempos inmemoriales, se utilizan consolidantes inorgánicos para el tratamiento de las fábricas cerámicas. Estos consolidantes son la cal y el yeso. Especialmente en climas secos, estas mezclas sintéticas se aplican de formas artesanales. Una vez que se coloca, el material sufre una recristalización.

En comparación con el material sin tratar, el que está bajo tratamiento muestra un color final más blanquecino. El yeso es compatible con la cal y los efectos de la cal hidráulica proveen de un producto más suave y maniobrable y con tiempos de aplicación más extendidos. Además, el resultado es un material más duro. Sin embargo, estos productos ocupan el lugar de materiales de consolidación blandos.

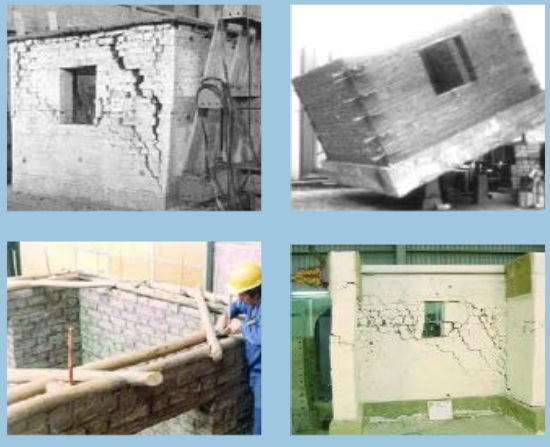
El cemento Pórtland es un material de construcción muy efectivo en la estabilización de los materiales arcillosos. Si bien es muy efectivo, no uso no se encuentra extendido debido a una mala fama injustificada. Existen otros cementos, además del Pórtland, que se pueden usar en la consolidación de fábricas cerámicas.

Sin embargo, los cementos presentan ciertos riesgos en sus reacciones con las fábricas térreas. Su acción se modifica por la presencia de impurezas orgánicas, de ácidos orgánicos, de aceites, azúcares y sales orgánicas e inorgánicas.

En los morteros de cemento y concreto las reacciones que se producen son complejas pero relativamente consistentes. Estas reacciones se basan en la formación de largas cadenas de cristales que se cierras formando una matriz alrededor de la arena, aumentando el volumen de la mezcla.

En las fábricas de arcilla las reacciones son más complejas aún, pero finalmente pueden producir cambios importantes en el color de las mismas.

El cambio de tonalidades se da hacia el gris, y el material que resulta de la mezcla pierde además su flexibilidad. Por último, se pueden producir sales solubles con la utilización de cementos.



Ensayos controlados en laboratorio de muros de adobe tradicional y muros reforzados.

Entre las ventajas del uso del cemento como consolidante, se puede citar a la considerable reducción en el encogimiento durante su colocación y secado.

Por lo tanto, el uso del cemento Pórtland se debe limitar a fundaciones donde la tierra puede ser saturada, haciendo los capeados de los restos arqueológicos y estructuras similares, donde los morteros de tierra estabilizados con cemento no sufren fluctuaciones de cargas. También es útil para componentes portantes.

Los materiales orgánicos, como las resinas, pueden ser compatibles con los cementos y aumentar su efectividad. Como los yesos, cales y cementos llegan al sitio de la construcción bajo tratamiento como polvo insoluble, no pueden ser transportadas por un disolvente hacia el interior del material. Por lo tanto, se los suele mezclar con arcillas crudas pulverizadas y luego se los humedece.

Otro tipo de consolidantes inorgánicos pertenecen todavía al ámbito de la experimentación. Las pruebas que se realizan en laboratorio tienen buenos resultados, pero falta aún una cantidad de investigaciones que posibiliten su uso en las construcciones a reparar.

Entre estos consolidantes inorgánicos se pueden encontrar a los carbonatos de calcio precipitados en forma de cristales, mediante la utilización de dióxido de carbono y vapor de agua produciendo la carbonatación.

Los silicatos, también mediante los estudios de la química de cristalización, se muestras capaces de producir rangos complejos de componentes con cationes múltiples de metales reactivos como potasio, calcio, aluminio y, ocasionalmente, magnesio. Los experimentos que utilizan silicato de potasio están dando buenos resultados.

En cuanto a los consolidantes orgánicos, los más conocidos son las resinas y aceites naturales. Este tipo de consolidantes tienen buenos resultados, que además se constatan de larga duración. Tienen un defecto fundamental, que es la decoloración de las arcillas, además de un defecto secundario de contener cadenas de moléculas viscosas.

Esto último hace que la introducción de estos consolidantes en las fábricas de arcilla sea muy difícil, y en algunas circunstancias casi imposible. Sin embargo, al ser solubles en hidrocarbonos y presentar mayor fluidez a temperaturas ambientes, se puede realizar su preparación.

Dentro de las resinas, existen los consolidantes de resinas naturales y los de resinas sintéticas. Éstas últimas son las más usadas y las más estudiadas. Una dificultad que presentan las resinas sintéticas es que el proceso de polimerización que le confiere muchas de sus características útiles, también hace que sus moléculas sean demasiado grandes para poder penetrar en los poros más pequeños de las arcillas compactas.

Por esta razón, se la debe introducir en su condición mínima, es decir, como un monómero. Esto permite a sus componentes ligarse para formar un polímero en sus posiciones finales. Un monómero que ha sido polimerizado es el metil-metacrilato polimerizado por benzol peróxido.

La elección de la resina que se va a utilizar es un proceso delicado. Muchas de las fallas de los procesos de consolidación se pueden atribuir al envejecimiento, a la exposición al ataque biológico, a los solventes y a los efectos de los rayos ultravioletas.

Por lo tanto, el conocimiento de las condiciones ambientales y de los materiales bajo tratamiento es indispensable. Las resinas sintéticas más utilizadas son las parafinas y las ceras microcristalinas.

Los materiales silicoorgánicos o mixtos poseen una base de cadena de silicona, constituida por átomos de silicio y oxígeno. A esta cadena se encuentran unidos radicales de naturaleza orgánica (a esto se debe su denominación de “mixtos”).

Los materiales más utilizados son los del grupo de las siliconas, especialmente los silanos. Los silanos se utilizan mezclados con otras resinas sintéticas. Este tipo de resinas presenta propiedades hidrófugas, por lo que además de consolidar sirven en el proceso de protección. En general, los productos silicoorgánicos son fáciles de aplicar porque tienen un solo componente.

Además, no colman los poros o fisuras de la fábrica y no impiden la difusión del vapor de agua. No suelen modificar el color y el brillo y presentan una buena penetración. Asimismo, los productos silicoorgánicos no generan productos secundarios y reportan una resistencia adicional a la fábrica.

En relación con los disolventes encargados de transportar el consolidante al interior de la fábrica, se puede decir que el agua es el más poderoso. Además, el agua es un portador eficaz del material en emulsión.

Sin embargo, en el tratamiento de fábricas arcillosas, es absorbida por su penetración en las capas intermedias. Por esta razón, se suelen utilizar como disolventes las bases no acuosas del grupo de los hidrocarbonos (parafinas y alcoholes minerales).

Entre estos disolventes se pueden mencionar a las acetonas y a las mezclas de silano[xileno] y tolueno. Muchos de estos disolventes necesitan ser mezclados. El alcohol etílico, por ejemplo, todavía no puede ser usado sin estar mezclado con agua.

Como la mayoría de los disolventes que se comercializan en la actualidad son mezclas, el material bajo tratamiento debe ser tolerante con todos sus componentes. Aquí también la correcta caracterización del material en la etapa de diagnosis se muestra indispensable.

Los métodos de aplicación de los compuestos sintético-orgánicos, cuando estos se disuelven en líquidos solventes, son cuatro.

El primero consiste en introducir y distribuir el material y el disolvente en el seno de la fábrica mediante el agitado físico. La desventaja de este método es que produce la destrucción de la estructura histórica del material bajo tratamiento.

El segundo procedimiento se realiza por la introducción del compuesto como emulsión en agua. El líquido penetra por acción capilar sin deformar la fábrica (como sí sucede con el primer método).

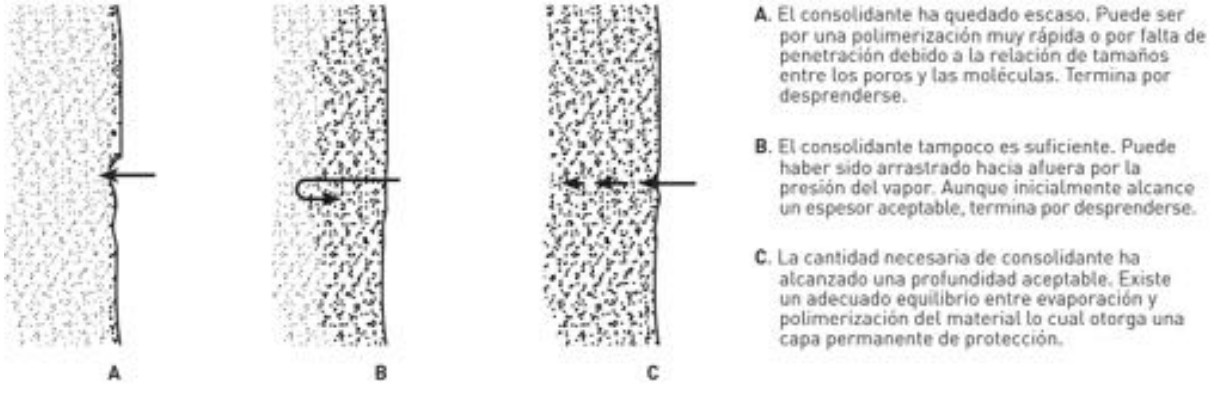
La profundidad de penetración es limitada y se corre el riesgo de producir estratificaciones. El tercer método es la mezcla del compuesto con un líquido orgánico. Como el agua, este tipo de soluciones se evapora en la atmósfera.

Esto deja que el consolidante encuentre su posición adecuada. La densidad y profundidad de la deposición están determinadas por el número de aplicaciones que se realice, por la penetración que muestre la solución líquida y por la relación del tamaño de las moléculas con el tamaño de los poros.

El cuarto método de aplicación implica el proceso de inyección. Esta técnica sólo es aplicable en la introducción de adhesivos o rellenos en las zonas de desagregación o de debilidad estructural alta.

Esta cuarta técnica es esencialmente una técnica de museo. Un método no tan sofisticado es la introducción, por el método que sea, de material diseñado para cambiar en la estructura de la fábrica.

El cambio puede generarse por oxigenación, por reacción con agua, por aplicación de rayos ultravioletas o simplemente por envejecimiento.



Consolidación de muros de tierra a base de consolidantes poliméricos.

BIBLIOGRAFÍA

Arquitectura sin fisuras. *Josep María Adell Argilés. Munilla-Lería. Madrid, 2000.*

Congreso Internacional sobre restauración del ladrillo. *AA.VV. Instituto Español de Arquitectos. Universidad de Valladolid. Valladoli, 2000.*

Conservation of earth structures. *John Warren. Butterworth-Heinemann. Oxford, 1993.*

Corrosión y degradación de materiales. *Enrique Otero Huertas. Ed. Síntesis. Madrid, 1997.*

Els Materials Cerámics en la Construcció.

Estudio, caracterización y restauración de materiales cerámicos. *Vicente Flores Alés. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Sevilla, 1999.*

Introducció a la ciència dels materials de construcció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8,31. Barcelona, 1995.*

La obra de fábrica y su patología. *Ortega Andrade. Colegio de Arquitectos de Canarias. Las Palmas, 1999.*

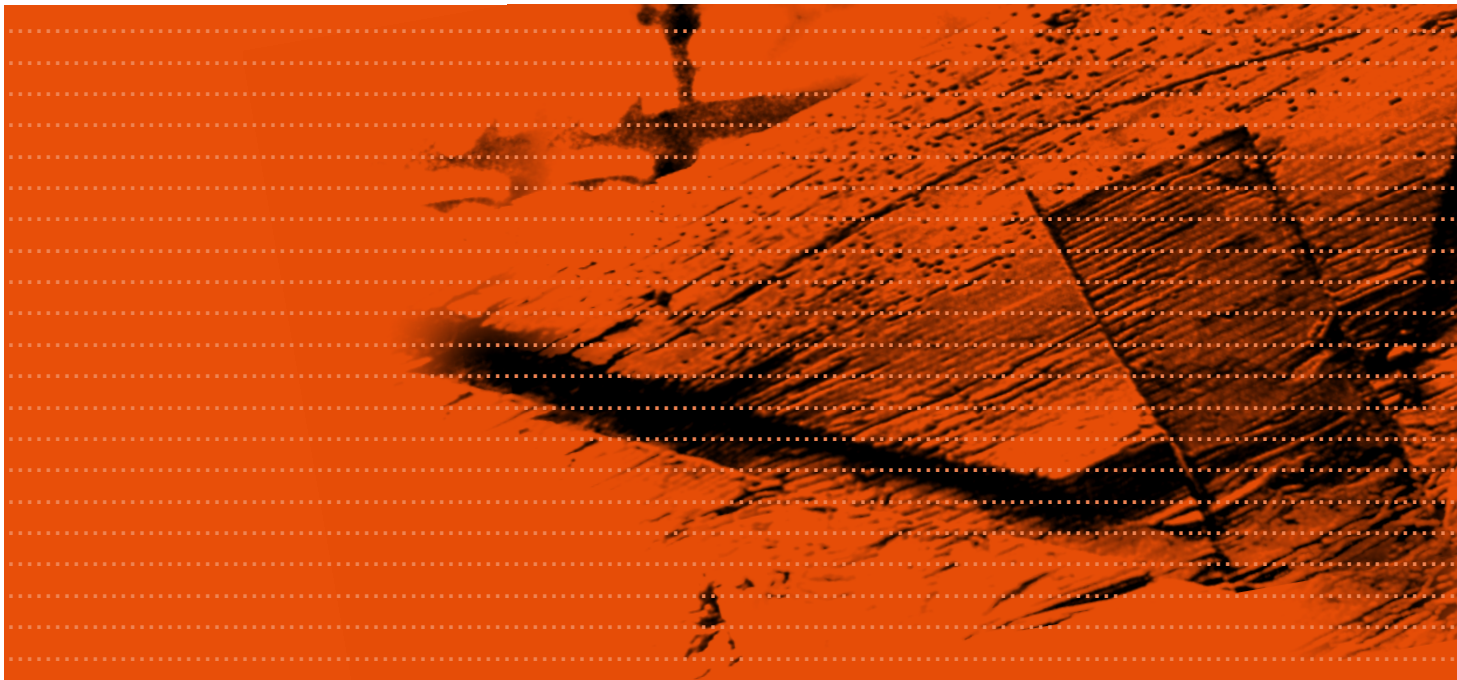
Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 1997.*

Manual de la pintura en la construcción (3º Ed.). *Juan García Castán. ANSPI. Federación Nacional de Empresarios Pintores. Barcelona, 1996.*

Prevention of Premature Staining of New Buidings. *Phil Parham. E & FN SPON. London, 1997.*

Informes de la Construcción Nº 464. *Patología, diagnóstico y recuperación de chimeneas industriales de fábrica de ladrillos. Díaz Gómez-Gumé Esteve. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Materiales de Construcción Nº 260. *Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción. Rincón-Romero. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*



PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DE LA MADERA

NATURALEZA Y CONSTITUCIÓN.....195
CAUSAS DE ALTERACIÓN Y DEGRADACIÓN.....211
PROTECCIÓN.....239
LA DIAGNÓSIS.....261
TRATAMIENTOS CURATIVOS.....275

PATOLOGÍA DE LA MADERA

NATURALEZA Y CONSTITUCIÓN DE LA MADERA 195

COMPORTAMIENTO ANTE LAS AGRESIONES QUÍMICAS 199

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA MADERA 200

TABLEROS DE MADERA 202

EL CORCHO 209

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA MADERA 211

INTRODUCCIÓN A LOS AGENTES PATOLÓGICOS DE LA MADERA 211

CAUSAS CONGÉNITAS (antes de su uso) 213

DEFECTOS Y ALTERACIONES DE CRECIMIENTO

SECADO

CAUSAS ADQUIRIDAS (después de su uso) 218

A. AGENTES ABIÓTICOS

Comportamiento frente al agua, Deformabilidad, Envejecimiento, El fuego, Comportamiento

B. AGENTES BIÓTICOS

Los hongos de la madera, Descripción de hongos cromógenos y de pudrición, Los insectos xilófagos, Identificación de xilófagos

PROTECCIÓN DE LA MADERA 239

FACTORES INCIDENTES EN LA PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN

TRATAMIENTOS PROTECTORES

MÉTODOS PREVENTIVOS 243

Algunas definiciones sobre los protectores químicos

Tratamientos con madera húmeda

Tratamientos con madera seca

Procesos sin autoclave

Procesos con autoclave

Grados de protección de la madera

Los protectores químicos

REGLAS DE CARÁCTER PREVENTIVO A NIVEL GENERAL 253

MÉTODOS CURATIVOS 258

LA DIAGNOSIS 261

EQUIPO DE INSPECCIÓN 261

CLASIFICACIONES BIOLÓGICAS 262

TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA 275

FASES DE LOS TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA 275

ERRADICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS 282

ERRADICACIÓN DE LAS PUDRICIONES 283

BIBLIOGRAFÍA 284

NATURALEZA Y CONSTITUCIÓN DE LA MADERA

En este apartado analizaremos diversas patologías que pueden afectar a la madera no como elemento constructivo que cumple una función –estructura, revestimiento, carpintería– sino como material propiamente dicho.

Tras una breve descripción de la misma y sus productos derivados comentaremos las fases de detección, diagnosis y tratamiento de cada uno de los procesos patológicos posibles.

Se pueden distinguir dos clases de madera, en relación con su estructura, que se agrupan bajo la denominación de ***GIMNOSPERMAS*** y ***ANGIOSPERMAS***. Las primeras –coníferas o resinosas– son de hoja perenne, crecen en la zona norte de clima templado y suministran la mayor parte de la madera utilizada en construcción.

Por su parte, las segundas –frondosas o caducifolias–, si bien en su composición básica cualitativamente presentan los mismos elementos, la diferencia fundamental en su estructura celular radica en la ausencia o presencia, respectivamente, de unas células denominadas vasos especializadas en el transporte de la savia.

Las angiospermas son las de madera más densa, resistente y durable y se utilizan sobre todo en ebanistería.

A escala microscópica, en un corte transversal del tronco de un árbol se pueden diferenciar a simple vista la corteza o floema y la madera o xilema.

De afuera hacia adentro, en la corteza se distingue la corteza exterior, que es la piel que protege al árbol del ambiente; el líber o corteza interior por donde circula la savia elaborada por las hojas para alimentar el tronco; y el cambium, capa viva que hace crecer la madera gracias a la mitosis o división de sus células en dos nuevas.

En la madera se destacan los diferentes anillos de crecimiento correspondientes a cada ciclo estacional; los externos son de color más claro y se designan como ***ALBURA***, madera todavía blanda y joven. Cuanto más distanciados se encuentran estos anillos, más rápido es el crecimiento del árbol y, en una misma especie, cuanto más espaciados están, menos densa y resistente es la madera.

La parte interior se conoce como ***DURAMEN***, núcleo muerto y central del árbol, muy lignificado y por consiguiente más oscuro que la albura. En las coníferas el duramen aparece impregnado con resina, mientras que en las frondosas los que más se acumulan son los taninos; a veces, los anillos que corresponden a las primeras edades del árbol vuelven a ser de madera más blanda y peor formada.

No obstante esta diferenciación, existen especies de árboles en los que es muy difícil distinguir entre duramen y albura, ya sea por su juventud o por su propia constitución, como es el caso del abedul, alerce, aliso, tilo y pino oregón. La albura absorbe mejor los productos de tratamiento pero es siempre menos resistente que el duramen, tanto mecánicamente como frente al ataque de hongos e insectos.

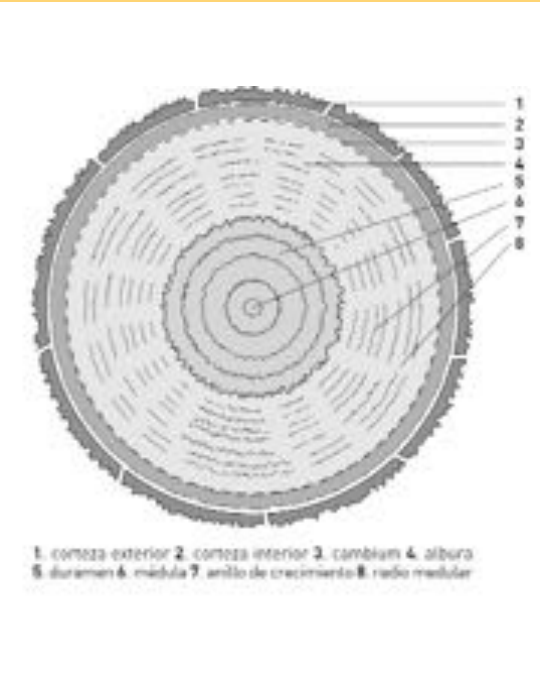
Finalmente, el ***CORAZÓN*** es la zona de madera en el centro del duramen que es vieja, dura y a menudo agrietada.

En el centro del árbol el corazón rodea la ***MÉDULA***, de medida variable ya que es pequeña en el roble y amplia en el sauce.

Las fibras son las principales células de la madera y se sitúan, con preferencia, según la dirección longitudinal del árbol. En las gimnospermas son de tipo traqueidas y las angiospermas son de esclerénquima.

Los poros que se ven como pequeños orificios en un corte transversal del árbol, o como finas estrías en uno longitudinal, constituyen los canales resiníferos en las coníferas y, más específicamente, los vasos en las frondosas.

Los radios están formados por un tipo de células denominado parénquima. Pequeñas, cubicoides y de paredes finas, almacenan sustancias nutritivas y de reserva. Se encuentran en la madera tardía y contribuyen a trabar las fibras, pero su abundancia puede facilitar la hienda de la misma.



Dibujo esquemático de la sección de una estructura leñosa.

A continuación se detallan los componentes primarios de las paredes celulares y, por tanto, de la madera:

- ***CELULOSA***: constituye un 40-50 % de la madera y es un polímero de la glucosa, lineal, polidisperso y fibrilar, por su gran cantidad de puentes de H+ intermoleculares, más o menos cristalizado aunque siempre con un alcance cristalino relativamente corto y con un grado de polimerización del orden de GP= 5.000-10.000.

  Es insípida, incolora e inodora y forma fibrillas claras agrupadas en haces tenaces y resistentes a tracción. Si bien es insoluble en agua –aunque se reblandece– es soluble en sustancias ácidas.

- ***HEMICELULOSA***: constituye el 20-30 % de la madera y es un polímero amorfo y ramificado de diferentes azúcares con un grado de polimerización bajo, del orden de GP= 150-200. Forma parte de la matriz que aglutina a la celulosa y se degrada fácilmente con lejías y sustancias alcalinas.

- ***LIGNINA***: constituye el otro 20-30 % de la madera, es un polímero tridimensional complejo de unidades fenólicas que conforma la matriz oscura y aglutinante de la celulosa. Es insoluble y rígida, por lo que protege e impermeabiliza a las anteriores, y proporciona la resistencia a compresión y a cortante de la madera. Con el tiempo se acumula en las paredes celulares y las hace ganar resistencia en detrimento de su flexibilidad.

El agua es otro de los elementos que compone las estructuras leñosas. En la madera puesta en obra, constituye del 10 al 15 % de su peso y puede estar presente de tres modos diferentes:

- ***AGUA DE CONSTITUCIÓN:*** (4-5 %) se halla combinada químicamente en las moléculas orgánicas de los componentes de la madera, por lo que no se pierde si no es por combustión o descomposición de la misma.

- ***AGUA DE IMPREGNACIÓN:*** –celular o higroscópica– es la que penetra en el interior de las paredes celulares. Provoca movimientos de hinchazón o merma en la madera que se manifiestan en sentido radial o transversal ya que el grosor de la pared celular depende de su contenido de humedad: más ancho cuando está saturada y más delgado cuando se seca. Tiene bastante influencia en las características mecánicas de la madera, pues provoca su reblandecimiento, y se puede captar del vapor ambiental de manera que su contenido tiende a estar en equilibrio con el ambiente.

  Su límite superior marca el punto de saturación de las fibras (PSF), que viene a ser del orden del 25-30 % respecto a la madera seca; en circunstancias normales y en ambientes interiores está en torno al 10-15 % y, en exteriores, al 15-18 % (humedad máxima con la que debe colocarse la madera en obra para minimizar su movilidad, aunque industrialmente puede llegar a secarse por debajo del 10 %).

- ***AGUA DE IMBICIÓN***: capilar o libre, aparece en los canales y vasos de la madera y rellena el vacío interno celular y otros espacios intercelulares. Puede superar el 100 %, especialmente en la madera verde, y es la primera que se elimina cuando seca la madera después de su talado.

PARAMETRO BUSCADO	GIMNOSPERMAS	ANGIOSPERMAS
Follaje	Perenne	Caduco
Anillos de crecimiento	Muy marcadas, fácilmente perceptibles	En general, poco marcados y poco perceptibles
Médula	De pequeño diámetro; más pequeña cuanto más años tiene el árbol	De diámetro variable según las especies
Tejido fibroso	Inexistente	Constituye el esqueleto del árbol
Tejido vascular	Las células que constituyen los vasos hacen de conductores de líquidos y de esqueleto del árbol	Las células que constituyen los vasos transportan los líquidos exclusivamente
Células de nutrición o reserva	Constituyen los redios medulares y canales resiníferos, en general, poco marcados y a menudo imperceptibles	Constituyen los radios medulares y el parénquima, a menudo, muy marcados y fácilmente perceptibles; el parénquima puede presentarse en forma de células aisladas, de cordones o de manchas

CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MADERAS

No puede captarse del aire, sino por contacto de la madera con agua líquida. No influye en los cambios dimensionales de la madera y apenas lo hace en sus características mecánicas; no obstante, sí afecta a su aparente densidad, a su trabajabilidad para la venta y a la sensibilidad frente a hongos xilófagos.

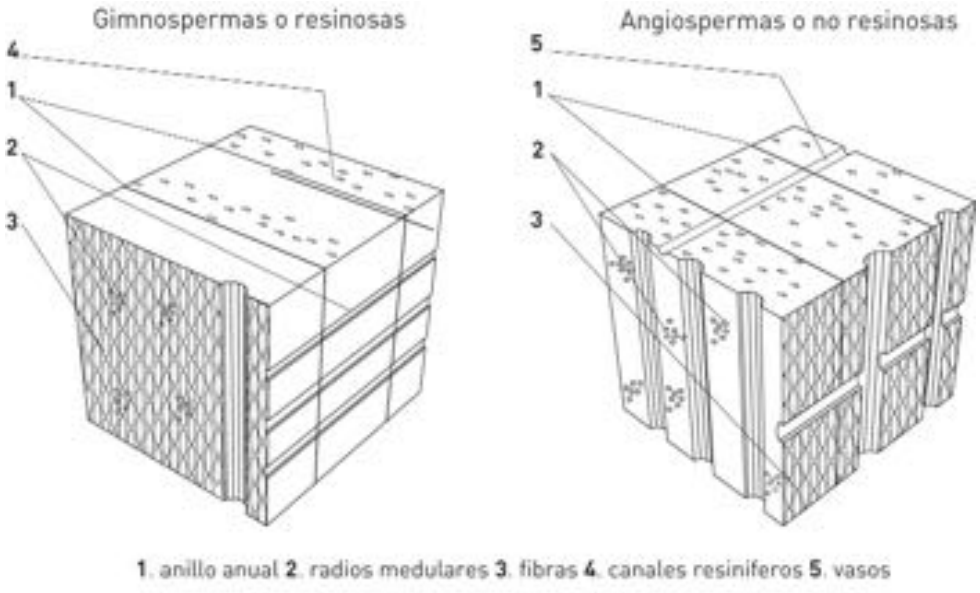
Los componentes extractivos constituyen entre el 5 y el 6 % de la madera y varían en tipo y cantidad según especies. Incluyen sustancias como resina o trementina, taninos o polifenoles, aceites, grasas, ceras, colorantes y otras sustancias gomosas; todos ellos con gran influencia en el olor y toxicidad de la madera, es decir, en su capacidad de resistencia frente a un ataque biológico.

Excluyendo los poros, la densidad real de la madera –relación entre masa y volumen real– es prácticamente igual para todas las especies y ronda los 1.550 kg/m^3.

Sin embargo, la densidad aparente sí varía, siempre en función de la porosidad y el contenido de humedad. La mayoría de las maderas tiene una densidad aparente que varía entre 400 y 850 kg/m^3, siendo por lo tanto más ligera que las piedras (entre 2.000 y 3.200 kg/m^3), los metales (entre 2.600 y 11.300 kg/m^3) y los plásticos (entre 900 y 1.400 kg/m^3).

Entre contenidos de humedad que varían del 5 al 25 %, el peso de la madera puede cambiar aproximadamente un 0,5 % por cada 1 % de variación de la humedad.

En cuanto a los movimientos térmicos, la madera es uno de los materiales menos sensibles a este fenómeno. De hecho, las dilataciones por efecto del calor se combinan con una contracción por la pérdida de humedad que el incremento de la temperatura provoca. El coeficiente de dilatación es de 0,3 a 0,6 x 10^{-4} por ºC en el sentido perpendicular a las fibras y de una décima parte en el sentido axial.



Esquemas de la composición de maderas resinosas y no resinosas.

COMPORTAMIENTO ANTE LAS AGRESIONES QUÍMICAS

Una madera ofrece buena resistencia a las agresiones químicas si coinciden en ella un alto contenido de celulosa y lignina, una baja permeabilidad, fibras bien ordenadas y rectas y mínimos movimientos por cambios en el contenido de humedad.

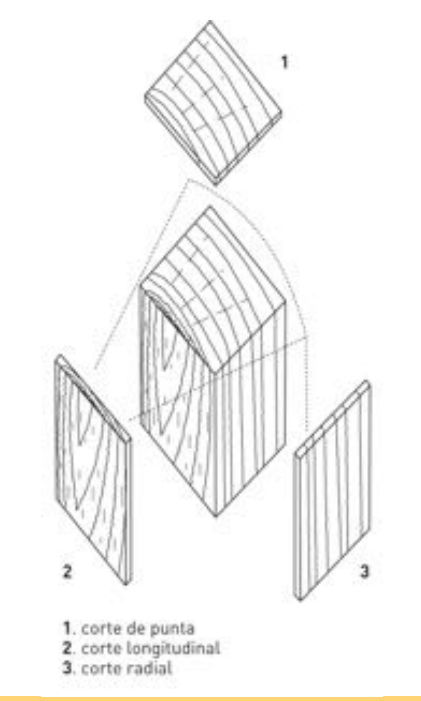
Las maderas tienen buena resistencia a los álcalis y ácidos débiles. Los primeros pueden encontrarse en las colas de caseína y de fenol-formaldehído y los ácidos débiles pueden estar presentes en exceso en la aplicación de resinas sintéticas, en el ácido clorhídrico –que se origina por emanaciones de cloro en las condiciones de humedad de las piscinas cerradas– y en el ácido sulfuroso de los gases en atmósferas contaminadas.

La mayoría de las maderas apenas son ácidas y producen ácido acético en zonas de humedad persistente. El roble, algunas tuyas y pocas especies más contienen sustancias que corroen los metales.

El tanino, en contacto con compuestos ferrosos en condiciones de humedad, puede provocar manchas oscuras. Las maderas que contienen gomas y resinas son difíciles de trabajar y no favorecen las uniones encoladas y algunos acabados.

Los tamines y los azúcares pueden inhibir el agarre del cemento Portland en la fabricación de algunos tableros que los contengan y los aceites de madera, como la teca, deben ser tratados antes de encolarlos o aplicarles acabados.

Si bien la albura contiene un almidón que atrae a los hongos, los taninos y otros fenólicos son tóxicos para ellos y para los insectos.



Esquema del aserrado de un leño.



Viejas vigas de madera flechadas por la pérdida de resistencia mecánica con el paso del tiempo.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA MADERA

La madera presenta una alta relación de resistencia-peso, tanto a compresión como a tracción, y una elasticidad notable. Puede soportar cargas grandes pero lo hace mejor durante lapsos de tiempo cortos, ya que tras periodos más prolongados pueden aparecer deformaciones importantes.

Por lo general, la resistencia aumenta con la densidad –en particular en una misma especie– y, en consecuencia, la resistencia mengua si el contenido de humedad sube. La temperatura, sin embargo, no tiene casi ninguna influencia ya que incrementos de 1 ºC reducen las resistencias en alrededor de 0,3 %.

La resistencia mecánica de la madera puede verse afectada o beneficiada ante las siguientes circunstancias:

- **RECTITUD DE LAS FIBRAS.**
- **GRADO DE LIGNIFICACIÓN** diferente entre especies y, en una misma especie, mayor en el duramen que en la albura.
- **CONTENIDO DE HUMEDAD.**

La resistencia a la compresión es máxima cuando el esfuerzo que provoca la tensión es paralelo al eje del tronco y es mínima cuando es perpendicular al mismo. En el primer caso, la ruptura se produce tras una fisuración, un alargamiento longitudinal y giros transversales originados por la separación de las fibras en fajos. En el segundo, el periodo elástico es muy corto y el tiempo de formación plástica es considerable.

La madera, por su estructura fibrosa organizada en fajos, es uno de los pocos materiales que se comportan muy bien frente a los ***ESFUERZOS DE TRACCIÓN***, ante los que presenta una resistencia máxima cuando la dirección de la fuerza es paralela al eje del tronco y una mínima cuando son normales.

Por el contrario, los ***ESFUERZOS DE FLEXIÓN*** originan una zona comprimida y otra traccionada y, entonces, la resistencia es máxima cuando la fuerza se aplica perpendicular al eje del tronco y es mínima cuando incide paralela al mismo.

Los coeficientes de minoración para el cálculo deben estar entre 1/4 y 1/5 para construcciones provisionales poco importantes, y entre 1/6 y 1/7 para estructuras definitivas delicadas o comprometidas.

La madera ofrece un comportamiento excelente cuando sobrepasa su límite elástico por flexión.

Es capaz de deformarse bastante sin que sobrevenga la ruptura, lo que permite obtener importantes curvaturas, por ejemplo en la construcción de muebles, siempre que el material sea joven y poco lignificado, contenga un grado alto de humedad y reciba los tratamientos adecuados.

ESFUERZOS DE CORTE: aparecen si el componente recibe una fuerza en el plano que contiene al eje. Sin embargo, si dicho plano es paralelo la pieza trabaja a deslizamiento. Los coeficientes de minoración se calculan en 1/7 para el esfuerzo a corte y en 1/9 para el deslizamiento.

Con respecto a su desgaste, las maderas se distinguen en:

- **POCO DESGASTABLES, DURAS Y COMPACTAS**: boj, encina, teca y palo de hierro.
- **MEDIANAMENTE DESGASTABLES**: chopo, pino y roble.
- **MUY DESGASTABLES**: fresno y haya.

Es normal que la estructura de la madera, como material natural, presente variados defectos como nudos, bolsas de resina, fibras cortas, reviradas o giradas, señales de ataques de agentes xilófagos o de pudriciones y anillos muy distanciados o demasiado cerca y que incluso tenga un contenido de humedad diferente del normal, todo lo cual puede obligar a disminuir los coeficientes de ruptura utilizados. Ante situaciones de esta índole se han ideado, entre otros recursos, las cotas de calidad y las tablas de minoración en función de los defectos.

La época de tala influye bastante poco en la duración de la madera y las diferencias observadas entre piezas de una misma clase, apeada en verano o en invierno, por lo general pueden ser atribuidas a una proporción distinta de albura y duramen o a que hayan sido puestas en servicio en condiciones diferentes.

Los componentes de la madera que constituyen el alimento de los parásitos intervinientes en su destrucción son, como se ha indicado, la celulosa y la lignina –invariables en la madera a lo largo del año– y las sustancias de reserva, mínimas tras la foliación y máximas al final del periodo de actividad vegetativa. Sólo cuando se trata de defender la madera de los insectos que se alimentan de estas sustancias, se considera la conveniencia de cortarlas una vez finalizada la foliación o dentro del lapso de tiempo en que su pequeño porcentaje las haga inadecuadas como alimento.

TIPO DE MADERA	COMPRESIÓN	TRACCIÓN	FLEXIÓN	ESFUERZO CORTANTE
Pino de Flandes	355	600	500	45
Abeto	436	760	620	40
Caoba	680	1.200		
Fresno	630	725	1.150	72
Abedul	650	400	570	
Faig	530	1.080	800	107
Roble	450	740	650	80
Teca	900	1.100	900	100

RESISTENCIAS DE DIVERSAS ESPECIES DE MADERA. (VALORES SON EN kg/cm^2; HUMEDAD DE LA MADERA: 15 %)

TABLEROS DE MADERA

Los tableros –elementos de superficie considerable y de grueso reducido– son piezas que si se extraen enteras del tronco tienen más posibilidades de padecer deformaciones importantes.

Este problema, sumado a la necesidad de encontrar aplicaciones para la madera sobrante de la conversión, ha llevado a la fabricación de tableros artificiales que, en general, son más ligeros y delgados, más económicos y fácilmente trabajables, menos deformables y más resistentes frente a la humedad, el fuego y el ataque de los xilófagos que los tableros obtenidos directamente del tronco.

TABLEROS CONTRAPLACADOS: están formados por planchas de madera cruzada y unida con adhesivos. Los movimientos de la madera son mínimos y se producen en el sentido de las fibras y si se adhieren un cierto número de capas una sobre otra, de manera que tengan las direcciones de las fibras perpendiculares.

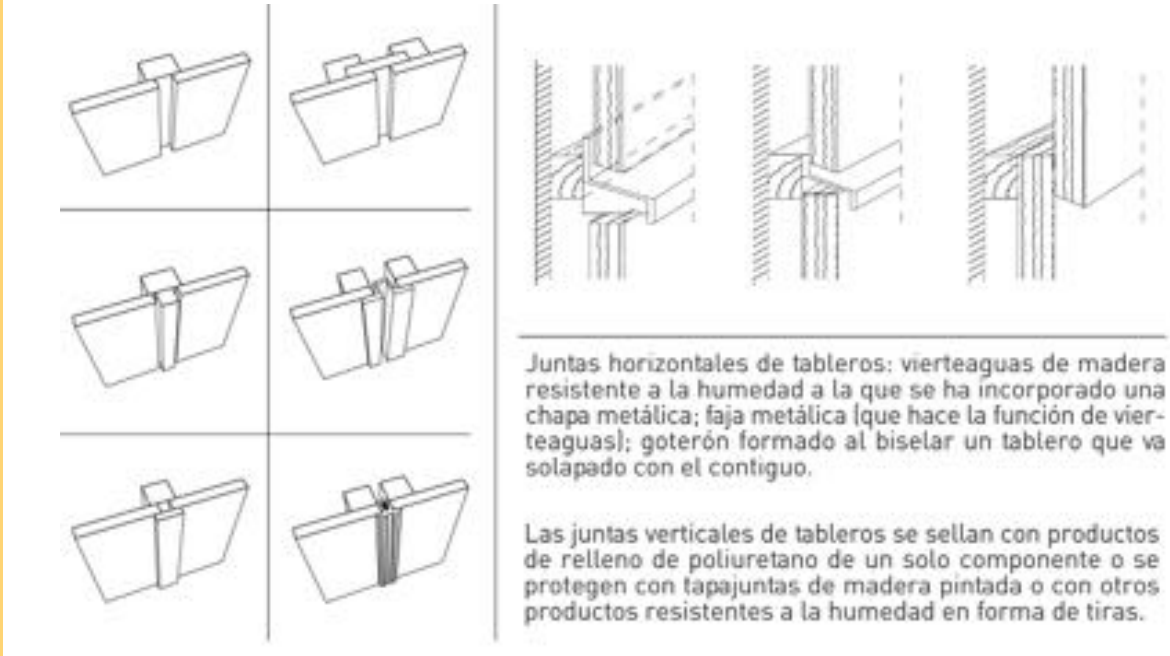
Se obtiene un tablero muy poco deformable, ligero, resistente a la flexión, fácil de trabajar y que puede adoptar diferentes curvaturas.

Puede ser utilizado en aplicaciones estructurales (vigas de perfiles diversos y entrevigas) y es difícil de partir y de rasgar; admite la unión con clavos y tornillos y ofrece una adecuada resistencia a la penetración de sus cabezas.

El comportamiento al fuego –si se lo impregna o reviste de productos ignífugos– puede ser mejor que el de las maderas que lo componen.

La durabilidad de estos tableros está ligada al tipo de adhesivo empleado. Si han de ir colocados en el interior el adhesivo puede ser caseína, de soja y colas de animales o de resinas sintéticas mezcladas con otras sustancias.

Para el exterior solamente se utilizan resinas sintéticas que incluyen la urea, la melamina y el formaldehído fenólico y maderas tratadas con fungicidas e insecticidas.



Juntas verticales y horizontales entre tableros.

GINMOSPERMAS

Nombre común	Nombre en latín	Color	Origen	Durabilidad / Resistencia a la impregnación	Densidad	Textura	Trabajabilidad	Usos	Costo	Notas
Abet	Abies albá	Entre marrón y rosado	Europa Asia	No durable Resistente	Baja	Fina	Buena	E, CE, CI, PDS, R	Bajo	Con la misma denominación latina se incluyen una considerable cantidad de pinos que proporcionan maderas excelentes, si bien con variaciones en la textura, densidad, número y medida de los nudos.
Melis	Pinus palustris	Marrón rojizo	U.S.A. Europa	Medianamente durable medianamente resistente	Alta	Fina	Buena Buena	E, CE, CI, PDN	Medio	Muy resinosa. No acepta fácilmente la pintura. Anillos muy marcados y a veces sin nudos. Resistente a los insectos y a la humedad.
Pino rojo Pino de Flandes	Pinus sylvestris	Marrón rosado	Europa	No durable Resistente	Mediana	Fina	Buena	E, CE, CI, PDS	Bajo	Vetas muy marcadas. Albura poco diferenciada. Fácil de trabajar. A menudo contiene bolsas de resina y numerosos nudos. Puede sufrir el ataque de hongos y de la humedad.
Pino de Oregón	Pseudo suga douglasii	Marrón claro rojizo	U.S.A. Canadá	Medianamente durable Resistente	Mediana	Fina	Buena	E, CE, CI, PDS	Medio	Fibra ligeramente horcada. Anillos muy finos y próximos. Estable a los cambios de humedad. Horca resinosa y de gran calidad.

Referencias

Densidad
Baja: 320-480 kg/m^3
Mediana: 480-640 kg/m^3
Alta: 640-800 kg/m^3
Muy alta: 800-1040 kg/m^3
Extremadamente alta: más de 1040 kg/m^3

Usos
E:Estructuras / CE: Carpintería exterior / CI: Carpontería interior / M: Muebles / PDS: Pavimento doméstico suave / PDN: Pavimento doméstico normal / PIS: Pavimento industrial suave / PID: Pavimento industrial duro / R:Revestimiento

CARACTERÍSTICAS DE LAS GIMNOSPERMAS

ANGIOSPERMAS

Nombre común	Nombre en latín	Color	Origen	Durabilidad / Resistencia a la impregnación	Densidad	Textura	Trabajabilidad	Usos	Costo	Notas
Fresno	Fraxinus excelsior	Claro	Europa	No durable Medianamente resistente	Alta	Tosca	Buena	CI, M, R	Medio	Dura y flexible, indicada para muebles curvados y barras. Anillos amplios y a menudo visibles. Poco deformable. Atacable por hongos
Abedul	Betula	Claro	Europa	No durable Permeable	Alta	Fina	Buena	CI, M, R, PDS	Bajo	Flexible y curvable
Haya	Fagus sylvatica	Marrón claro	Europa Japón	No durable Permeable	Alta	Fina	Buena	CI, M, R, PDN, PSI	Medio	Se alabea por la humedad. Fácil de curvar al vapor, y de esta manera se vuelve de color rosa. Se ven los radios medulares. Atacable por escarabajos
Castaño	Castanea sativa	Marrón claro	Europa	Durable Medianamente resistente	Media	Poco fina	Buena	CI, R, PDN	Medio	El color y la textura son parecidos a los del roble. Es manchado por elementos de fundición. Curvable y muy trabajable
Roble	Quercus robur	Marrón claro	Europa América Japón	Durable Medianamente resistente	Alta	Tosca	Mediana	CE, CI, M, PDN, R	Medio	Es manchado por elementos de fundición. Atacable por el Lyctus
Teca	Tectona grandis	Marrón claro	Tailandia	Bastante durable Medianamente resistente	Alta	Poco fina	Mediana	CE, CI, M, R	Alto	Contiene aceite lo cual lo hace muy durable
Nogal	Juglans regia	Marrón variable	Europa	Medianamente durable Resistente	Alta	Poco fina	Mediana	CI, M, R	Alto	Presenta variaciones considerables de color. Muy decorativa. Muy bien para pulir. Se pica fácilmente
Paduc	Pterocarpus soyauxii	Marrón y rojo	Asia Africa	Bastante durable Resistente	Alta	Gruesa Poco fina	Difícil	CE, CI. M, R	Alto	Se oscurece con el aire. Imputrecible y resistente a los ataques xilófagos

Referencias

Densidad
Baja: 320-480 kg/m^3
Mediana: 480-640 kg/m^3
Alta: 640-800 kg/m^3
Muy alta: 800-1040 kg/m^3
Extremadamente alta: más de 1040 kg/m^3

Usos
E:Estructuras / CE: Carpintería exterior / CI: Carpontería interior / M: Muebles / PDS: Pavimento doméstico suave / PDN: Pavimento doméstico normal / PIS: Pavimento industrial suave / PID: Pavimento industrial duro / R:Revestimiento

CARACTERÍSTICAS DE LAS ANGIOSPERMAS

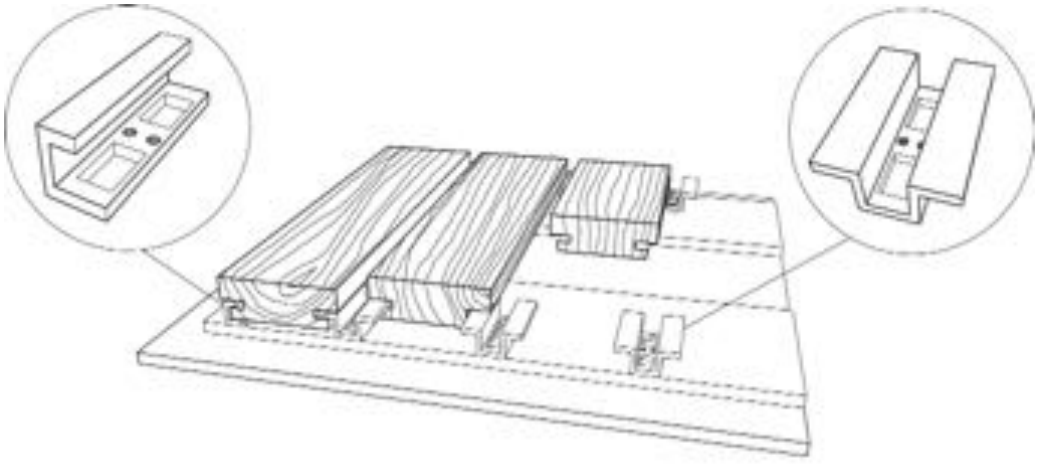
TABLEROS AGLOMERADOS: son aquellos que se logran con partículas de madera u otras sustancias celulósicas y fibrosas, unidas con resinas sintéticas o cemento.

Los de partículas aglomeradas con resinas sintéticas se utilizan principalmente en la fabricación de muebles de taller o bien, entre otras aplicaciones, para encastrar en la obra, para mamparas divisorias y para formar los planos inclinados de las cubiertas y obtener encofrados.

La rigidez y la resistencia mecánica aumentan en general con la densidad, que en estos tableros varía de 450 a 800 kg/m³. El contenido de humedad de los tableros recién fabricados es del 7 al 13 % y los movimientos debidos a esta causa, aunque sean higroscópicos, son muy pequeños.

Sin embargo, se pueden presentar distorsiones si:

- **SUFREN TENSIONES DEFORMADORAS** mientras permanecen húmedos.
- **LA HUMEDAD ES DIFERENTE PARA CADA CARA**.
- **SE HA REVESTIDO UNA SOLA CARA** y, por consiguiente, no se encuentran equilibradas ambas caras.
- **FUERON PROTEGIDAS DE LA HUMEDAD LAS SUPERFICIES PERO NO LOS CANTOS**, razón por la cual aparecen hinchazones y protuberancias en los recubrimientos.



Apoyo de las tablas que consiste en rastreles metálicos que encajan en ranurados de los cantos. Los rastreles descansan en travesaños de madera tratada, dejando la correspondiente cámara de aire.

Es conveniente que los tableros permanezcan en la obra un tiempo antes de ser ajustados de manera que se vayan acomodando a la humedad ambiental.

La resistencia a la humedad no es total, ni siquiera en aquellos tableros que se distribuyen como resistentes a la misma y es aconsejable que no se coloquen en sitios donde persiste la humedad por largos periodos.

La resistencia a los insectos sí es total, y con respecto a los hongos es buena a menos que los tableros queden en condiciones permanentes de humedad por sobre un 20 %.

En lo referente al fuego es similar a la de la madera para aquellos tableros no recubiertos o no tratados con sustancias retardantes.

Los movimientos térmicos no son significantes y no afectan las propiedades resistentes. La resistencia mecánica y la rigidez dependen del tipo de tablero y del grueso.

Pueden tener tendencia a deformarse progresivamente bajo fuertes cargas permanentes y con mayor intensidad cuanto más alto sea el contenido de humedad.

Por lo general la unión de los revestimientos a los tableros se hace con adhesivos de resina de urea formol en el taller y con colas de contacto en la obra.

Es preferible no utilizar colas de productos de animal que contengan agua y, en cualquier caso, se ha de mantener el equilibrio necesario revistiendo ambas caras.

Para evitar que se generen curvaturas excesivas se deben utilizar tableros que tengan entre 18 y 38 mm de grueso –según la carga a recibir– considerando, naturalmente, la separación de los soportes.

En la formación de cubiertas se escogen aquellos que ofrezcan una mejor resistencia a la humedad y que traigan incorporado algún fungicida.

Y, con respecto a los tableros de partículas aglomeradas con cemento Portland, se ha de considerar que son más densos y resistentes a los insectos y menos combustibles que los fabricados con resinas.

Incluso son más pesados y ofrecen menos resistencia mecánica y al impacto, pero se adecuan mejor para la formación de cubiertas por su mayor durabilidad en condiciones húmedas y porque su alcalinidad dificulta el desarrollo de los hongos.

TABLEROS DE FIBRAS: se obtienen de la mezcla de fibras de madera u otros vegetales con un aglomerado o adhesivo.

Las fibras de la madera quedan unidas formando fajos mediante la lignina, un adhesivo natural, que puede licuarse con vapor de agua, reaccionar con la celulosa y dar origen a una resina sintética y termoplástica con diversas aplicaciones.

TROPICALES

Nombre común	Nombre en latín	Color	Origen	Durabilidad / Resistencia a la impregnación	Densidad	Textura	Trabajabilidad	Usos	Costo	Notas
Ocumé	Aucoumea llaineana	Rosa salmón	Africa	No durable Medianamente resistente	Baja	Poco fina	Mediana -baja	R	Bajo	Se oscurece paulatinamente al aire y al final es muy oscura. Al aserrarla produce un repelo que dificulta el barnizado.
Iroc	Chlorophora excelsia	Marrón oscuro	Africa	Bastante durable Extraordinariamente resistente	Alta	Poco fina	Mediana -baja	CE, CI, R, PDN	Medio	Durable, resistente a la intemperie y a los parásitos pero la alternancia de humedad la agrieta, por contener depósitos minerales que llenan los vasos. Aceitosa, rechaza algunas pinturas (grasosas o derivadas del petróleo)
Tiama	Entandrophragma angolense	Marrón rojizo	Africa	Medianamente durable Extraordinariamente resistente	Media	Poco fina	Mediana	CE, CI, R, M, PDS	Medio	Poros muy abiertos. A menudo tiene un contrapelo considrable que dificulta el acabado y el pulido. Resistente a los insectos pero no a la alternancia de humedad-sequedad
Sapel.li	Entandrophragma cylindrum	Marrón rojizo	Africa	Medianamente durable Resistente	Media	Fina Mediana	Buena	CE, CI, M, R, PDN	Medio	Reflejos tangenciales cuando se la corta según la veta. Anillos visibles. Oscurece con el calor. Resistente y con poca retracción. Admite colas, barnices y pinturas. Soporta bien la humedad.

Referencias

Densidad

Baja: 320-480 kg/m^3

Mediana: 480-640 kg/m^3

Alta: 640-800 kg/m^3

Muy alta: 800-1040 kg/m^3

Extremadamente alta: más de 1040 kg/m^3

Usos

E:Estructuras / CE: Carpintería exterior / CI: Carpintería interior / M: Muebles / PDS: Pavimento doméstico suave / PDN: Pavimento doméstico normal / PIS: Pavimento industrial suave / PID: Pavimento industrial duro / R:Revestimiento

CARACTERÍSTICAS DE LAS MADERAS TROPICALES

TROPICALES

Nombre común	Nombre en latín	Color	Origen	Durabilidad / Resistencia a la impregnación	Densidad	Textura	Trabajabilidad	Usos	Costo	Notas
Samanguila	Khaya ivorensis	Marrón rojizo	Africa	Medianamente durable Extraordinariamente resistente	Media	Mediana	Mediana	CE,CI, M, R, PDS	Medio	Grandes diferencias entre las variedades. Oscurece al aire. La humedad persistente la ataca y acaba pudriéndola
Pal de ferro	Lophira alata	Marrón oscuro	Africa	Bastante durable Extraordinariamente resistente	Media Alta	Gruesa	Difícil	PID	Medio	Muy densa y dura. Gran retracción al secarse. Es prácticamente imputrecible e inatacable por organismo xilófagos. Resistente al agua de mar
Embero	Lovoa klaineana	Marrón dorado	Africa	Durable Extraordinariamente resistente	Media	Fina	Buena	CI, M, R, PDS	Medio	Repelo muy marcado a menudo. Apreciada en ebanistería y decoración
Manzonia	Mansonia altissima	Gris a tostado	Africa	Durable Extraordinariamente resistente	Media	Fina	Buena	CE, CI, R, PDS	Medio	Al trabajarla produce un polvo irritante. Se aclara si se expone al sol. Poco retráctil y muy estable y elástica
Abura	Mitragyma ciliata	Marrón claro	Africa	No durable Medianamente resistente	Media	Poco fina-fina	Mediana	CI, M, PDS	Bajo	Poco deformable. Atacable por insectos. Hay que someterla a tratamiento apenas se la tala.
Caoba	Swietenia macrophilia	Marrón oscuro	América	Durable Medianamente resistente	Media	Fina	Muy buena	CE, CI, M, R	Muy alto	Oscurece al aire. Resiste la alternancia de humedad-sequedad

Referencias

Densidad

Baja: 320-480 kg/m^3

Mediana: 480-640 kg/m^3

Alta: 640-800 kg/m^3

Muy alta: 800-1040 kg/m^3

Extremadamente alta: más de 1040 kg/m^3

Usos

E:Estructuras / CE: Carpintería exterior / CI: Carpintería interior / M: Muebles / PDS: Pavimento doméstico suave / PDN: Pavimento doméstico normal / PIS: Pavimento industrial suave / PID: Pavimento industrial duro / R:Revestimiento

CARACTERÍSTICAS DE LAS MADERAS TROPICALES

Una de estas aplicaiones es la de constituir nuevamente el adhesivo de las fibras, cuando se colocan no por fajos sino al azar y se someten a un enérgico prensado.

Su densidad va de 350 a 950 kg/m^3, la absorción de humedad es del 30 % a las 24 horas y la dureza Brinell es de 11,5.

La estabilidad volumétrica es buena y la resistencia biológica inmejorable.

Los cambios de humedad relativa del 33 al 90 % provocan movimientos del 0,40 al 0,20 %, relativamente uniformes en sentido longitudinal y transversal.

Tal como se aconseja para tableros aglomerados, en este caso también se recomienda esperar un tiempo en la obra antes de proceder a la colocación definitiva, para que puedan acomodarse a la humedad ambiental.

EL CORCHO

El corcho constituye la parte exterior de la corteza del alcornoque ***(QUERCUS SUBER)***, un árbol perennifolio de hasta 20 m de altura que crece en la región mediterránea occidental y que es sometido a una operación de pelado cada 6 u 8 años.

El corcho está formado por un tejido muy ligero, poroso e impermeable debido a la suberina que impregna las células, esféricas de 2 a 3 μ de diámetro y con burbujas de aire.

El contacto entre células vecinas es tal que no quedan vacíos entre ellas. La densidad es muy baja, del orden de 0,24 kg/dm^3, y la elasticidad es considerable. Su impermeabilidad es total y son muy pocos los líquidos que al atacar pueden traspasarlo. La durabilidad frente al aire y agua es bastante alta.

Con un aislamiento térmico muy elevado, una absorción de sonido notable y una buena estabilidad química, el corcho solamente puede verse perjudicado por los ácidos minerales, las bases alcalinas fuertes y algunos insectos xilófagos que lo pueden atacar si encuentran el alimento necesario.

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA MADERA

AGENTE	DAÑO PRODUCIDO
Abióticos	Fibra retorcida o revirada. Madera entrelazada. Verrugas y lupias.
Factores de crecimiento	Curvatura del tronco. Desviación de fibras. Madera de reacción. Nudos. Fendas. Acebolladuras. Crecimiento anormal
Agentes climáticos	Decoloraciones. Fendas. Merma de facultades mecánicas. Envejecimiento
Fuego	Carbonización. Pérdida de resistencia, pudiendo llegar a la destrucción
Uso mecánico	Fatiga y pérdida de resistencia. Deformación y desgaste por rozamiento
Bióticos	
Bacterias	Alteración de propiedades
Insectos xilófagos	Perforaciones y pérdida de masa. Disminución de resistencia, pudiendo llegar a la destrucción
Xilófagos marinos	Similar al de los insectos
Hongos cromógenos	Cambios de color y ligera pérdida de resistencia. Debilitación de la madera frente a otros ataques
Hongos de pudrición	Descomposición de la madera, con pérdida de peso y resistencia. Alteración de características organolépticas.

AGENTES DE ALTERACIÓN DE LA MADERA

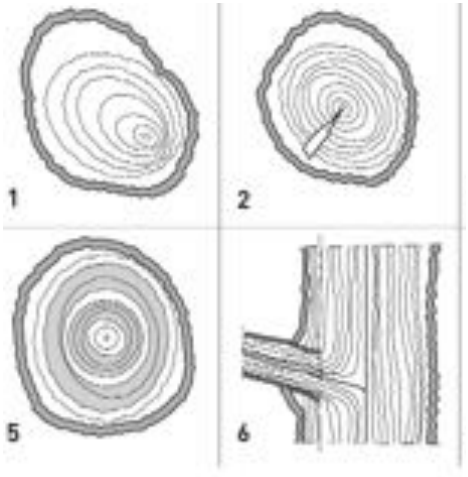
INTRODUCCIÓN A LOS AGENTES PATOLÓGICOS DE LA MADERA

Tradicionalmente se han clasificado los diferentes agentes de alteración de la madera en dos grandes grupos:

- **ABIÓTICOS** o **FISICOQUÍMICOS** y
- **BIÓTICOS** o **BIOLÓGICOS**.

AGENTES ABIÓTICOS: son consecuencia de fenómenos climáticos o meteorológicos como la radiación solar (UV e IR), la humedad ambiental y la lluvia, el viento y las heladas, o de fenómenos más puramente químicos como el contacto con productos o materiales agresivos que puedan deteriorar la estructura de la madera e incluso el fuego, difícil de clasificar como factor físico o químico.

AGENTES BIÓTICOS: normalmente degradan la madera al utilizarla como alimento y por esta razón se designan como xilófagos; no obstante, también hay algunos que sólo se sirven de ella para su morada. Desde organismos elementales como bacterias y hongos hasta los más desarrollados como los roedores, considerando además a los insectos, moluscos y crustáceos, existen varias especies capaces de deteriorar la madera y en general, y sin mayor precisión, se habla de pudrición cuando el ataque es por hongos y de infección cuando es por insectos.





Defectos congénitos de la madera.

En el primer caso, pudrición por presencia de hongos, la madera atacada puede manifestar los siguientes síntomas:

- **PÉRDIDA DE LA RESISTENCIA, ABLANDAMIENTO O DESINTEGRACIÓN DE LA MADERA**, lo que se comprueba con un punzón.
- **SONIDO HUECO O CAMBIO DE SONIDO** similar cuando se golpea la madera.
- **DECOLORACIÓN DE LA MADERA**, que aparece más clara u oscura de lo normal y con frecuencia en forma de setas, costras o chancros.
- **CARACTERÍSTICO OLOR A MOHO.**
- **POSIBLE APARICIÓN DE ALGÚN TIPO DE INSECTO** que infecta a la madera atacada por hongos.

Y, en lo que respecta a los procesos de infección, los síntomas más importantes que ofrece la madera atacada por insectos xilófagos pueden ser:

- **AGUJEROS** en su superficie (es importante observar si los agujeros son recientes o no y si hay serrín en sus proximidades).
- **TÚNELES** cerca de la superficie de la madera.
- **PRESENCIA DE LARVAS O PUPAS** en el interior de las piezas atacadas.
- **IRREGULARIDADES** en la superficie en forma de hundimientos o sopladuras.
- **RUIDOS DE RASCADO** que producen las larvas al roer la madera.

Estos agentes patológicos pueden aparecer tanto en el momento inmediato de la tala del árbol, como durante su estiba, transporte o puesta en obra. De esta manera podemos distinguir dos grupos de causas según el momento de su aparición, que puede ser antes de poner la madera en obra o cuando ya se encuentra en funcionamiento. A estos dos grupos los llamaremos ***CAUSAS CONGÉNITAS*** y ***CAUSAS ADQUIRIDAS***.

CAUSAS CONGÉNITAS (ANTES DE SU USO)

Como indicáramos en el punto anterior, las causas congénitas de la madera son exclusivas de este material y se derivan directamente de la constitución fisicoquímica del mismo.

Se trata de patologías que se pueden encontrar con independencia de la función que tenga la madera en la obra.

Son directas y están íntimamente relacionadas con las tecnologías de plantación, extracción y manipulación de este material.

DEFECTOS Y ALTERACIONES DE CRECIMIENTO

Para que una madera sea buena debe presentar las siguientes características: fibras rectas y uniformes, anillos anuales regulares, olor a fresca, una superficie sedosa al tacto cuando es cortada longitudinalmente y ausencia de fendas, vacíos y manchas.

Si nos hallamos ante una madera con atributos opuestos, puede tratarse de una enfermedad o de un defecto natural de la misma, entendiendo por tal tanto al que se desarrolla en el árbol vivo como el que aparece tras la tala y que puede significar la inutilización de la madera.

Los defectos de crecimiento de la madera son alteraciones en la uniformidad que provoca el ambiente natural donde crece el árbol.

Pueden causar dificultades de trabajo, alabeos y revirados y afectan en especial a la tecnología de su aprovechamiento forestal.

Entre los defectos más importantes que pueden surgir en edificación podemos citar:

- **ACEBOLLADURAS Y COLAINAS**: aberturas curvilíneas entre anillos de crecimiento en la sección perpendicular del tronco.

- **FENDAS**: grietas longitudinales que se abren en la dirección de las fibras.

- **ATRONADURAS**: fendas de helada en dirección radial que, si bien se abren hacia el exterior, pueden recubrirse con el crecimiento.

- **AGALLAS**: bolsas de resina que se hallan con frecuencia en los pinos y que se sitúan entre la madera tardía y la temprana de dos anillos anuales sucesivos. Dificultan el trabajo, el encolado y la protección superficial y pueden provocar que exude la resina, sobre todo en coníferas mal sangradas y si el asoleamiento favorece el aumento de temperatura en la superficie de la madera. Este defecto es más usual en piezas colocadas verdes o húmedas.

- **CRECIMIENTO IRREGULAR**, por lo general por hallarse en terrenos o posiciones inadecuadas, que provoca excentricidad y exceso de fibras, entre otros defectos.

- **CORAZÓN PARTIDO**, estrellado o abierto, consistente en grietas radiales que afectan al corazón y a la albura a causa de la desecación.

- **ENTRECORTEZA** o **ENTRECASCO** formada por la inclusión de corteza en el tronco del árbol al unírsele una rama durante el crecimiento.

- **DOBLE ALBURA**: se trata de la capa de albura que aparece dentro del duramen tras un período de frío intenso que impidió su transformación en duramen.

- **EXCENTRICIDAD DE CORAZÓN**: crecimiento radial no uniforme que provoca diferente anchura de los anillos anuales según los sectores del tronco de los árboles situados en pendientes o cerca de rocas.

- **FIBRA DIAGONAL**: es un defecto de labra que supone una dirección longitudinal de corte desviada de la fibra.

- **FIBRA ENTRELAZADA O TORCIDA**: se tarta de un trenzado irregular de las fibras, que crecen en sentido helicoidal y comprometen el trabajo y la protección superficial de la pieza, pudiendo favorecer su alabeo.

- **GRIETAS** que se presentan como aberturas de distinto tipo: curvilíneas o acebolladuras, radiales o mermas, longitudinales, fendas o estrelladas. Aparecen por defectos de secado y cambios de humedad o por congelación de los fluidos que contiene la albura. Reducen la durabilidad de la madera afectada.

- **LUPIAS Y VERRUGAS**. Son protuberancias del tronco por reacción a las agresiones de virus, bacterias e insectos. Las primeras presentan forma de globo y las verrugas son irregulares. Algunas se aprovechan como chapas decorativas por su especial veteado.

- **MERMAS**: son las grietas que aparecen en sentido radial por causa de la desecación.

- **MADERA DE REACCIÓN**: diferencia sectorial y estructural provocada por el crecimiento heterogéneo del tronco, a causa de esfuerzos permanentes como vientos dominantes y crecimiento en ladera.

- **NUDOS**: discontinuidad estructural de la madera debido a la inclusión gradual de las bases y troncos de las ramas al crecer el árbol. Se manifiestan como una desviación de las fibras y los anillos de crecimiento a su alrededor, aunque sus tejidos pueden ser solidarios con los del tronco. Los nudos sueltos deben evitarse ya que reducen la escuadría útil de la pieza, distorsionan la dirección de las fibras y dificultan su trabajo, lijado y pintado.

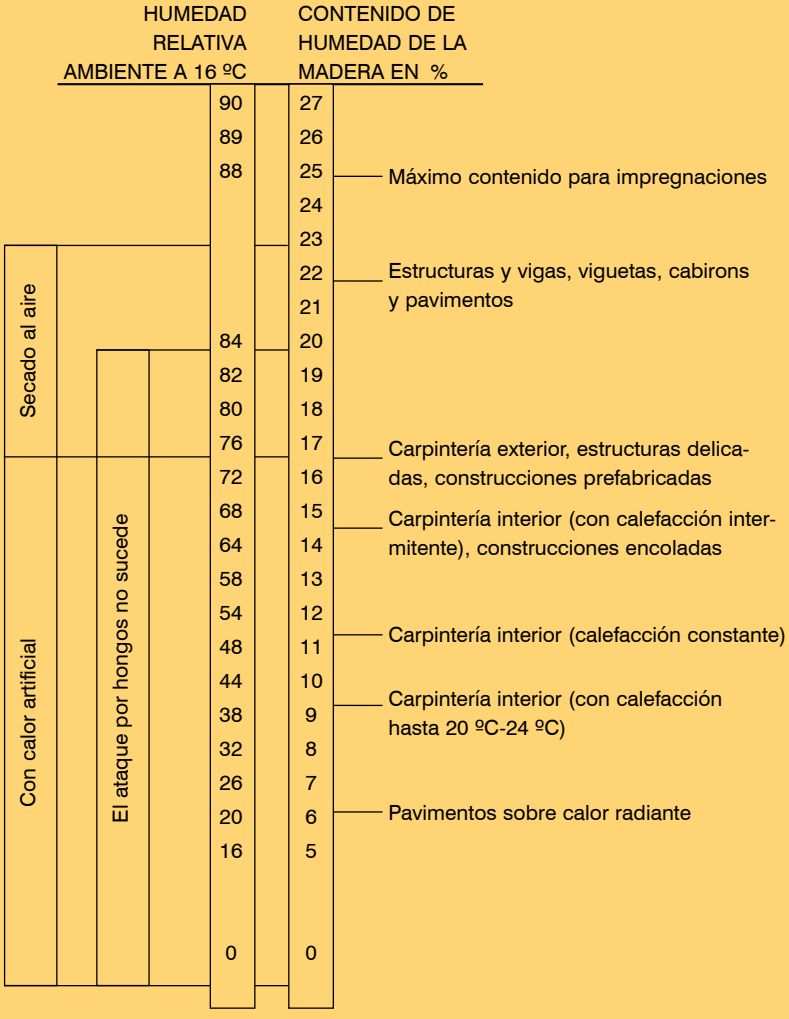


Colocación de las piezas de madera tangenciales. La madera «tira» hacia el centro de los anillos de crecimiento.



El ranurado trasero amortigua el movimiento. La madera tiende a curvarse en dirección contraria a los anillos.

Medidas preventivas para minimizar las deformaciones en la colocación de terminaciones de madera a base de tablones.



HUMEDAD DE LA MADERA Y SUS USOS

- **PATAS DE GALLO O CUADRANURAS**, consistentes en el conjunto de grietas radiales que parten del corazón o médula hacia la corteza.

Si se piensa pintar la madera y se encuentran defectos como nudos muertos o bolsas de resina, se los vacía y rellena con tacos de madera, pero si las irregularidades son muy numerosas resulta más económico dejar la madera para fabricar tableros.

Con respecto a las fisuras, algunas aparecen en el secado y otras ya existen en el árbol vivo. Pueden encontrarse grietas longitudinales importantes originadas por un incremento del volumen de agua que haya penetrado por alguna hendidura superficial o causadas por el envejecimiento del corazón y la médula o por su desaparición.

También aparecen si dos anillos vecinos pierden contacto y dan lugar a un vacío que merma la cohesión y favorece el anidamiento de insectos.

Los nudos constituyen la parte de una rama que se inserta en el tronco por el crecimiento del árbol y normalmente son más duros que la madera que los envuelve. Un nudo vivo se encuentra donde las fibras de una rama viva tienen continuidad con las del tronco, y un nudo muerto resulta cuando la rama está muerta o cortada.

Se designa nudo encajado al que está rodeado de resina o corteza. Los nudos muertos no presentan problemas mientras los tejidos no estén alterados pero, en general, acaban saltando por lignificación del duramen y la pérdida de adherencia con las capas que lo envuelven. Las normas de algunos países no aceptan la presencia de nudos muertos en carpintería para el exterior o para el interior si son a la vista, permitiéndolos solamente si se hallan bien adheridos y no tienen más de 16 mm de diámetro.

SECADO

Si la madera pierde agua con mucha rapidez las partes exteriores, especialmente los extremos, se retuercen. Como se trata de un proceso reversible, no tiene sentido invertir en el secado de una madera que se utilizará en sitios excesivamente húmedos.

Es conveniente estibar la madera fina seca en la obra hasta que tenga el grado de humedad necesario lo cual, en ocasiones, no ocurre hasta que los vidrios están colocados y la calefacción se ha puesto en funcionamiento.

A continuación se detallan los sistemas de secado habituales:

- ***SECADO AL AIRE***. Se apila la madera sin corteza, protegida de la lluvia y de la humedad del terreno, de manera que el aire circule libremente entre cada una de las piezas.

  Con este sistema disminuyen los riesgos de degradación o de ataques de hongos e insectos xilófagos y pueden conseguirse contenidos de humedad del 17 al 22 %, sin que el proceso sea muy rápido. En condiciones favorables, las resinosas de poco grueso se secan al aire en algunas semanas, pero en condiciones desfavorables pueden requerir un año o más.

- ***SECADO AL HORNO***. Con el fin de acelerar considerablemente el proceso de secado al aire, y de obtener contenidos de humedad menores, se han de utilizar hornos que sometan a la madera a corrientes de aire caliente y a un grado higrométrico decreciente, adecuado para evitar revirados.

No obstante, la madera secada correctamente responde a las variaciones de la humedad, razón por la cual es conveniente escoger maderas cuyos movimientos de origen hídrico sean reducidos y que presenten poca diferencia entre los movimientos radiales y tangenciales.

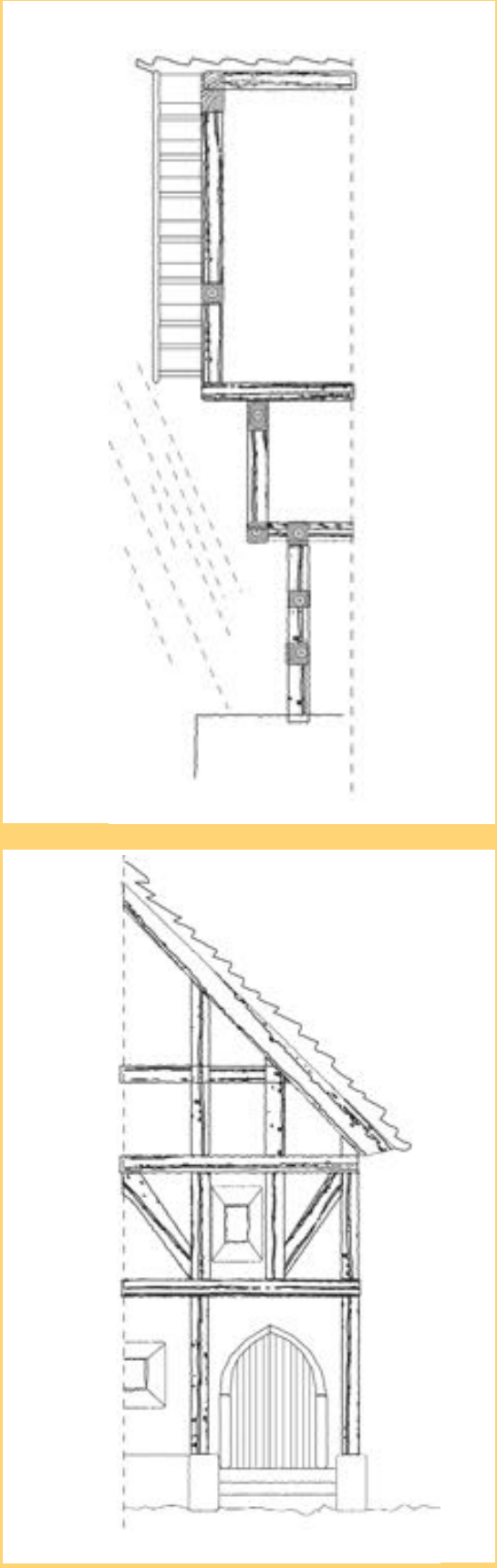
La madera se debe colocar de manera que no quede restringida su posibilidad de movimiento y las espigas han de tener la medida adecuada para que no provoquen revirados en las cajas donde se alojan.

Las maderas de árboles planifolios o no resinosos pueden ser transformadas en tablas finas mediante una sierra y, al ser obtenidas por cortes radiales, se reviran menos y son menos susceptibles de padecer agrietamientos.

Asimismo, son más fáciles de secar y cuando se desgastan por abrasión lo hacen con más uniformidad que las obtenidas por cortes longitudinales pero, no obstante, ha de tenerse en cuenta que los métodos que dan una alta proporción de madera serrada en dirección del radio no resultan económicos ya que implican mucho desecho.

Se considera que, independientemente de lo que exigen las normas de cada país, una buena madera debe cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

- **NUDOS CON DIÁMETRO INFERIOR A LOS 16 MM.**
- **COMO MÍNIMO, 8 ANILLOS EN 25 MM EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL.**
- **BOLSAS DE RESINA QUE SEAN REMOVIDAS Y REEMPLAZADAS POR TACOS DE MADERA.**
- **TACOS E INSERCIONES DE NO MÁS DE 12 MM.**
- **GRIETAS RADIALES CON UNA PROFUNDIDAD IGUAL O INFERIOR A 1/4 DEL RADIO.**



Fachada de aleros retirados para protección de lluvia (Europa, Edad Media).

CAUSAS ADQUIRIDAS (DESPUÉS DE SU USO)

Este apartado trata sobre las causas o condiciones patológicas que amenazan a la madera una vez puesta en obra o cumpliendo su función. Dentro de estas operan los dos grandes grupos: los ***AGENTES ABIÓTICOS*** y los ***AGENTES BIÓTICOS***.

A. AGENTES ABIÓTICOS

Se trata de todos aquellos agentes que no son organismos vivos y que pueden causar lesiones o fallos en la madera de servicio. A continuación enumeramos los principales y más dañinos:

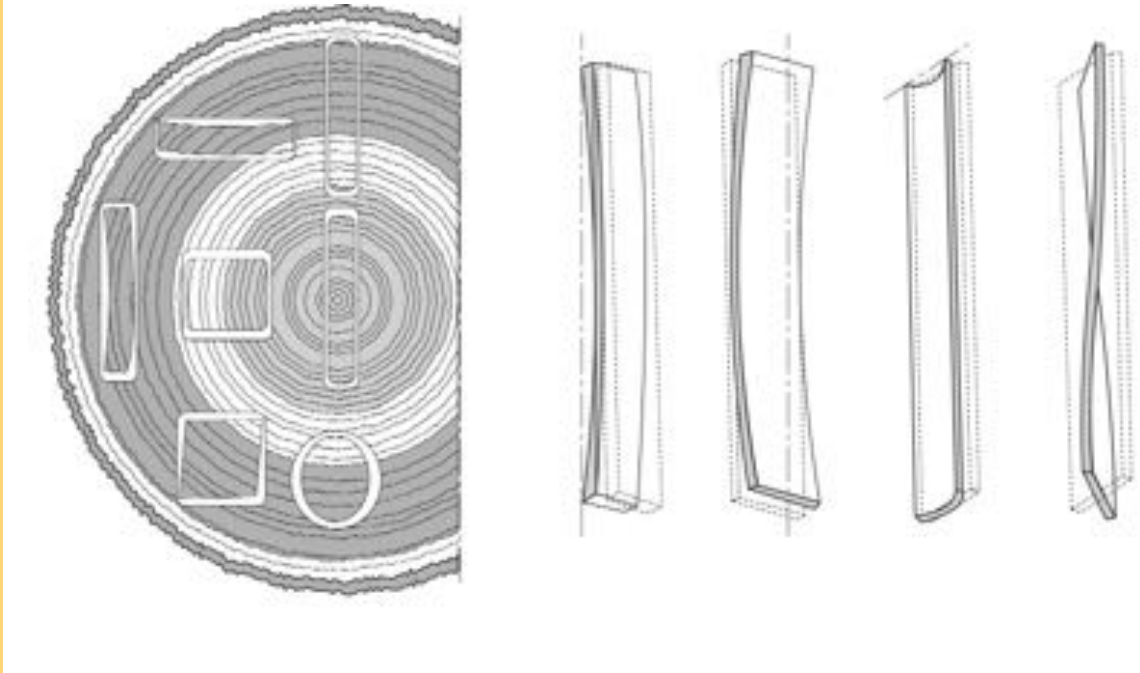
- **COMPORTAMIENTO DE LA MADERA FRENTE AL AGUA**
- **DEFORMABILIDAD DE LA MADERA**
- **ENVEJECIMIENTO DE LA MADERA**
- **EL FUEGO**

COMPORTAMIENTO DE LA MADERA FRENTE AL AGUA

La madera puede ser más o menos higroscópica en función de su estructura celular y es capaz de captar la humedad del aire que, impregnando las paredes celulares que se hinchan y esponjan, provoca el entumecimiento de la madera en sentido tangencial –donde hay mayor cantidad de fibras–, así como una pequeña dilatación en el longitudinal.

Si el ambiente es muy húmedo estas paredes celulares se impregnan hasta la saturación y aparece el agua en el vacío del interior de las células y en los espacios libres intercelulares.

La humedad máxima absorbible en forma de vapor se conoce como punto de saturación de las fibras (PSF) y se encuentra en el intervalo PSF= 22 a 35 % según especies y zonas del árbol.



Sección de un leño señalando los cortes y sus deformaciones. Es importante conocer estos aspectos desde el moemento de la elección de las piezas y teniendo en cuenta la ubicación final de las mismas en la obra.

Cuanto mayor es el PSF, mayor es la estabilidad dimensional de la madera, sobre todo en condiciones húmedas.

Por debajo de estos valores no aparece agua libre en el interior de las células y las dimensiones cambian radial y tangencialmente en forma directamente proporcional al contenido de humedad en el intervalo H= 0-PSF.

Por el contrario, si se supera el PSF, los cambios de humedad ya no alteran ni las dimensiones ni la resistencia de la madera pero la vuelven sensible al ataque de los hongos xilófagos, que necesitan un ambiente cercano al PSF.

En la madera, la humedad se mide con referencia al peso anhidro obtenido por desecación a T= 101-105 ºC. En las gimnospermas la humedad del árbol en estado verde oscila, en promedio, entre un 150 % en la albura y un 60 % en el duramen y en el caso de las angiospermas es menor, del orden del 80 %.

Se considera que si una madera está bien secada los contenidos de humedad no superan el 12 o 13 % y que cuanto mayor es la humedad mayores son el peso, la deformabilidad de la pieza y la dificultad de corte, aserrado y lijado y menor es su dureza y resistencia mecánica.

Por lo general la madera que se coloca en el interior de un edificio no alcanza el PSF y se sitúa con una humedad de equilibrio higroscópico (HEH) más baja que se establece continuamente en función de la temperatura y humedad del aire circulante.

En el interior los valores normales oscilan entre el 10 y el 12 % y al exterior y en condiciones normales, puede estar en el intervalo del 11 al 13 % en climas secos y del 15 al 18 % en los húmedos.

La variación dimensional difiere en función del tipo de madera; el castaño y el roble, por ejemplo, son más estables que el haya. Con el paso del tiempo y los sucesivos cambios de humedad, todas las maderas tienden a estabilizar sus dimensiones y responden cada vez menos a las variaciones ambientales por un fenómeno de fatiga higroscópica.

En general, el secado de la madera verde hasta las condiciones normales de uso final favorece la reducción de la densidad aparente y del volumen, el incremento de las propiedades resistentes, del aislamiento térmico y de la durabilidad y una mejor adecuación para recibir impregnaciones, recubrimientos decorativos y/o adhesivos. Sin embargo, estos cambios no tienen la misma magnitud en todas las direcciones.

Así, las contracciones que provoca el secado son del 6 % en sentido radial y del 9 al 18 % en el tangencial, según las especies.

El secado que se lleva a cabo en condiciones irregulares puede provocar tensiones diferenciales, deformaciones, revirados y/o el agrietamiento de las piezas. Si la superficie de la pieza pierde la humedad con rapidez se contrae, evita la salida del agua y sufre tensiones de tracción que la agrietan.

Por otro lado, el secado rápido de los extremos provoca grietas de testa y una temperatura demasiado alta puede originar cambios de color y flujos de resina.

En cualquier caso, todos estos problemas pueden surgir una vez colocada la pieza en obra, ya sea porque tenía una humedad elevada o porque la adquirió en algún momento por contacto accidental con el agua.

Se ha de tener en cuenta que las partes más sensibles son las uniones, tanto si son clavadas como encoladas o ensambladas, y las piezas con una relación superficie-volumen más desfavorable.

DEFORMABILIDAD DE LA MADERA

La diferencia entre las hinchazones o las contracciones radiales y tangenciales es lo que motiva los cambios de forma que experimentan las piezas de madera tras ser cortadas del tronco verde con un contenido de humedad considerable.

Ya que no todas las partes del árbol tienen la misma humedad, la deformación también depende de la posición de la pieza en el mismo.

Con el fin de minimizar los efectos de las variaciones en el contenido de humedad debe tenerse en cuenta que:

- **SECADO:** es un proceso de reducción controlada de la humedad hasta llegar a un nivel apropiado para el uso previsto.

- **IMPREGNACIONES CON SOLUCIONES DE RESINAS:** se limitan a objetos de madera pequeños y a pavimentos de tipo parquet.

- **REVESTIMIENTOS O RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES:** son bastante efectivos ya que reducen de manera apreciable dichas variaciones y se deben aplicar a aquellas superficies de elementos o de piezas que dan al exterior o que se incorporan a la obra con contenidos elevados de humedad.

En la construcción tradicional se pueden tolerar algunas contracciones en la madera de la obra gruesa.

Sin embargo, difícilmente se pueden admitir en entarimados y parquets, en carpintería fina de interior y en muebles, donde la madera no se debe colocar hasta que la construcción esté seca y se haya asegurado que su contenido de humedad es similar al del aire que la rodeará.

Si no se toman estas precauciones puede ocurrir que en el interior de un edificio bien calefaccionado haya variaciones de medidas del orden de los 10 mm por metro entre el invierno y la estación húmeda. En el exterior, los cambios pueden llegar a los 13 mm por metro entre ambas estaciones.

ENVEJECIMIENTO DE LA MADERA

La madera envejece con relativa rapidez al estar expuesta a la acción de la lluvia y el hielo y con más frecuencia debido a cambios higrotérmicos y a la acción de los rayos UV del sol.

El deterioro por envejecimiento de una madera colocada en el exterior, en condiciones normales y sin protección, se calcula que avanza a razón de unos 0,5 mm/año y se manifiesta por la superposición de los siguientes mecanismos:

- **ALTERACIÓN CROMÁTICA POR OXIDACIÓN FOTOQUÍMICA**, especialmente de la lignina. En un principio la madera se amarillea y luego se agrisa por la aparición de mohos que se alimentan de la lignina degradada. En consecuencia, aunque inicialmente las maderas claras suelen oscurecer y las oscuras tienden a aclarar, al final todas adquieren un característico color gris, algo más oscuro en la lignina que en la celulosa.

- **FOTODEGRADACIÓN DE LA LIGNINA** –algo menor en la celulosa– debido a la rotura de las cadenas moleculares por acción de los rayos UV (o fotólisis) con posible ayuda del oxígeno.

  Esto aumenta la higroscopicidad de la madera y permite el lavado por lluvia de la madera temprana o de primavera, que se deprime respecto a la madera tardía o de verano. Asimismo, se produce un desfibrado como consecuencia de la falta de ligazón que proporciona la lignina y, de esta manera, aparece el característico peinado superficial.

- **AGRIETAMIENTO Y RAJADO**, con aparición de fendas en la superficie de las piezas, por acción de la radiación IR y la sucesión de ciclos termo-húmedos que hinchan y encogen la madera, tanto más cuanto mayores sean la humedad inicial, la porosidad y juventud de la madera y la brusquedad de los cambios climáticos.

Las fendas son principalmente longitudinales, abren nuevas vías de agresión –sobre todo para hongos e insectos– y permiten que el agua de lluvia penetre con facilidad y circule por el interior de las piezas y que, al salir, levante las capas de protección y provoque la merma diferencial de las partes de carpintería.

Para evitar o disminuir el envejecimiento de la madera se utilizan pinturas y barnices que filtran los rayos UV e impiden el lavado del agua, siempre teniendo en cuenta las medidas adecuadas para impedir las retenciones de agua y mejorar la ventilación de la madera y su protección de la lluvia.

A largo plazo, y desde un punto de vista mecánico, las piezas de madera con cargas importantes de flexión pueden presentar problemas de fluencia, con deformaciones permanentes que, pese a no significar un peligro serio para la madera, podrían ser incompatibles con otros elementos de fábrica más rígidos.

EL FUEGO. COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

La combustión de la madera es mayor cuanto menor es su densidad y grado de humedad y provoca, inicialmente, la carbonización de las capas externas.

Debido a sus bajos coeficientes de dilatación y de conductividad térmica y al efecto aislante que suma la capa carbonizada, el interior o núcleo de la pieza es capaz de mantener sus facultades mecánicas.

Al contrario de lo que ocurre con el acero, la madera mantiene en pie un edificio mientras tenga una sección mecánica suficiente, lo que suele dar tiempo a la evacuación y a la extinción, en muchos casos. La velocidad de combustión es de unos 4 a 5 cm/hora y esto, unido a los coeficientes de seguridad que llevan a sobredimensionar las estructuras de la madera, garantizan su resistencia al fuego durante un tiempo suficiente. Mientras que los gases de combustión de la madera natural no son tóxicos, los de la madera tratada y los tableros pueden ser nocivos.

El proceso de pirólisis comienza a partir de los 250 ºC y la mayoría de las maderas entra en combustión cuando se alcanzan los 300 ºC. La reacción al fuego depende de circunstancias como las siguientes:

- **ESPECIE:** la reacción es peor en las maderas de menor densidad y en aquellas de poros gruesos o dispersos.

- **ESTADO DE CONSERVACIÓN**: por lo que se ven perjudicadas las maderas envejecidas, agrietadas o infectadas.

- **RELACIÓN SUPERFICIE-VOLUMEN DE LA PIEZA**: cuanto más alta la relación, peor reacción al fuego.

- **POSICIÓN ESPACIAL** reacciona peor la horizontal superior que la vertical, y ésta que la horizontal inferior.

Cuando la combustión es incompleta, por lo general por falta de oxígeno suficiente, el proceso puede continuar sin llama, deshidratándose la celulosa y formando carbón vegetal. Esta situación suele darse en elementos de madera ocultos y es peligrosa porque permite la permanencia larvada de un incendio y su reanudación posterior.

La carbonización progresiva de la madera sometida al fuego avanza a razón de 0,7 a 0,5 mm por minuto según la madera sea resinosa o no. Como la mayor parte de los materiales orgánicos, la madera quema con desprendimiento de monóxido de carbono, muy tóxico y de gran cantidad de humo.

Por otro lado, se ha de considerar que la madera laminada y encolada presenta una resistencia al fuego similar a aquella de la maciza de igual especie.

La Norma Básica de Protección contra Incendios (NBE-CPI-91) otorga a las maderas sin tratamiento ignífugo la clase M3, siendo M0 los materiales incombustibles y M5 los muy combustibles. Asimismo, prohibe el uso de la madera en aquellas situaciones en las que pueda generar problemas en circunstancias desfavorables de incendio.

Finalmente cabe agregar que, considerando la velocidad de carbonización, la estabilidad dimensional y la poca pérdida de resistencia de la madera, es posible calcular las secciones adecuadas para cada especie con el fin de resistir la exposición al fuego durante determinados períodos de tiempo.

B. AGENTES BIÓTICOS

Son organismos vivos y por lo tanto crecen, proliferan y se reproducen a costa de los elementos leñosos. Muchos hacen su aparición incluso antes de que la madera sea puesta en obra y son fáciles de detectar y combatir. Los principales y más dañinos son los hongos y los insectos.

LOS HONGOS DE LA MADERA

Los hongos, organismos biológicos muy primitivos, no pueden sintetizar las sustancias nutrientes que necesitan y en consecuencia parasitan a otros organismos que las posean.

En el caso de la madera, descomponen la celulosa y/o la lignina según la especie y las transforman en sustancias más digeribles.

Su cuerpo vegetativo está constituido por un conjunto de hilillos de alrededor de 2 μ de espesor –hifas– que se entrelazan para formar una especie de tejido, denominado micelio, que les permiten crecer normalmente y protegidos de la luz.

Algunas especies de hongos como los agaricáceos forman la típica seta de corta vida y otras, por ejemplo los poliporáceos, aparecen como un cuerpo duro permanente en forma de costra o repisa saliente.

El ataque a la madera se produce por penetración de las hifas a través de las cavidades celulares y por desprendimiento de las enzimas que descomponen a los constituyentes químicos de la misma.

Como el grado de humedad más favorable para el desarrollo de estos organismos se encuentra sobre el PSF, y ya que es necesario que la mínima sea del 18 al 20 %, los hongos, salvo excepciones, no pueden prosperar en maderas y ambientes secos ni en aquellas que se hallen sumergidas. No obstante, sus esporas pueden permanecer inactivas hasta que cambien dichas condiciones.

Con temperaturas de 3 a 5 ºC ya suele ser posible un crecimiento mínimo del micelio en la mayoría de las especies de hongos. Conforme aumenta la temperatura, se acelera su desarrollo que, óptimo entre los 23 y 30 ºC, comienza a disminuir hasta cesar casi por completo a los 40-43 ºC, muriendo la mayoría de los hongos a los 50 ºC. La aireación o ventilación, la sequedad del ambiente y la luz solar, por la presencia de radiación UV con efectos fungicidas, también tienden a retrasar su crecimiento.

Como regla general, la madera de albura es más atacada que la de duramen y las maderas densas y ricas en lignina y taninos (las más oscuras y rojizas) suelen ser más resistentes.

Asimismo, influye mucho la época en que se ha cortado la madera, puesto que las sustancias de reserva, alimento de numerosos hongos, son máximas inmediatamente antes del comienzo de la foliación del árbol, en primavera, y mínimas al final del periodo vegetativo, cuando la madera ofrece una menor probabilidad de micosis e infección.

La descomposición de la madera merma sus propiedades mecánicas y produce pérdida de peso y densidad y aumento de la porosidad.

Los hongos de la madera, desde un punto de vista organoléptico, se suelen clasificar en ***CROMÓGENOS*** y de ***PUDRICIÓN***.

Los hongos cromógenos son mohos que atacan a la madera superficialmente sin causar pudrición ni importante deterioro, pero cambiando su color y alterando su aspecto externo, mientras que los segundos, los hongos de pudrición, son xilófagos y suelen designarse como de pudrición blanca o parda según ataquen a la lignina o a la celulosa.

También se señala la diferencia entre las pudriciones secas o húmedas –en función del ambiente y estado de la madera– y entre pudriciones alveolares, cúbicas, fibrosas, laminares y tubulares según la textura de la madera que resulte en procesos avanzados de ataque.

REQUERIMIENTOS PARA EL CRECIMIENTO	MANERAS DE IMPEDIRLO
Alimento adecuado: en todas las especies el crecimiento es más vigoroso en la albura que en el duramen	Escoger solamente duramen de maderas durables
Contenido de humedad adecuado. Un 20 % de humedad es necesario como mínimo, aunque no pueden vivir en condiciones saturadas	Mantener baja la humeda o inmersión en agua
Temperatura adecuada. La óptima es alrededor de los 23 ºC. El crecimiento es dos veces más rápido a 21 ºC que a 10 ºC	Mantener temperaturas altas, 38 ºC o bajas, 0 ºC
Oxígeno	Recubrir y revestir, por ejemplo, con metales. Inmersión en agua

CONDICIONES PARA EL CRECIMIENTO DE LOS HONGOS EN LA MADERA

Los hongos cromógenos atacan tanto a frondosas como a coníferas, siendo estas últimas las más susceptibles. Se alimentan de sustancias de reserva, con preferencia de las almacenadas en la madera de albura, sin llegar a afectar significativamente a las paredes ni a su resistencia mecánica, pues sus hifas pasan de una a otra célula a través de los orificios naturales sin dañar la pared celular.

Causan coloraciones de tipo superficial o de cierta profundidad y suelen aumentar ligeramente la permeabilidad de la madera, lo que puede permitir que ataquen otros hongos más dañinos.

En España los más importantes son los que producen el azulado de las coníferas y el pasmo del haya, que origina el veteado y una coloración pardo-rojiza.

Es muy importante que no se retrasen los tratamientos, por la rapidez con que penetran el azulado y pasmo en la madera. Se inician en los rollizos recién cortados, cuya humedad permite el desarrollo de los hongos, y se evitan si no se los descorteza y se los pulveriza con productos que los protejan hasta que su humedad descienda por debajo del 20 %, en el caso del azulado, y del 35 % para el pasmo.

La solución acuosa eficaz para evitar estos cambios de color en la madera se compone de un 2,5 % de pentaclorofenato sódico y un 0,75 % de lindano.

En el caso de que exista la posibilidad de que se produzcan fendas en los rollizos debido a una desecación demasiado rápida, es necesario, para evitar la penetración del azulado o del pasmo, embadurnar todas las superficies de corte hasta su límite de inserción con la corteza mediante preparados que dificulten la evaporación de humedad, para lo que puede servir la mezcla en caliente de cuatro partes de brea y una de aceite de linaza.

Para impedir el azulado de la madera aserrada se debe desecar artificialmente o tratar, por inmersión o pulverización, con una solución acuosa de pentaclorofenato sódico cuya concentración permita que la cantidad de producto sólido retenida por la madera varíe, en relación con los factores climáticos y con los métodos de secado y apilado de la madera, de unos 5 a 15 g/m^2 de madera aserrada tratada.

El mejor momento para aplicar los tratamientos a esta madera es cuando sale de la sierra y no deben demorarse más de un día, ya que un retraso mayor suele causar el azulado interno de las piezas, por permitir la penetración profunda de hongos que no se ven afectados por los fungicidas normalmente utilizados.

Las pudriciones blancas, corrosivas, fibrosas o deslignificantes son provocadas por hongos que se alimentan de hemicelulosas y de lignina, descomponen en proporción a las primeras por una reacción de oxidación y resultan un complejo celulósico más o menos blanquecino, raramente uniforme y con frecuencia fibroso y sin resistencia de ningún tipo. Las maderas frondosas, especialmente las tropicales, son más atacables que las de coníferas debido a su mayor cantidad de lignina y los hongos suelen dar reacción positiva en la prueba de la oxidasa.

Cuando se trata de pudriciones pardas o cúbicas, en cambio, los hongos se alimentan preferentemente de la celulosa de las paredes celulares, a las que descomponen mediante un proceso de hidrólisis y la madera adquiere en color pardo oscuro debido a sustancias remanentes como la lignina y los taninos. Estas pudriciones suelen ser más frecuentes en las coníferas por su proporción mayor de celulosa, así como en la madera de los edificios antiguos, sobre todo si se encuentra en condiciones húmedas.

La llamada pudrición seca es un caso especial en el que los hongos atacan a la madera seca gracias a su facultad de transportar agua a través de los cordones micelares desde cualquier otro lugar hasta la madera.

Esta patología puede atravesar paredes y maderas protegidas y está causada fundamentalmente por la mérula (Serpula Lacrymans).

La pudrición blanda es un caso particular bastante peligroso que se presenta en maderas sometidas a condiciones extremas de humedad, muchas veces sin luz ni ventilación, en contacto con el terreno o con el agua o bien en ambientes saturados de humedad como los sótanos.

La madera se reblandece desde la superficie hacia el interior y el efecto sólo se percibe cuando el ataque, muy desarrollado, ya es irreversible.

Si la madera se seca se producen quiebras, fendas y fisuras debido a la inexistencia de pared celular –en especial la parte secundaria– que ha servido de alimento al hongo; en cambio, la lignina suele permanecer intacta.

Algunas maderas, como por ejemplo las coníferas, resisten mejor a este proceso patológico que otras, pero hay incluso ciertas maderas que, aunque tratadas con fungicidas, son afectadas por esta micosis.

Independientemente de la presencia de hongos, pueden aparecer manchas por el contacto de la madera con otros materiales como clavos, cales, cementos y algunas colas, debido a su reacción con los taninos o polifenoles de las maderas.

Se puede intentar limpiar con ácido salicílico al 8 % pero, no obstante, los morteros de cal o cemento en contacto con la madera, y en condiciones de permanente humedad, llegan a degradar la lignina y producen un deterioro parecido al de la pudrición blanca.

DESCRIPCIÓN DE HONGOS CROMÓGENOS Y DE PUDRICIÓN

Los ascomicetos son hongos relativamente sencillos y tienen un cuerpo reproductor en forma de asca o bolsa.

Género: **ESFERIÁCEOS**

La madera, sobre todo en las coníferas, tras ser atacada presenta una albura azulada que comienza por la aparición de manchas radiales oscuras y superficiales que, posteriormente, se extienden por toda ella.

El cuerpo de fructificación es de color negro con forma de botella de cuello alargado, de 1 milímetro de longitud.

Género: **XYLARÁCEOS**

En la especie ***EUTYPA FLAVOVIRESCENS FR***. la madera aparece pasmada en frondosas recién cortadas y con pudrición blanca, especialmente en el haya, mientras que el cuerpo de fructificación se conforma de masas de estroma granulosas por el exterior y amarillo verdosas por el interior.

Y si la especie de hongos es ***XYLARIA HYPOXYLON GREV***., en las frondosas recién cortadas se manifiesta una pudrición blanca y esponjosa de color blanco sucio, que interrumpen zonas oscuras.

El cuerpo de fructificación son peritecas que se forman en estroma y se asemejan a las astas de un ciervo y las hifas y el micelio forman una abundante masa blanca que cubre la madera.

Los basidiomicetos himeniales son hongos con un cuerpo reproductor claramente diferenciado, que produce esporas mediante unas estructuras especializadas –basidios– agrupados en una zona llamada himenio.

Género: **AGARICÁCEOS**

Presentan un cuerpo de fructificación temporal y en forma de seta. El himenio forma laminillas.

La especie ***LENTINES LEPIDEUS FR.***, muy frecuente en el pino y resistente, presenta una pudrición parda y cúbica en las coníferas y un cuerpo de fructificación formado por setas marrones con la base púrpura y con la parte superior cubierta de escamas pardas, que raramente crecen en un ambiente oscuro. Las hifas y el micelio no son muy abundantes y pueden ser de blanquecino a marrón púrpura con el borde teñido.

La especie ***SCHYZOPHYLLUM COMUNE FR.***, comestible y con tolerancia al calor y la humedad, se manifiesta como una pudrición blanca de la albura en las frondosas húmedas. También puede atacar a las coníferas. Su cuerpo de fructificación es coriáceo y pequeño –de 1 a 4 cm– y está agrupado en masas, con forma de concha o abanico blanquecino cubierto por pelillos. La cara inferior tiene laminillas de tonalidad entre rosa y parda con su filo partido en dos.

Género: **ESTERÁCEOS**

Presentan una costra delgada extensa y arrugada, con borde exterior levantado como visera e himenio liso.

La especie ***STEREUM HIRSUTUM WILLD*** (Thelephora hirsuta), que es muy activa, también ataca a la celulosa y se manifiesta en las frondosas como una pudrición blanca fibrosa. En un principio aparece con manchas pardas y jaspeaduras claras, y luego amarillea formando bandas claras separadas por vetas oscuras. Asimismo, pueden aparecer cavidades superficiales.

El cuerpo de fructificación son costras de contorno redondeado y borde superior vuelto con forma de visera amarillenta.

La cara superior es grisácea con pelillos; la inferior, lisa y pardo amarillento que agrisa con la edad. El micelio es abundante y pasa de los radios a los vasos y las hifas son azuladas y muy ramificadas.

Género: **MERULÁCEOS**

Se trata de un carpóforo extenso con himenio plegado y bordes gruesos con basidios.

Muy dañina, la especie ***CONIOPHORA PUTEANA*** (C. Cerebella Dub.) se manifiesta como una pudrición parda cúbica, más grave en el interior de las piezas.

Inicialmente la madera sufre una fuerte decoloración y aparecen manchas y líneas de color marrón amarillento.

El cuerpo de fructificación está formado por membranas planas delgadas y redondeadas que se adhieren a la madera y por un himenio de pequeños bultos irregulares y tonalidad amarillo crema en el centro que varía hacia el oliva oscuro, con bordes más claros.

El micelio es abundante y aéreo, de color marrón amarillento tendiendo al negro, y las hifas, oscuras, crean un dibujo que recuerda las venas de un cerebro. El ataque de esta especie se ve favorecido por la presencia previa de hongos cromógenos.

Por su parte, la especie ***SERPULA LACRYMANS LANGE*** (Gyrophana I. Wulf., Merulius I. Fr.) irrumpe como una pudrición parda cúbica y seca en cualquier madera, aunque más frecuente en las coníferas, y deja masas desmenuzables de un color ceniciento.

El cuerpo de fructificación es de formas variadas con una tonalidad que va del gris pálido al ocre rojo, con pliegues como de piel envejecida que cubren los basidiosporos.

Asimismo aparece junto con zonas blanquecinas que exudan gotas de agua que condensa del aire ambiental y que suele presentarse en las juntas entre maderas o con la fábrica, haciéndolo rara vez al exterior.

Con respecto a las hifas y el micelio, adquieren un aspecto sedoso, externo, abundante y blanquecino en masas algodonosas que varían entre el ocre rojo y el gris y aparecen gruesos rizomorfos que pueden atravesar las paredes de fábrica en busca de madera.

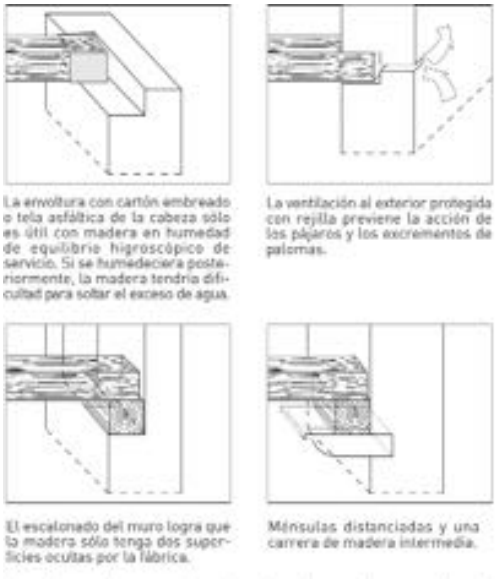
Esta especie crece en ambientes poco ventilados y se caracteriza por un cierto olor a pescado.

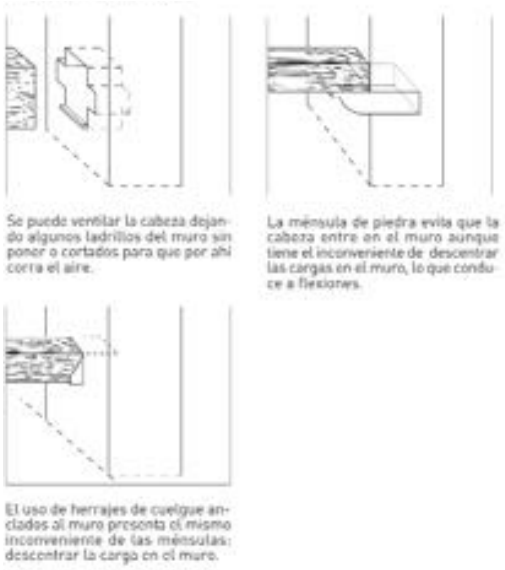
Género: **POLIPORÁCEOS**

Presentan un cuerpo de fructificación permanente, en forma de costra o repisa, y un himenio poroso.

La especie ***CORIOLUS VERSICOLOR FR***. (Polyporus v. L., Polysticus v. Quél., Trametes v. Pil.), es de pudrición blanca fibrosa y se da con frecuencia en las frondosas. Los cuerpos de fructificación son duros y pequeños –de 2 a 10 cm– y salen de la madera en semicírculo, como una concha. Su cara superior es aterciopelada de color pardo a gris amarillento en bandas concéntricas y la exterior es más clara.

Por su parte, la cara inferior conforma tubos cortes de color crema, cortos y terminados en poros (0,1-0,4 mm). Las hifas, muy delgadas (0,5-4 mm), y el micelio forman pequeñas masas blanquecinas. Esta especie también ataca a la celulosa y es muy sensible a los taninos de la madera.





Solucionas para lograr la correcta ventilación de la cabezas de viga.

Frecuente en castaños, hayas y robles, la especie ***DAEDALEA QUERCINA L.*** aparece en la albura de las frondosas como una pudrición parda prismática.

Los cuerpos de fructificación son corchosos y grisáceos con una cara superior rugosa que forma bandas concéntricas y el himenio, laberíntico, es de poros largos. Las hifas y micelio, más abundante en los radios, son de color blanco amarillento.

Por su parte, la especie ***FORMES EXPANSUS*** (Phellinus megaloporus Pers., Poria m., Poria spongia) es frecuente en el castaño, el chopo y el roble y puede exudar gotas parduscas.

Se manifiesta como una pudrición blanquecina en las placas fibrosas de las frondosas. El cuerpo de fructificación es una almohadilla muy ancha, gruesa y suave, de tono gris o marrón pálido con un himenio más oscuro y poros bien finos. Las hifas y micelio son de un gris ceniciento.

Típica del abeto y de poca importancia en España, la ***GANODERMA APPLANATUM PERS.*** (Ungulina marginata Pat.) adquiere un aspecto de pasmo en algunas frondosas especialmente húmedas y aparece como un veteado pardo rojizo que degenera en una pudrición blanca atravesada con vetas negras irregulares.

Otra de las especies posibles se denomina ***LENZITES ABIETINA FR.*** (Daedalea a. Bull., Gloephyllum a., Trametes a.), una pudrición parda laminar que aparece en las coníferas. Su cuerpo de fructificación es una masa corchosa y afieltrada, de color pardo oscuro y bordes claros, y el himenio tiene cistidios de gran longitud. Las hifas y el micelio son de color marrón oscuro.

Típica del haya y del roble, la ***LENZITES BETULINA FR.*** (Daedalea b. L., Tramete b. Pil.), es una pudrición blanca en las frondosas especialmente dañina para los radios leñosos. Su cuerpo de fructificación es coriáceo de color amarillo verdoso a anaranjado, más vivo cuanto más joven, con forma de abanico laminar (0,5-1 cm) aterciopelado y bordes ondulados.

El himenio es laminar y blanquecino. Las hifas y el micelio adquieren un aspecto blanco con manchas marrones, siendo las primeras externas y muy tabicadas.

Por su parte, la ***LENZITES SEPIARA WULF*** (Daedalea s. Wulf., Gloephylum s.), de olor agradable pero peligrosa y resistente, aparece en las coníferas como una pudrición parda laminar o prismática. Deja a la madera con un color pálido que luego oscurece, a la vez que surgen largas fendas longitudinales.

El cuerpo de fructificación es corchoso y duro, de amarillo a pardo oscuro con bordes amarillentos de 2 a 9 centímetros y delgados (0,5-1 cm). Su himenio es laminar o poroso hacia la base, de tonalidades anaranjadas a un ocre pardusco. Las hifas y el micelio son amarillentos y escasos al exterior.

Y, por último, nos encontramos con la especie ***PORIA VAILLANTI FR.*** (Fibroporia v., Polyporus v., P. vaporaria Fr.), una pudrición parda prismática en las coníferas que presenta prismas pequeños definidos por fendas próximas y no muy profundas. En este caso el cuerpo de fructificación está formado por una costra crema blanquecina y blanda, membranosa, delgada (<0,5 mm) y pegada a la madera, y un himenio al aire con poros heterogéneos de 0,3-1 mm y un borde blancuzco del que salen prolongaciones rizomorfas.









Distintos tipos de ataque xilófago.

Las hifas y el micelio, de tonos blanco o crema, cubren la madera en forma de abanico y presentan cordones micelares blancuzcos y flexibles. Esta especie, que crece con mucha rapidez y es dañina, suele tener olor a violeta.

LOS INSECTOS XILÓFAGOS

Existen tres tipos de insectos en relación con la madera:

- **XILÓFAGOS**
- **PARÁSITOS**
- **MORADORES**

XILÓFAGOS: se alimentan de las sustancias nutritivas de la madera. Algunas especies se sirven del duramen, otras de la albura y algunas lo hacen indistintamente. Las especies más peligrosas son las que se reproducen y continúan el ataque tras la colocación de la madera en obra y en generaciones sucesivas.

PARÁSITOS: si bien viven a costa de las larvas de los insectos recién descritos, algunas de sus especies parasitan a los adultos. Estos pueden servir de indicadores para la localización exacta de la plaga.

MORADORES: son aquellos que viven en la madera, normalmente en descomposición, y que no se alimentan de ella aunque puedan dañarla al construir sus nidos.

Además de los insectos nombrados, muchos otros animales pueden aparecer asociados a la madera, como por ejemplo los moluscos, crustáceos e incluso ciertas aves y roedores.

Las vías de identificación de las especies de insectos que atacan la madera son complementarias entre sí y pueden definirse de la siguiente manera:

- **ASPECTO EXTERNO E INTERNO DE LA MADERA ATACADA**: lo más sencillo de observar.

- **IDENTIFICACIÓN A PARTIR DE LAS LARVAS Y/O DE LAS PUPAS HALLADAS**: es posible si el ataque permanece activo y se busca dentro de la madera. Se encuentran con facilidad y se puede recoger varias y conservar en formol o en condiciones controladas de humedad y temperatura a la espera de que salga el adulto para un mejor reconocimiento.

- **IDENTIFICACIÓN POR EL INSECTO ADULTO ENCONTRADO**: es frecuente encontrar restos atrapados en las galerías de la madera; a veces un élitro, una cabeza o una pata son suficientes para precisar de qué insecto se trata.

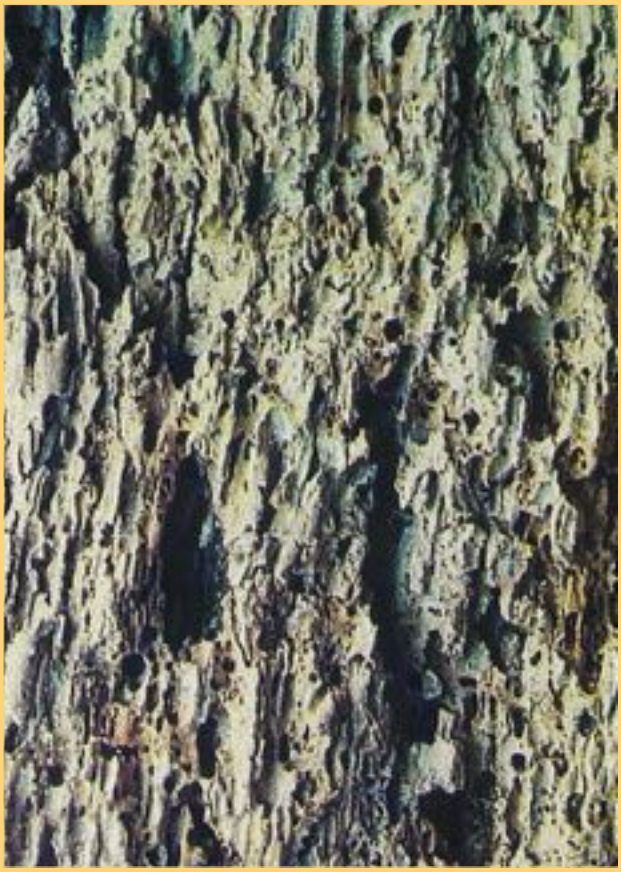
En la madera, sobre todo si es vieja y lleva años abandonada, es posible hallar diferentes ataques asociados donde se mezclan especies variadas de animales y hongos. No ocurre lo mismo en las maderas nuevas, donde es frecuente que el ataque se haya iniciado con la madera verde o durante la construcción del edificio y que aparezca cuando es colocada en obra al cabo de pocos años.

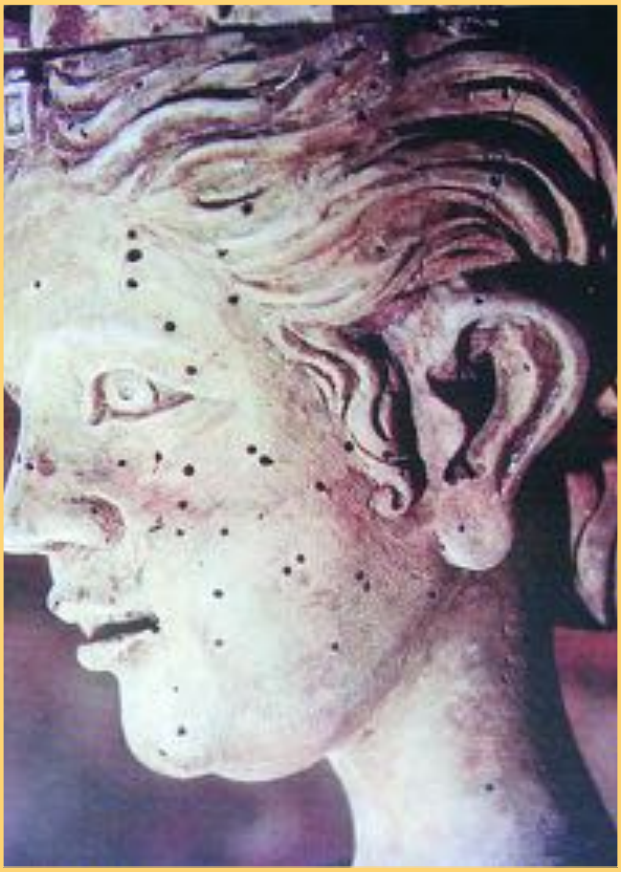
En la mayoría de los casos el insecto no prosigue su ataque por falta de un hábitat adecuado, especialmente si la madera se ha secado y existe una mínima higiene y conservación del edificio.

De todas maneras, es fundamental observar minuciosamente cada caso concreto e interpretar con corrección todos los datos disponibles.









Atques xilófagos en distintas piezas de madera.

El ataque de los insectos xilófagos suele describirse como una infección y, aunque cada especie necesita unas condiciones ambientales particulares, la mayoría de ellas se desarrolla con humedades de la madera y temperaturas relativamente altas, del orden de H= 15 % y T= 15-30 ºC respectivamente.

Las especies más agresivas corresponden a estos dos órdenes de insectos:

- ***COLEÓPTEROS*** o escarabajos de las familias de los anóbidos o carcomas, bostríquidos o barrenillos, cerambícidos, algavaros o longicornios, curculiónidos o gorgojos y líctidos o polillas de la madera. En todas estas especies las larvas se alimentan de la madera para crecer, tras lo cual se transforman en pupas, se metamorfosean en adultos y perforan la madera para salir y aparearse.

  Cada una tiene sus maderas preferidas. Hacen un tipo de taladro diferente y dejan unos restos que, junto con la forma y trazado de las galerías, son singulares de su especie, lo que además de la anatomía de la larva y del adulto, facilita su identificación.

- ***ISÓPTEROS*** o termes son otros insectos, parecidos a las hormigas, que anidan en tierra. A veces lo hacen en zonas alejadas del edificio atacado, donde solamente dejan, en las maderas vistas, una ligera capa superficial que las protege de la luz, mientras que el resto de la madera queda como un hojaldre perforado por infinidad de galerías longitudinales sin ningún resto.

  Necesitan un ambiente húmedo de temperatura media bastante constante y pueden acceder a los elementos de madera construyendo visibles galerías superficiales de tierra de 1 a 2 cm de sección.

Los insectos xilófagos marinos no viven en agua dulce pero son extremadamente destructores en aguas saladas cálidas.

Si bien hay especies muy resistentes, como la teca, ninguna madera es inmune a estos ataques.

Los insectos más importantes son:

- ***LIMNOBIA LIGNORUM WH***., crustáceos que hacen agujeros de 2 a 3 milímetros de diámetro y 10 milímetros de profundidad. Roen las zonas más externas de las maderas de coníferas y frondosas al abrir sus galerías.

- ***TEREDO NORVEGICA SPEN***., en el Atlántico, y el ***TEREDO PEDICELLATA QUAT***., de la zona mediterránea, son moluscos que van abriendo galerías de 20 milímetro de diámetro y hasta 25 cm de longitud que, en poco tiempo, provocan la ruina de embarcaciones, diques y otras estructuras sumergidas.

  Son vermiformes, con cabeza engrosada y provista de dos conchas que les permiten penetrar en el interior de toda clase de madera.

  Las galerías están revestidas de una característica capa caliza.

IDENTIFICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS

COLEÓPTEROS (ESCARABAJOS)

ANÓBIDOS (carcomas), con géneros como Anobium, Ernobium, Oligómerus y Xestobium, eligen las maderas muy secas de coníferas y frondosas y dañan principalmente a vigas y pilares de madera, muebles antiguos y piezas de colecciones, iglesias y museos.

Son insectos pequeños y se alimentan a expensas de la celulosa. La madera queda con consistencia crujiente y su capa externa puede desaparecer.

Asimismo pueden aparecer heces ovoides que recuerdan un puro y muchos agujeros de salida, de Ø= 1,5-2 mm, con galerías en diversas direcciones, de sección circular y sin taponar, apenas, con un serrín algo granuloso y basto.

Las larvas son blancas, gruesas, arqueadas y vellosas en la parte anterior del cuerpo, con el final del abdomen redondeado y pequeñas patas bien visibles.

Los adultos, por su parte, son oscuros y poco vistosos, de cuerpo cilíndrico u oval de entre 2 y 10 mm. A menudo la cabeza aparece cubierta por un capuchón prominente formado por el pronoto y las antenas son algo dentadas.

El ataque es muy destructivo, se alimentan de duramen y albura y su ciclo vital varía según el ambiente. Tienen himenópteros y coleópteros depredadores (v.g. Opillio mollis). El anobium atrae a la hembra golpeando la madera con su cabeza con un ritmo de código morse; el xestobium lo hace de forma más uniforme, como un reloj.







Larvas de insectos xilófagos.

BOSTRÍQUIDOS (barrenillos), con géneros como el Apate, Bostrychus y Dinoderus, prefieren las maderas húmedas y tropicales de las frondosas. Las galerías discurren en el plano de la corteza interior o poco alejadas de ella y son de sección circular de Ø= 1-5 mm, con un trazado particular a cada especie, aunque siempre parten de la galería materna, limpia de serrín, que aparece en las otras en forma tosca y compacta.

Las larvas, blancas y encorvadas, son ápodas y escarabeiformes y los adultos tienen entre 3 y 6 mm y son de color pardo oscuro o negruzco, con el tórax formando un capuchón sobre la cabeza, cubierto de pequeñas púas o protuberancias. Las antenas tienen mazas de tres artejos.

Sólo atacan a la madera verde, aunque pueden continuar el ataque en obra, alimentándose de las sustancias de reserva de la madera.

CERAMBÍCIDOS (longicornios), con géneros como Callidium, Cerambyx, Ergates e Hylotrupes, atacan las coníferas secas pero también pueden alimentarse de las frondosas. Los agujeros de salida son grandes (6-8 mm) y ovalados y las galerías, bajo una ligera capa exterior, tienen sección irregular y dirección longitudinal.

Se pueden notar las marcas de las roeduras que, taponadas con un serrín bastante suelto, son de color y grosor variable según especies (amarillo y fino en el hylotrupes y grueso y oscuro en el ergates). El ataque de esta familia de insectos es muy destructor, sobre todo en armaduras de cubiertas, y tienen similares depredadores que los anóbidos.

Las larvas, de tonalidad blanca pálida, son gruesas y están formadas por anillos protuberantes. Son ápodas y sin pelos y tienen fuertes mandíbulas quitinizadas capaces de perforar chapas de metales blandos.

Los adultos, por su parte, tienen entre 15 y 20 mm, un cuerpo oscuro y aplastado y largas antenas características que carecen de maza diferenciada. La cabeza es vigorosa y también presenta fuertes mandíbulas. La hembra tiene un oviscapto retráctil pero claramente visible.

CURCULIÓNIDOS (gorgojos), con géneros como Euphyrum, Hylobius y Rhyncolus, eligen la madera húmeda y debilitada por hongos, preferentemente de albura y primavera. Las galerías son de sección circular, con serrín granuloso y fino, y suele ocurrir que algunos túneles se abran a la superficie con agujeros de 1 a 2 mm. Es poco frecuente que ataquen a la madera puesta en obra.

Las larvas son gruesas y cilíndricas, un poco más delgadas en su parte final, y se encorvan en forma de cresa (larva de abeja reina). Ápodas y con cabeza diferenciada, por lo general sin ojos, son parecidas a las de los escolítidos. Los adultos, de unos 3 a 5 mm, tienen una cabeza prolongada como en una trompa, con antenas en el medio y mandíbulas en su extremo.

ESCOLÍTIDOS (escarabajos de ambrosía), con géneros como Ips, Scolytus, Xyleborus (típico del roble) y Xyloterus (típico de las coníferas), son insectos pequeños que exigen un alto contenido de humedad y que prefieren las maderas de las frondosas verdes o recién cortadas.

Trazan galerías en la corteza interior, o pegadas a ella, que parten de la galería nupcial o materna y aumentan de sección al alejarse debido al crecimiento de la larva. Con agujeros de 1 a 3 mm, no presentan serrín pero están cubiertas de una capa de moho fino y a rayas que necesitan las larvas para digerir las estructuras leñosas. El ataque, muy superficial, puede permanecer hasta que seque la madera.

Las larvas son similares a las de los curculiónidos, muy pequeñas y ligeramente encorvadas con una cabeza diferenciada. Son ápodas, gruesas y blanquecinas. Los adultos, de 2 a 6 mm, son oscuros y cilíndricos con antenas claviformes y angulosas.

Tienen un tórax grande, normalmente con élitros ahuecados atrás, patas cortas y fuertes y una cabeza más ancha y corta que el de los gorgojos.

LÍCTIDOS (polillas de la madera), con géneros como el Lyctus, prefieren la madera de las frondosas y las tropicales secas, con vasos de gran tamaño.

Son frecuentes en tarimas y parquets y atacan sobre todo a la albura. Las galerías se llenan de un polvo finísimo, como talco o harina, con agujeros de salida ligeramente ovalados de Ø= 1-1,5 mm y la madera puede aparecer deshecha casi en su totalidad.

Las larvas, en forma de cuerno, tienen cabeza consistente y ligeros pelos en el dorso, patas poco visibles y pequeños agujeros en su borde ventral. Los adultos, de 2 a 6 mm, son planos, delgados y de color marrón, con antenas terminadas en una maza grande de dos artejos. La última articulación de los tarsos es muy larga.

LIMEXÍLIDOS, es otra familia dentro de los coleópteros (bromas o limas), con géneros como el Limexylon. Tiene preferencia por las maderas de las frondosas y por las especies con madera seca de albura con vasos de gran diámetro y un contenido de almidón superior al 1,5 %.

No ataca al chopo ni al haya y daña especialmente los entarimados. Reconocida por el serrín finísimo de sus galerías, rectilíneas de 1 a 2 mm, puede entrar en el duramen del roble.

Los adultos, de 7 a 12 mm, son largos y felpudos. Los machos presentan palpos muy ramificados y los élitros son cortos y con pequeñas escamas.



Varios insectos xilófagos adultos.

PLATIPÓDIDOS (escarabajos de ambrosía), con géneros como Platypus, prefieren las maderas de las frondosas. Son insectos pequeños que exigen un alto contenido de humedad y sólo atacan a los árboles debilitados, muertos en pie o recién cortados.

Es aconsejable evitar sus daños en el monte, pulverizando los rollizos apeados entre marzo y noviembre, dentro de las 24 horas siguientes a la tala con emulsiones de lindano al 0,75 %.

Las larvas son similares a las de curculiónidos y escolítidos y los adultos, de 5 a 6 mm, son cilíndricos y presentan un tórax con muescas en los costados; el primer artejo del tarso es largo.

PTÍNIDOS (escarabajos araña), con géneros como Ptinus, que también suelen atacar a las frondosas. Crean túneles circulares de Ø= 2 mm, rectos y no muy profundos que con frecuencia sólo son entrantes superficiales.

Las larvas son típicamente escarabeiformes y suelen parasitar a las larvas y pupas de otros xilófagos. Los adultos, por otro lado, son de 3 a 5 mm, oscuros y rechonchos, con largas patas y antenas y una cabeza por lo general oculta bajo el tórax.

HIMENÓPTEROS (ABEJAS, AVISPAS, HORMIGAS, MOSCAS, ETC.)

CALCÍDIDOS, con géneros como Pteromaelia y Theocolas, que eligen cualquier madera atacada por coleópteros xilófagos, utilizando los mismos agujeros o abriendo otros más pequeños (Ø= 1-2 mm), por donde suelen sacar serrín para avanzar hacia la larva parasitada.

Las larvas son más o menos vermiformes, presentan formas caprichosas según la especie y parasitan a diferentes coleópteros. Los adultos, como mosquitos pequeños de variados colores y reflejos metálicos, tienen un vuelo nervioso. Las hembras, por su parte, poseen talle de avispa y un oviscapto muy fino y alargado.

FORMÍCIDOS (hormigas), con géneros como Acanthomyops, Camponotus y Poneria, aparecen en cualquier madera en contacto con el suelo, a la que perforan para hacer el hormiguero, por lo que los ataques suelen ser bien localizados. No se alimentan de ella pero forman galerías limpias, pulidas y muy enrevesadas que dejan a la madera como un hojaldre, a veces sin su capa externa.

Los huevos son de color blanco marfil y las larvas parecen pequeños gusanos siempre en compañía y bajo la protección de los adultos obreros.

SIRÍCIDOS (avispas porta-sierra), con géneros como Paururus, Sirex o Urocerus, prefieren las coníferas con corteza, enfermas o recién cortadas. No suelen atacar a la madera una vez puesta en obra.

Las galerías son de trazado arqueado y hasta 20 cm de longitud, con sección de unos 6 a 10 mm con serrín mezclado con heces que forman grumos toscos y fibrosos, compactos y pegados. Los agujeros presentan bordes vivos.

Las larvas son grandes (30 a 40 mm), blanquecinas y alargadas, con una púa final y patas torácicas vestigiales. Los machos adultos son de 10 a 25 mm y las hembras, de 15 a 35 mm, si bien recuerdan a las avispas su cuerpo es grueso, cilíndrico y sin talle. El oviscapto de la hembra parece un aguijón.

LEPIDÓPTEROS (MARIPOSAS)

CÓSIDOS (cosos), con géneros como Cossus y Zeuzera. Eligen la madera de las frondosas y frutales pero no atacan una vez puesta en obra. Crean galerías irregulares ligeramente elípticas de Ø= 15-20 mm, limpias y de trazado longitudinal muy largo. El agujero de salida presenta bordes ligeramente desgastados.

Las larvas, de 7 a 10 mm, tienen un vivo color rojo amarillento, aspecto carnoso con el dorso endurecido y un característico olor a fenol. En cambio los adultos aparecen como grandes mariposas nocturnas de 70 a 90 mm, con el ala anterior sin celda grande y la espiritrompa atrofiada.

ISÓPTEROS (COMEGENES)

TERMÍTIDOS (termes o termitas) pueden clasificarse en Cryptotermes, Kalotermes y Reticulitermes.

La primera, especie canaria Cryptotermes brevis Walker, anida en la madera seca y es esencialmente casera; la segunda, por su parte, se alimenta de árboles caídos en el bosque.

En edificación, la especie más común, dañina y peligrosa es la del reticulitermes lucífugus, que anida en el suelo y puede construir túneles o galerías aéreas, que cubre con barro hasta localizar la madera.

Desde su nido, centro principal de la colonia, construye numerosas galerías que le permiten alcanzar la superficie del suelo y el maderamen de los edificios.

La madera aparece deshecha como un hojaldre y con cámaras interconectadas.

Las galerías tienen un trazado preferentemente longitudinal y aparecen limpias con algunos restos (heces, tierra, astillas) y la capa externa permanece para proteger a los insectos de la luz.

Los huevos son similares a aquellos de las hormigas. Permanecen en cámaras y bien cuidados hasta que las larvas pasan por el estado de ninfa.

Los adultos también recuerdan a las hormigas, pero su cuerpo es blanco, casi transparente por la ausencia de quitina y además presentan diferencias anatómicas entre castas de obreros y soldados.

Tienen una época alada en la que cuentan con cuatro alas iguales y su movimiento es rápido y nervioso.

PROTECCIÓN DE LA MADERA

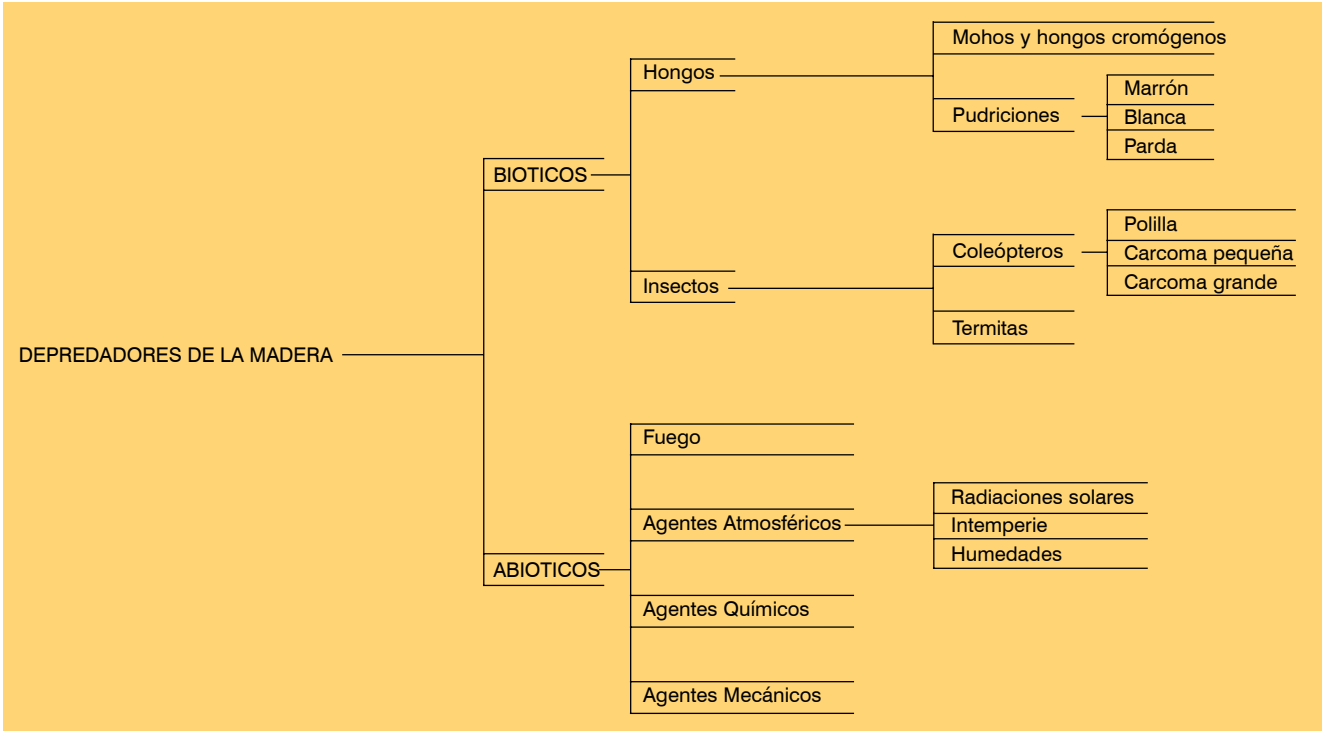
El desarrollo de la industria de la conservación de la madera se inició tras comprobarse que el duramen, por estar impregnado de diversas sustancias según las distintas especies florales, es más duradero que la albura. Ésta, al transformarse en duramen, recibe taninos, resinas, esencias y otros varios productos complejos que oscurecen su color e incrementan su duración.

FACTORES INCIDENTES EN LA PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA MADERA

En la actualidad resultan muy efectivos y económicos los tratamientos por impregnación química de la madera. Para llevarlos a cabo de manera correcta, se ha de tener un adecuado conocimiento de:

- **LA MADERA A PROTEGER**, curativa o preventivamente.
- **LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO** donde se ubicará la madera, lo que implica reconocer a todos aquellos agentes de origen biótico o abiótico que pudieran dañarla.
- **LOS PROTECTORES QUÍMICOS** más aptos para la conservación o protección de la madera, en función de cada caso. Por lo general se emplean en solución líquida.
- **LOS SISTEMAS DE IMPREGNACIÓN QUÍMICA PROTECTORA** de la madera, siempre en relación con lo considerado en los puntos anteriores.

El importante coste que la madera supone para la economía hace necesario que se superen los aspectos negativos que esta materia prima presenta, en relación con su perceptibilidad, a fin de poder mejorarla respecto a sus características iniciales.



AGENTES DEPREDADORES DE LA MADERA

Así, un adecuado tratamiento preventivo por impregnación, en todo su volumen o en ocasiones superficialmente, puede ser la mejor respuesta ante el reto del fuego, la humedad, los insectos y los hongos xilófagos.

Cada especie de madera se comporta de forma diferente frente a los agentes de deterioro, ya que sus propiedades varían de acuerdo a las características de las paredes celulares y, en consecuencia, a las de sus componentes.

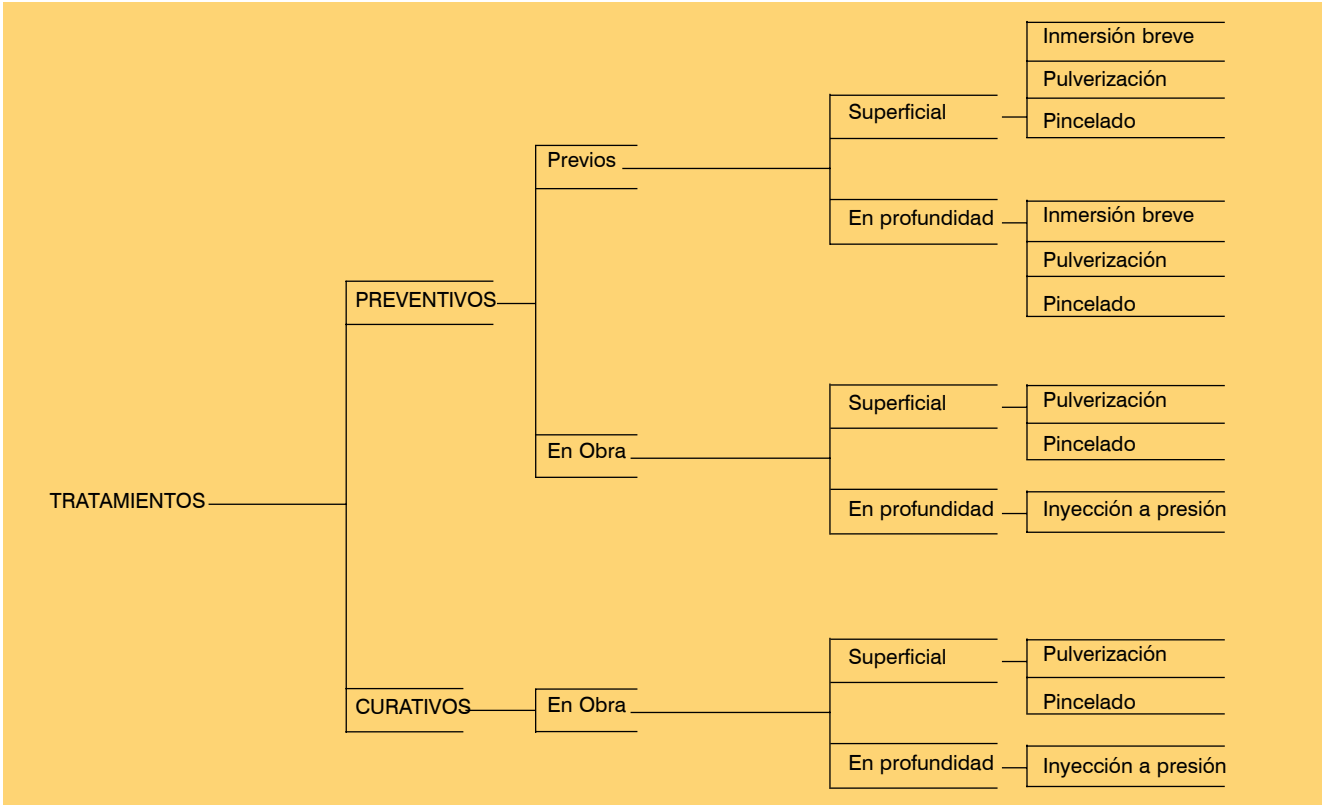
De esta manera, es fundamental tener siempre presente la micro y macroestructura de la madera, su composición química, su grado de durabilidad natural y su permeabilidad a las sustancias líquidas.

De forma general la madera de duramen, más densa y dura que la de albura, es menos susceptible de ataques, más permeable al paso de los líquidos y, por lo tanto, más fácilmente impregnable.

La composición química de la madera es un factor de importancia al considerar la potencialidad de ataques de deterioro de diversos agentes bióticos, que se alimentan bien de las sustancias de reserva, bien de los componentes de la pared celular.

Las sustancias de reserva se encuentran sobre todo en los radios leñosos, en mayor cantidad en la época inmediatamente anterior a la foliación del árbol. Sin embargo, son los componentes de la pared celular de la madera, en general constantes a lo largo del año, los que más importancia tienen en relación con el ataque de los diversos organismos.

Como señaláramos anteriormente, los componentes principales de la pared celular son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina y, para las maderas de coníferas y frondosas, la composición química porcentual de cada una de ellas es la siguiente:



TRATAMIENTOS DE LA MADERA

Elemento	Frondosa	Conífera
CELULOSA	50 %	50 %
HEMICELULOSA	23 (19-25)%	26 (23-30) %
LIGNINA	27 (23-31)%	24 (22-30) %

La durabilidad natural de la madera se refiere a la resistencia inherente que presenta frente al ataque de organismos destructores. La respuesta de una determinada especie de madera frente a un agente dado puede variar con relación a diversos factores incidentes, tales como la parte del árbol de que se trate, el origen de la madera y la cantidad de productos extractivos como resinas, fenoles y taninos, entre otros. Por ejemplo, la madera de albura de las distintas especies suele ser siempre atacable por xilófagos, al contrario de lo que sucede con la de duramen.

Las normas europeas EN 350.1 y 350.2 / 94 consideran distintas clases de durabilidad natural de la madera según sean los agentes que la atacan:

- **FRENTE A LOS HONGOS XILÓFAGOS**, cuatro clases: muy durables, durables, medianamente durables y no durables.
- **FRENTE A LOS INSECTOS XILÓFAGOS** de los órdenes isóptero y coleóptero, tres clases: muy durables, medianamente durables y no durables.
- **FRENTE A LOS XILÓFAGOS MARINOS** (moluscos y crustáceos), tres clases: durables, medianamente durables y sensibles.

Para madera húmeda	Procesos de sustitución de savia	Sistemas Boucherie normal y modificado Sistema de Banda de presión Sistema mixto
	Procesos de difusión	Sistema de difusión normal Sistema de bandas Sistemas de doble difusión Sistema de orificios Sistema Cobra
	Procesos sin autoclave	Sistemas de pincelado y pulverizado Sistema de inmersión breve Sistema de inmersión prolongada Sistema de inmersión caliente y fría
Para madera seca	Procesos con autoclave y con presión	Sistema de Cédula vacía Sistema Rupping Sistema Doble Ruppin Sistema Lowry Sistema Oscilante Sistema Alternativo Sistema de Cédula llena Sistema Bethell
	Procesos con autoclave y sin presión	Sistema de Cédula llena Sistema Vac-Vac

TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA SEGÚN SU HUMEDAD INICIAL

La humedad es uno de los factores de agresividad del medio y es, de hecho, la base a partir de la cual las normas europeas EN 335.1 y EN 335.2 / 95 determinan categorías de riesgo de la madera en función de su ubicación, a saber:

- **RIESGO 1**: corresponde a maderas situadas en lugares protegidos de la intemperie, con grados de humedad siempre menores al 20 %. Ej.: en interiores de edificios.

- **RIESGO 2**: para aquellas maderas colocadas en lugares protegidos de la intemperie en los que sólo de forma ocasional puede aparecer un grado alto de humedad sin que se produzcan condensaciones constantemente. Ej.: maderas exteriores sin contacto con la lluvia.

- **RIESGO 3**: corresponde a las maderas que no están en contacto con el suelo y que, ya sea a la intemperie o no, se hallan en lugares donde pueden producirse condensaciones continuamente. Ej.: vigas de sótano.

- **RIESGO 4**: categoría de las maderas situadas a la intemperie, en contacto con el suelo o agua dulce y sometidas todo el tiempo a un grado de humedad elevado. Ej.: fundaciones o encadenados.

- **RIESGO 5**: para maderas sumergidas esporádica o permanentemente en agua marina y sujetas a un grado de humedad alto. Ej.: pilotes de muelle.

TIPOS DE PROTECCION	SISTEMA DE TRATAMIENTO	TIPO DE PROTECTOR
Superficial	Pincelado Pulverizado Inmersión breve	Frecuentemente en disolvente orgánico
Media	Inmersión prolongada Desplazamiento de savia Autoclave: vacío-vacío vacío-presión	Hidrosolubles Hidrosolubles En disolvente orgánico Hidrosolubles y en disolvente orgánico
Profunda	Inmersión caliente y fría Difusión Autoclave vacío-vacío y vacío-presión	Hidrosolubles Preferentemente hidrosolubles En disolvente orgánico e hidrosoluble

GRADOS DE PROTECCIÓN SEGÚN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PREVENTIVOS DE LA MADERA

Si se conoce la ubicación posterior de la madera y, por lo tanto, la categoría de riesgo en la que se va a encontrar, se pueden escoger la especie más adecuada, de acuerdo a su durabilidad natural, y un tratamiento protector apropiado.

TRATAMIENTOS PROTECTORES DE LA MADERA

Existen dos maneras de encarar la conservación de la madera que no deben confundirse. Una de ellas consiste en dar a la madera un menor o mayor grado de protección externa que evite la entrada de organismos xilófagos; la segunda, cuando no se ha tenido la precaución de tratar la madera antes de la puesta en obra, implica eliminar los parásitos una vez introducidos en ella.

En consecuencia, los tratamientos se diferencian en tratamientos preventivos y tratamientos curativos. Los primeros se realizan sobre madera sana, a colocar o ya colocada en servicio, y los segundos se dirigen a la madera dañada previamente.

MÉTODOS PREVENTIVOS

De gran importancia ya que pueden cuadriplicar o quintuplicar la vida media de la madera, los tratamientos preventivos se pueden clasificar en función del grado de penetración de la solución protectora, o según el nivel de humedad presente en el momento de su impregnación.

En el primer caso los tratamientos se dividen en:

- **TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**, con penetración entre 1 y 3 mm.
- **TRATAMIENTOS MEDIOS**, con penetración de 3 milímetros e inferior al 75 % del área impregnable de la pieza.
- **TRATAMIENTOS PROFUNDOS**, con una penetración superior al 75 % del área potencialmente impregnable de la pieza.

En todo caso, la protección guarda relación con las condiciones en las que serán puestas en servicio las piezas. Las maderas de uso exterior en contacto con el suelo, con agua dulce o con agua de mar o situadas en ambientes saturados de humedad, deben estar muy bien protegidas.

ALGUNAS DEFINICIONES SOBRE LOS PROTECTORES QUÍMICOS

El término absorción hace referencia a la cantidad de protector líquido o sólido absorbido por la madera, que depende de la humedad y características de la madera a tratar, del sistema de impregnación y de la naturaleza del producto químico utilizados.

A menos que se trate de impregnación por difusión, es absolutamente necesario que el elemento leñoso se haya secado antes del tratamiento, no sólo para evitar que el agua contenida en su interior dificulte o imposibilite la absorción de producto, sino también porque es durante el secado cuando se pueden producir las fendas que expondrían su parte interior no impregnada al ataque de los organismos xilófagos.

Con respecto a los productos químicos utilizados en la conservación de la madera, se considera que de los tres grandes grupos en que suelen estar divididos, los hidrosolubles, seguidos de las creosotas y los orgánicos, son los que presentan mayores absorciones cuando se impregnan en similares condiciones.

La penetración es la profundidad de la capa tóxica con que se protege la madera. Ésta también depende, como en el caso anterior, del sistema de impregnación utilizado, de la humedad y características de la madera que requiere impregnación y de la naturaleza del producto químico que vaya a ser empleado.

Para que la impregnación pueda ser profunda la madera debe estar seca y desprovista de sus cortezas exterior e interior, cuya impermeabilidad impide la entrada de los líquidos.

Los orgánicos y las creosotas son los que tienen mayor poder de penetración y las segundas, al ser más viscosas, lo hacen con menos profundidad aunque las condiciones sean las mismas.

Por ejemplo, se considera que la madera de haya, por carecer de duramen, se impregna fácilmente con creosota a baja presión en autoclave.

Y, con presiones normales y creosota, se obtienen penetraciones profundas de albura, o limitadas de duramen, en maderas de uso más frecuente tales como el abeto, castaño, chopo, eucalipto, nogal, olmo, pino y roble.

Como la albura ofrece poca resistencia a la penetración, es más fácil tratar los rollizos antes de su aserrado ya que, al presentar capas externas y uniformes de madera permeable, permiten impregnaciones más completas y profundas.

Si la clase de madera dificulta la impregnación, ésta se puede aumentar haciendo incisiones superficiales con maquinaria apropiada que favorezcan la penetración lateral de los protectores, sin perjudicar la resistencia mecánica de las piezas.

Por otro lado, por retención se entiende la cantidad de protector líquido o producto sólido en la zona periférica impregnada que da, con la penetración, el verdadero grado de protección de la madera. Cuando se emplean los hidrosolubles u orgánicos, con duraciones de impregnación constantes, las retenciones sólidas medias se elevan con la solubilidad de cada solución.

No debe confundirse retenciones con absorciones; mientras las primeras definen el grado de protección, las segundas expresan el gasto de producto a realizar para impregnar el metro cúbico de la pieza de madera.

TRATAMIENTOS CON MADERA HÚMEDA

Se considera húmeda a la madera que presenta una humedad superior al punto de saturación de las fibras. En estos casos, los tratamientos posibles son los siguientes:

- ***PULVERIZACIÓN SUPERFICIAL***: tratamiento preventivo temporal, aplicable a maderas recién apeadas y a tablas y tablones húmedos en la serrería.

- ***SUSTITUCIÓN DE SAVIA***: sistema protector de los rollizos recién cortados, que se logra al inyectar una solución por la parte más gruesa del rollizo que, avanzando por la albura con el movimiento de la savia, la sustituye.

- ***DIFUSIÓN***: tratamiento que se vale del agua libre de los lúmenes celulares para introducir las materias activas del protector en el interior de la madera con alto grado de humedad.

  El proceso consta de varias fases:

  A) desecación parcial de la madera (superior al 30 %);

  B) inmersión de la madera en la solución protectora, preferiblemente más concentrada que en otros sistemas;

  C) periodo de difusión en atmósfera saturada de humedad;

  D) secado final de la madera tomando recaudos para evitar que se formen fendas.

TRATAMIENTOS CON MADERA SECA

Los tratamientos preventivos con madera seca son los más empleados en todos los sectores y suponen unas tareas de pre-acondicionamiento de la misma a fin de optimizar los resultados. Estas labores previas pueden ser, entre otras, de secado e incisionado (para maderas poco permeables).

A continuación distinguiremos entre procesos sin autoclave y con autoclave y, en este último grupo, entre los que utilizan presión y los que no.

PROCESOS SIN AUTOCLAVE

Incluye los sistemas de ***PINCELADO Y PULVERIZADO*** (superficial), ***INMERSIÓN BREVE*** (superficial), ***INMERSIÓN PROLONGADA*** (más que superficial), ***INMERSIÓN CALIENTE Y FRÍA*** (protección total) y de ***DIFUSIÓN***.

PINCELADO: el protector se aplica superficialmente mediante una brocha, por lo general en tres manos. Las penetraciones alcanzadas no suelen superar los 2 o 3 cm en el mejor de los casos (maderas de alta permeabilidad) y el resultado es una delgada capa tóxica superficial. Por sus características, este tratamiento ha de ser empleado en situaciones de baja agresividad del medio. Si el entorno es más desfavorable, se recomienda la reiteración anual del proceso. Suelen ser de este tipo los tratamientos anti-fotodegradación que se aplican a las maderas situadas al exterior.

La conservación de la madera por pincelado no consiste en pintarla con un protector determinado, se trata más bien de procurar empaparla a fin de que el líquido utilizado entre lo mejor posible en todas las juntas, grietas y fisuras de la madera. Para facilitar su absorción se dan varias manos cuando las primeras penetran totalmente.

PULVERIZADO: es similar al anterior en cuanto a su efectividad. Se emplean protectores semejantes y se considera que tres manos de pincelado equiparan a una pulverización adecuada.

INMERSIÓN BREVE: ésta consiste en sumergir la madera en la solución protectora a temperatura ambiente, por lo general durante un lapso no mayor a los 10 minutos.

Luego se procede al secado de la madera y se emplean protectores en disolvente orgánico, únicamente para impregnar piezas acabadas de poco grueso que vayan a ser colocadas en ambiente seco y no puedan ser sometidas a tratamientos más completos.

INMERSIÓN PROLONGADA: es poco empleada porque, pese a conseguir altos grados de penetración y retención del protector en la madera, requiere mucho tiempo. La inmersión prolongada en hidrosolubles proporciona buenas retenciones y penetraciones muy poco profundas.

Las maderas no muy gruesas que se sumergen en creosotas quedan bien protegidas para su uso exterior si el nivel de protección no tiene que ser muy elevado. En cambio, si se quieren emplear los orgánicos, hay que considerar su utilización sólo en inmersiones con impregnación completa de piezas delgadas dada sus bajas solubilidades utilizadas y las bajas retenciones alcanzadas.

INMERSIÓN CALIENTE Y FRÍA: consiste, en primer lugar, en someter la madera a un baño a altas temperaturas en la solución del protector o en agua (si se emplean protectores hidrosolubles) y, a continuación, a un baño a temperatura ambiente. Los procesos suelen ser de 24 horas de duración, con 1 a 4 horas de baño en caliente y el resto en frío.

La efectividad del sistema se basa en dos factores: la diferencia de temperaturas de los baños (más efectivo a mayor diferencia) y el tiempo de mantenimiento de la madera en el baño frío (más efectivo cuanto más tiempo se sumerja). Las creosotas y los orgánicos son los que mejor se adaptan a este sistema de impregnación ya que pueden alcanzar temperaturas máximas de 100 ºC.

Esta práctica se hace de tres formas distintas: calentando y enfriando al mismo tiempo la madera y el protector, trasladando la madera caliente a otro recipiente que contenga producto frío, o bien evacuando el protector caliente para sustituirlo por el frío.

De cualquier manera, aunque se usen la misma clase de madera y similares productos y tiempos de inmersión, la disminución de la viscosidad de los protectores con el aumento de la temperatura y el vacío que se forma al enfriarse la madera dan mejores resultados que el sistema de inmersión prolongada.

DIFUSIÓN: proceso por el cual una mezcla de dos soluciones de distinta concentración se transforma en otra de concentración homogénea. Esta práctica de conservación de maderas tiene dos fases.

En la primera fase, la madera verde recién aserrada es sumergida en el protector para que absorba de manera superficial y lo antes posible la cantidad de materia activa que, difundida luego en la madera, equivalga a la retención sólida deseada.

Y, en la segunda fase, se almacena la madera en cobertizos con atmósfera saturada de humedad, o bajo lonas o telas plastificadas que impidan su desecación, con el fin de completar el proceso de la difusión del producto absorbido. Una vez finalizada la segunda parte se deja secar la madera normalmente.

El proceso de difusión también puede conseguirse recubriendo las superficies externas descortezadas con pastas protectoras que sustituyan a las soluciones de tratamientos y, embadurnadas así, se las mantiene en atmósfera húmeda el tiempo necesario para completar el proceso.

Un ejemplo es el sistema denominado Cobra, en el cual la pasta protectora es inyectada directamente en la madera a través de una aguja hueca accionada por un brazo palanca. Se utiliza sobre todo en la reimpregnación de las zonas de empotramiento de postes de conducción eléctrica o telefónica puestos ya en servicio, donde la humedad del terreno proporciona el agua necesaria para completar la difusión de la pasta.

Pero esto también se logra con el sistema de vendajes protectores, para lo cual se descalza el poste y se embadurnan las zonas de empotramiento con la cantidad de pasta deseada y se las venda enseguida para conservar su humedad y evitar el contacto de la pasta con el suelo.

PROCESOS CON AUTOCLAVE

En la actualidad son las plantas industriales tipo ***AUTOCLAVE*** las que se utilizan para el tratamiento protector preventivo de la madera a gran escala, dada la operatividad y eficacia que han alcanzado, ya que permiten tratar hasta 6 m^3 de madera en 1 hora.

Las penetraciones y retenciones necesarias no pueden ser obtenidas cuando la humedad de la madera es superior al 30 %. Si no se había secado, antes del tratamiento hay que desecarla en el cilindro de impregnación, calentándola con vapor de agua o con el protector y sometiéndola a un vacío que favorezca la rápida evaporación del agua hasta llegar al porcentaje de humedad deseado.

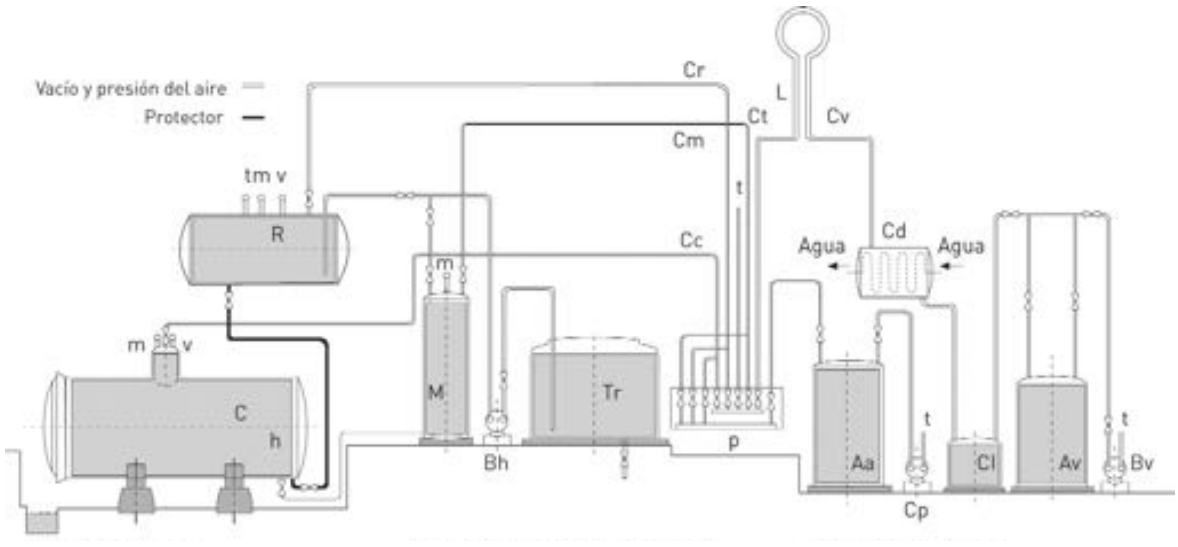
PROCESO DE AUTOCLAVE CON EMPLEO DE PRESIÓN: comprende las siguientes fases:

- **COLOCACIÓN** de la madera en la cámara de impregnación y aplicación de aire a presión hasta alcanzar 3-5 kg/cm².
- **INTRODUCCIÓN** de la solución del protector en contacto con la madera elevando la presión hasta alcanzar la denominada presión de trabajo.
- **ESTABLECIMIENTO** de la presión atmosférica y evacuación de la cámara de impregnación del exceso de protector que no haya penetrado en la madera.
- **APLICACIÓN** de un vacío final en la cámara, con el objeto de dejar la madera limpia y sin exceso de protector.
- **EVACUACIÓN** del protector sacado de la madera tras volver a la presión atmosférica y, por último, extracción de la madera ya impregnada.

Por medio de este sistema se logra una buena penetración del protector en la madera y una baja retención. En consecuencia, se considera un proceso de protección más económico.

PROCESO DE AUTOCLAVE SIN EMPLEO DE PRESIÓN: es, de los utilizados en la actualidad, el más importante. Se ha extendido y cuenta con un elevado número de plantas industriales en diversos países. Llamado también vacío-vacío, se lo conoce vulgarmente como Vac-Vac.

En general se emplea con protectores en disolvente orgánico para maderas de media y baja resistencia a la impregnación. No obstante, se puede utilizar también para aquellas de alta densidad y difícil impregnación mediante la aplicación de una variable al sistema, por lo que se denomina, en este caso específico, sistema de pseudo vacío-vacío. La aireación requiere una presión intermedia de hasta 2 kg/cm² como máximo durante el periodo de inmersión central, para lo que se emplea una bomba hidráulica de impulsión.



Bv: bomba de vacío.
Av: acumulador de vacío.
Cd: condensador.
Cl: colector.
L: conducto ahorquillado que impide la llegada del protector a la bomba de vacío.
Cp: compresor.

Aa: acumulador de aire comprimido.
Tr: depósito de reserva del protector.
Bh: bomba hidráulica para llenar los depósitos de medida (M) y calentador auxiliar (R).
C: autoclave.
m,v,t: manómetros, vacuámetros y termómetros.

Cv: conducción de vacío.
Cm: comunicación con el depósito de medida.
Ct: comunicación con la atmósfera.
Cr: comunicación con el cilindro calentador auxiliar.
Cc: comunicación con el autoclave.
p: presión de aire.

Instalaciones para tratamiento en autoclave.

GRADOS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA

Estos valores varían en relación con la agresividad del medio en el que se ubica la madera. Teniendo en cuenta el tipo de protector a emplear, se indica:

***PROTECTORES HIDROSOLUBLES**:*

- Retenciones entre 7 y 20 kg/m³ de madera.

- Penetraciones totales de albura.

PROTECTORES EN DISOLVENTES ORGÁNICO:

- Retenciones entre 20 y 30 kg/m³ de madera.

- Penetraciones totales de albura.

ORGÁNICOS NATURALES (CREOSOTAS):

- Retenciones entre 80 y 90 kg/m³ de madera, según el uso.

- Penetraciones totales de albura e incluso mínimas de duramen.

Para alcanzar los grados de retención y penetración del protector en la madera mediante el autoclave se emplean una células de tratamiento que varían en composición, concentración y tipo según los protectores utilizados y la especie y dimensión de la madera.

En síntesis, el empleo adecuado del autoclave permite que la madera, según la especie y en relación con la agresividad del medio, retenga la cantidad necesaria de producto químico protector. Asimismo, este tratamiento preventivo de la madera en todo su volumen adquiere importancia en una época en que la misma comienza a escasear y puede ser de una gran trascendencia ecológica si permite que descienda el volumen de talas en el mundo.

Encontrar el tratamiento protector preventivo adecuado para la madera implica el conseguir un material con mejores prestaciones que el tradicional, que pueda responder a la agresividad de ciertos agentes de deterioro de origen abiótico y biótico, pudiendo así competir con otros más modernos que la suplantaron en distintos sectores de empleo.

LOS PROTECTORES QUÍMICOS DE LA MADERA

En el año 1829 Boulton patentó un sistema de tratamiento protector de la madera basado en las prácticas de momificación de los antiguos egipcios. Sin embargo, en lugar del producto empleado por aquellos –el Natron–, utilizó SO_4Cu.

En 1836 utilizó por primera vez el creosotado de la madera en recipientes cerrados de hierro, lo que posiblemente fue el inicio del tratamiento de la madera en autoclave. En las décadas de 1850 a 1870, con motivo del desarrollo del ferrocarril, la electricidad y el telégrafo, se realizaron grandes investigaciones en el campo de la conservación de la madera.

En 1883, y en virtud de los estudios sobre la creosota de Coisne, Boulton y Tidy, se sentaron las bases de las normas británicas de protección de maderas desarrolladas por la British Wood Preserver Association (BWPA), hoy conocidas como normas BSI.

De esta manera se comenzó a proteger la madera de los organismos mediante su impregnación total o parcial con los protectores químicos adecuados, que la transforma en una materia tóxica que impide que hongos, insectos, moluscos o crustáceos xilófagos penetren en su interior y la destruyan.

Los protectores químicos de la madera deben cumplir con ciertas condiciones que es importante exigir a los proveedores de los distintos productos para así constatar el nivel de desempeño de cada uno. Dichas exigencias comprenden que:

- **SEAN BIOCIDAS**, es decir, tóxicos para los organismos bióticos de deterioro.

- **NO SEAN EVAPORABLES** y puedan permanecer en la madera durante el tiempo esperado.

- **PUEDAN SER INTRODUCIDOS EN LA MADERA** para alcanzar buenos grados de penetración y retención.

- **NO PRODUZCAN DETERIOROS** a las propiedades de la madera exigidas para el uso a que fue destinada.

- **NO SEAN DISUELTOS** por agua dulce o de mar y que no puedan ser arrastrados por la lluvia, el agua o la humedad.

- **NO SEAN CORROSIVOS** para los metales.

- **NO AUMENTEN** la inflamabilidad de la madera colocada en lugar de riesgo.

- **NO DESPRENDAN VAPORES TÓXICOS** para las personas ni olores persistentes y desagradables al utilizarlos en maderas colocadas en minas, sótanos o locales subterráneos o en las que sirven para almacenar alimentos o agua potable.

- **NO SEAN FITOTÓXICOS** si se emplean en maderas destinadas a ciertas aplicaciones agrícolas de jardinería y horticultura.

- **SEAN INCOLOROS** y/o que permitan una capa de pintura, cera o barniz cuando la madera lo requiera.

- **NO MANCHEN**, sobre todo en los casos en que deba trabajarse la madera después de su impregnación.

Los productos químicos protectores de la madera suelen ser soluciones líquidas con propiedades biocidas de los organismos deteriorantes de la madera.

Esta definición, por lo tanto, excluye a las pinturas y barnices que lo único que logran es una cubrición de la madera de resistencia temporal variable.

Todo producto químico protector de la madera se compone de:

- **DISOLVENTE**: vehículo de entrada en la madera de las materias activas.

- **MATERIAS ACTIVAS Y BIOCIDAS**: en ocasiones son incluso efectivas frente a agentes de origen abiótico.

- **COADYUVANTES**: refuerzan la acción de las materias primas e incrementan la efectividad del protector.

CLASE DE PERMEABILIDAD	TRATABILIDAD DE LA MADERA	EXPLICACION
1- permeable	Impregnable	Penetración total por tratamiento de presión
2- moderadamente resistente a la penetración	Medianamente impregnable	Generalmente no es posible alcanzar penetración total, pero con un tiempo de 2-3 horas, con presión, se alcanzan penetraciones de 6 mm en maderas tanto de coníferas como frondosas, con un gran porcentaje de vasos penetrados
3- resistente a la penetración	Poco impregnable	Difíciles de tratar. Con tratamiento de 3-4 horas, con presión, no se alcanzan más de 3 a 6 mm de penetración lateral
4- muy resistente a la penetración	No impregnable	Virtualmente impenetrable al tratamiento. Penetraciones longitudinales y transversales mínimas. Tras 3-4 horas de tratamiento hay pequeña absorción de protector

PERMEABILIDAD DE LA MADERA Y SU TRATAMIENTO

En función de su naturaleza química, estos productos son clasificables en:

- **PROTECTORES ORGÁNICOS NATURALES**: creosotas y afines.
- **PROTECTORES HIDRODISPERSABLES**: de escaso empleo, con materias activas insolubles en agua, a las que se añade un emulgente para poderlas introducir en la madera en solución acuosa.
- **PROTECTORES HIDROSOLUBLES**: sales, retardantes del fuego, otros.
- **PROTECTORES EN DISOLVENTE ORGÁNICO**.
- **COMPUESTOS NITRADOS**.
- **COMPUESTOS CLORADOS**: fenoles, bencenos y naftalenos.
- **COMPUESTOS ORGANOMETÁLICOS**: naftenatos, organomercuriales.
- **COMPUESTOS ORGANOESTAÑOSOS**.
- **COMPUESTOS ESTAÑOBUTÍLICOS**: TBTO.

PROTECTORES ORGÁNICOS NATURALES: los más importantes son las creosotas, que se obtienen destilando alquitranes logrados en procesos de combustión de carbones grasos –normalmente hullas– de distintas industrias. Sus propiedades dependerán tanto del tipo de carbón utilizado como de los procesos de destilación.

La madera bien «creosotada» se conserva casi indefinidamente y sólo se repone por desgaste físico. Cualquier pudrición o ataque de organismos xilófagos puede deberse a que la madera utilizada no estaba seca antes del tratamiento, a que la creosota no cumplía las condiciones especificadas, o a que su penetración o retención no eran las adecuadas.

	HIDROSOLUBLES	PROTECTORES EN DISOLVENTE ORGÁNICO	CREOSOTAS
COLOR	Adquiere tonalidad	No varía	Oscuro que pasa a marrón
OLOR	Ninguno	Dependiendo del disolvente usado	Fuerte, en disminución
PINTURA	Se puede	Se puede	No se puede
CORROSIÓN DE METALES	Se pueden producir	No se dan	No se dan
ESTABILIDAD AL H_2O	No la incrementan normalmente	La incrementa normalmente	La puede mejorar
RESISTENCIA	Varía poco	Varía poco	Varía
FITOTOXICIDAD	Ninguna normalmente	Ninguna; algo con los organismos dañados	Inicialmente es tóxica y posteriormente decrece

PROPIEDADES DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PREVENTIVOS DE PROTECCIÓN DE LA MADERA

Las principales ventajas de la creosota son su alta toxicidad frente a los organismos destructores, su fijación a la madera de forma definitiva por ser insoluble al agua y que no es corrosiva para los metales.

En contrapartida, sus mayores inconvenientes incluyen el desprender vapores que impiden utilizarla en minas y locales subterráneos o cerrados o para conservar envases de alimentos sensibles a los olores, el arder con mucho humo, el ser fitotóxica, el hecho de que mancha y el no permitir que la madera creosotada sea pintada.

CREOSOTAS: son mezclas de alquitranes ácidos, básicos y neutros que se diferencian por sus fines para:

- **APLICACIÓN SUPERFICIAL** (pincelado y pulverizado).
- **MADERA EN CONTACTO CON AGUA MARINA**: alto grado de viscosidad, se emplea a 100 ºC.
- **USO NORMAL DE IMPREGNACIÓN MEDIANTE AUTOCLAVE**: alto grado de viscosidad, se emplea a 100 ºC.

PROTECTORES HIDROSOLUBLES: son sales metálicas solubles en agua. Si se emplean para conservar una madera de uso interior o exterior sujeta a ciertas condiciones de humedad, deben perder su solubilidad al penetrar en ella.

Asimismo, tienen que quedar fijados e incorporados, de forma definitiva, para no ser arrastrados por la lluvia, el agua o la humedad.

Una de las principales ventajas de este grupo de protectores es que tanto sus componentes como sus porcentajes de composición se conocen perfectamente.

Además, pueden transportar en forma sólida y utilizar el agua como disolvente, no desprenden olores desagradables, no aumentan la inflamabilidad de la madera, no son fitotóxicos y no manchan.

Presentan propiedades biocidas frente a insectos y hongos xilófagos y en algún caso presentan propiedades retardantes del fuego. En cuanto a sus desventajas, hay que considerar el hecho de que humedecen e hinchan la madera, razón por la cual no son utilizables en algunos casos y, en otros, hay que volver a desecar las piezas tratadas.

En su composición general se encuentran:

- **DISOLVENTE**: el agua.
- **PRINCIPIOS ACTIVOS**: sales metálicas.
- **COADYUVANTES**: entre otros, los productos fijadores de los principios activos a la madera.

Entre las materias activas, solubles en agua, se distinguen tres tipos principales:

- **PREVENTIVO TEMPORALES**: aplicables a la madera al apear el tronco –en testas y heridas de desarme– o a tablas y tablones en serrerías; su efectividad dura alrededor de los tres meses.
- **SALES**: las más corrientes, se diferencian en función del elemento químico más importante. Existen de arsénico, de cobre, de zinc y de boro (estos últimos deslavables por el agua, lo que reduce su empleo a maderas de interior). Entre los protectores de As hay tres composiciones: As y Cu (arsenito de cobre amoniacal); As, Cu y Cr (arseniato de cobre cromado); As, F, Cr y dinitrofenol (fenol arseniato de Cr y F).

- **RETARDANTES** del fuego: existen dos tipos, los superficiales o de capa y los totales de aplicación en autoclave en profundidad. Los primeros actúan mediante la formación de una capa microporosa en la madera que impide el acceso de O_2 durante cierto tiempo, y los segundos producen gases inertes que impiden la normal combustión o catalizan la pirólisis hacia la formación de capas carbonosas de mayor grosor y, en general, producen una inhibición del proceso de la combustión. Son todos deslavables por el agua –salvo un producto conocido como non-comp exterior– por lo que su uso queda restringido a la madera de interior. Los más importantes son los de boro, los de Cl_2Zn, los de amonio y los de antimonio.

PROTECTORES EN DISOLVENTE ORGÁNICO: son los más modernos. Al emplear como materias activas productos insolubles en agua, los disolventes utilizados son por lo general derivados del petróleo, pero también algunos que provienen de aceites vegetales y alcoholes. Los coadyuvantes más significativos suelen ser ceras y resinas que mejoran la estabilidad dimensional de la madera frente al agua.

Los buenos protectores orgánicos quedan fijados e incorporados a la madera de forma definitiva por su insolubilidad en el agua, penetran con facilidad en la madera seca sin hincharla, no corroen los metales y no manchan. Por otro lado, si se utiliza el disolvente adecuado no tiñen la madera y la dejan en condiciones de ser pintada, encerada o barnizada.

El problema con estos productos es, sin embargo, que no suele conocerse sus componentes ni porcentajes de composición, además de ser bastante caros y de tener que ser transportados en forma líquida. Por último, durante el periodo en que tarda en evaporarse el disolvente, aumenta considerablemente la inflamabilidad de la madera impregnada.

Se diferencian los siguientes tipos de compuestos:

- **NITRADOS**: suelen ser alquitranes ácidos que, sometidos a nitración, incrementan su poder fungicida.

- **CLORADOS**: se distinguen los fenoles (pentaclorofenol), los naftalenos (xylamón) y los bencenos dorados (lindano, dieldrín, clordano).

- **ORGANOMETÁLICOS**: existen organomercuriales, naftenatos de Cu y de Zn, organoestañosos y estañobutílicos –eficaces y de gran permanencia en la madera por la afinidad entre los grupos tributílicos y la celulosa–. De estos últimos el más importante es el dióxido de tributilo estañado (TBTO).

- **ORGANONITROGENADOS**: incluyen los protectores de amonio cuaternario.

Asimismo, se utilizan para proteger los tableros, tanto los contrachapados como los de fibras. En el primer caso se impregna cada chapa por separado, para lo que se emplean adhesivos fenólicos que no afecten negativamente al fraguado de las colas empleadas.

Entre los productos comerciales de mayor empleo a nivel nacional se encuentran ***Tanalith C, Basilith triple, Xylamon, Cuprinol y Vac-sol***. Todos ellos se emplean en soluciones líquidas, aunque algunas formulaciones se pueden usar en forma sólida (pasta) y otras en forma gaseosa.

Mientras que las pastas se componen de materias activas y un aglutinante y se suelen aplicar a la madera por procesos de difusión, los gases biocidas se destinan a la madera afectada por organismos bióticos xilófagos tras su aislamiento del exterior.

Las principales materias activas que se usan en estos gases son el ácido cianhídrico, bromuro de metilo y de etileno, cloruro de metileno, óxido de etileno, sulfuro de carbono y díclorvos.

Algunos protectores orgánicos se utilizan en forma de esprays y se inyectan a la madera en orificios realizados previamente en las zonas afectadas. Uno de ellos es el ***Xylophene***.

PROTECTORES CONTRA EL FUEGO: responden a la necesidad de impedir o retrasar la combustión de la madera y de evitar en lo posible los daños y accidentes que puedan afectar a los locales e instalaciones más frecuentados.

Esta protección se consigue tratando la madera bien de manera superficial, revistiéndola de una capa aislante y resistente que impida el acceso del oxígeno o calor necesario para su combustión, bien con una impregnación total o parcial con productos ignífugos adecuados, que desprenden gases incombustibles al descomponerse por el calor y mezclarse con los procedentes de la destilación de la madera. La impregnación superficial es la más indicada cuando se tiene que ignifugar maderamen de grandes dimensiones.

En cambio, si se trata de dar una protección adecuada a las piezas pequeñas, su rápida combustión obliga a ignifugarlas totalmente.

La profundidad de la capa de madera ignifugada se pone de manifiesto con la misma técnica y reactivos utilizados para determinar la penetración de los protectores hidrosolubles de boro.

Algunos de los más comunes son dos grupos formados a base de nitrógeno, azufre, boro, zinc y cromo (I_1) y, por otro lado, nitrógeno, azufre, boro y fósforo (I_2).

REGLAS DE CARÁCTER PREVENTIVO A NIVEL GENERAL

Las maderas de construcción y carpintería colocadas en un ambiente seco tales como entarimados, rastreles, marcos de puertas y ventanas, vigas y pilares, así como aquellas destinadas a ebanistería, sólo necesitan protección frente a los insectos xilófagos. Para ello se utiliza el sistema de difusión, mejor adaptado por su eficacia y sencillez.

Con respecto a los tableros contrachapados, de partículas y fibras, la protección se realiza por difusión mientras se fabrican; de hecho, el mejor momento del tratamiento coincide con el máximo porcentaje de humedad de sus componentes.

Otra forma de proteger los tableros contrachapados consiste en mezclar en las colas proporciones pequeñas de un buen insecticida clorado.

Si se trata de piezas de madera de construcción que se colocan en obra en contacto con el suelo (bodegas, sótanos o locales subterráneos) se debe tener cuidado de los insectos xilófagos y hongos de pudrición. Esto implica utilizar productos insecticidas y fungicidas que no puedan ser arrastrados por la humedad.

La creosota no suele aconsejarse porque mancha, desprende olores persistentes y no permite que se pinte la madera.

Si las piezas son delgadas y están secas se pueden aplicar inmersiones prolongadas; si su grosor obliga a sumergirlas un tiempo excesivo, se recurre a la inmersión caliente y fría.

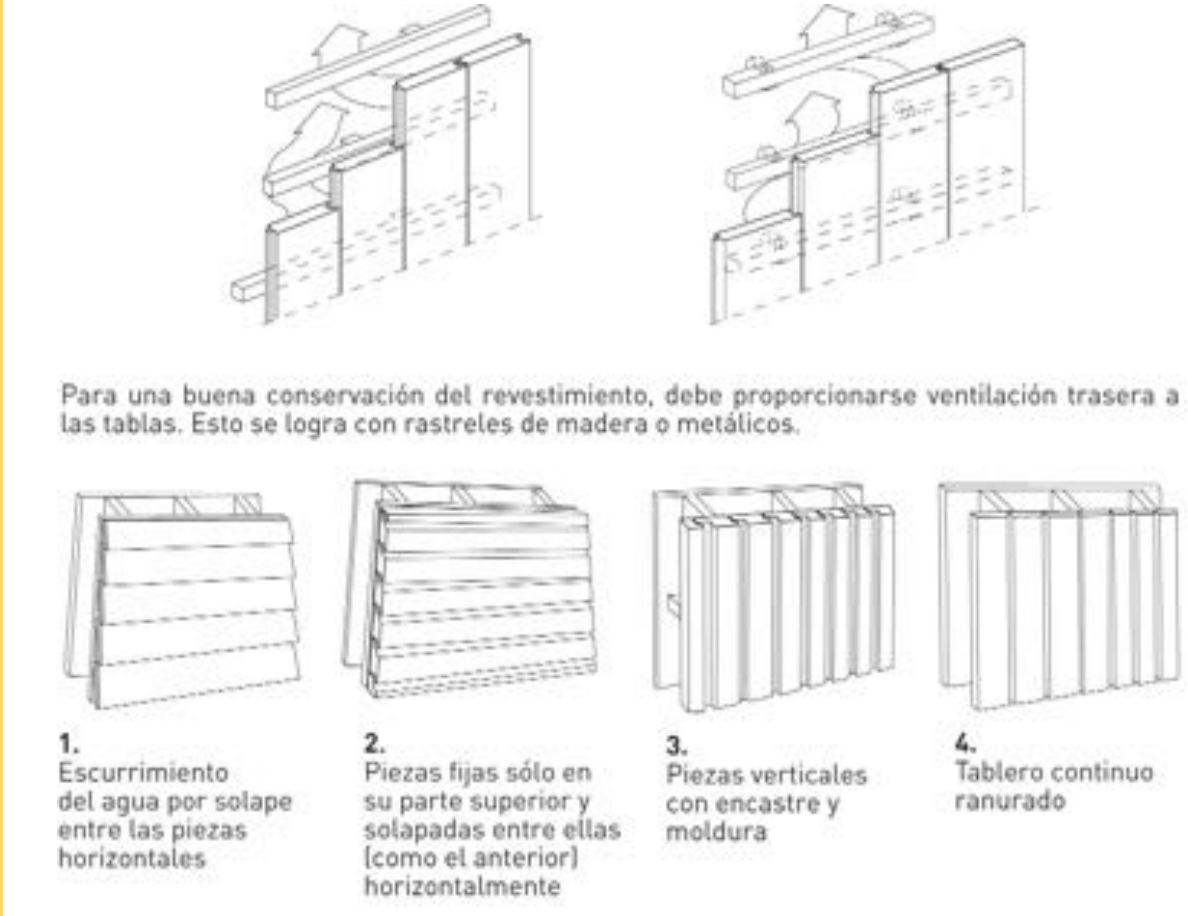
La madera de construcción puesta en servicio en cornisas, persianas, garajes, barracas, invernaderas, corralizas y tinglados necesita ser defendida de los ataques de insectos y hongos xilófagos.

La madera, en estas condiciones, debe ser pintada o barnizada y, por lo tanto, no pueden utilizarse las creosotas ni los orgánicos con disolventes poco apropiados. La impregnación se hace entonces por inmersión prolongada o caliente y fría y, como medida extrema, se utiliza la impregnación en autoclave.

Para la madera de uso exterior en contacto con el suelo se utilizan los mismos sistemas de impregnación (inmersión caliente y fría y autoclave) y tipos de protectores (creosota ordinaria y pentaclorofenol) que para aquella de uso interior en similares condiciones.

El grado de protección de los postes de conducción eléctrica o telefónica, semejante al de los postes para cercas y las apeas de mina, viene definido por penetraciones mínimas del 85 % de su albura superiores a 2 centímetros.

Con respecto a los pilotes para cimientos, estos se pueden defender de los hongos de pudrición con retenciones mínimas de 200 kg/m^3 de creosota o de 10 kg/m^3 de pentaclorofenol. Estas retenciones sólo se pueden obtener con las impregnaciones en autoclave que, asimismo, permiten alcanzar penetraciones mínimas de duramen o del 85 % de la albura superiores a 2 cm.



Correcto montaje de un revestimiento a base de tableros de madera.

El grado de protección necesario es análogo al que requiere la madera en contacto con agua dulce.

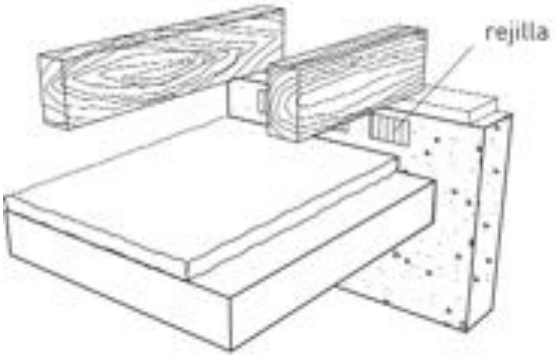
La protección contra los daños de moluscos y crustáceos xilófagos en muelles, embarcaderos y otras estructuras de madera en contacto con el mar se consigue mediante la impregnación a célula llena con la creosota para construcciones marinas.

Las retenciones mínimas necesarias son de 325 kg/m^3, con penetraciones mínimas de duramen o del 85 % de la albura superiores a 2 cm.

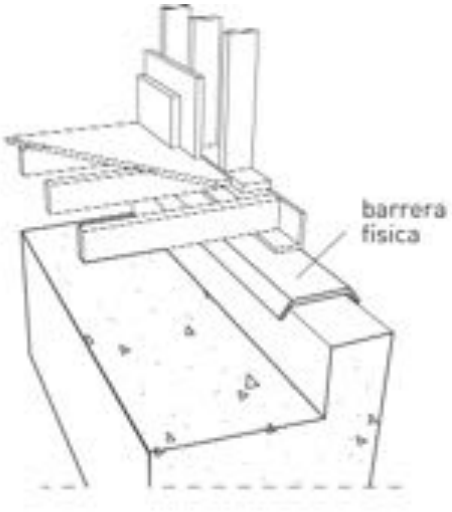
Por otro lado, y como medidas de carácter general, es aconsejable que las estructuras leñosas estén siempre aisladas de la obra de albañilería.

Las cabezas de las vigas se colocan en un nicho de sección mayor que la cabeza, de manera que quede un espacio alrededor de la viga de por lo menos 5 cm.

En la base de apoyo de las mismas se puede colocar un material aislante (v.g. neopreno) para que se reduzcan los efectos de la condensación oculta y, con el fin de permitir una mayor transpiración y evitar la acumulación de humedad, para las paredes del nicho se utilizan ladrillos prensados. Si el nicho tiene una profundidad de 50 a 60 cm debe estar comunicado con el exterior mediante agujeros. Por ejemplo, se pueden colocar ladrillos o piedras en forma de rejilla, la cual debe estar provista de redes de protección para evitar la entrada de pequeños animales.

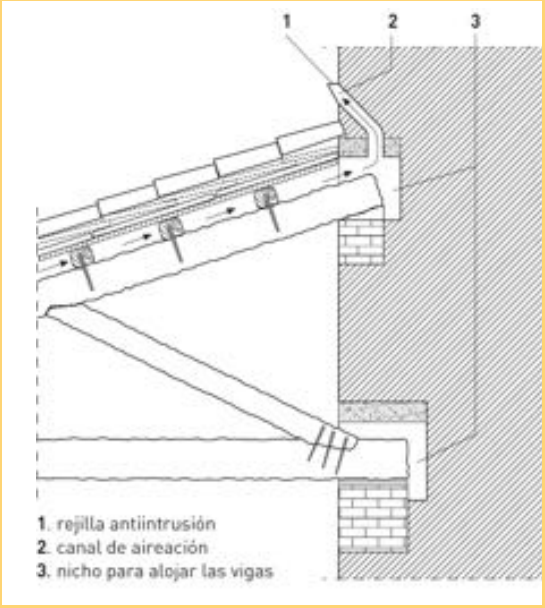


La cámara de aire debe estar convenientemente ventilada y la humedad del terreno eliminada mediante una capa de grava y una lámina impermeable.

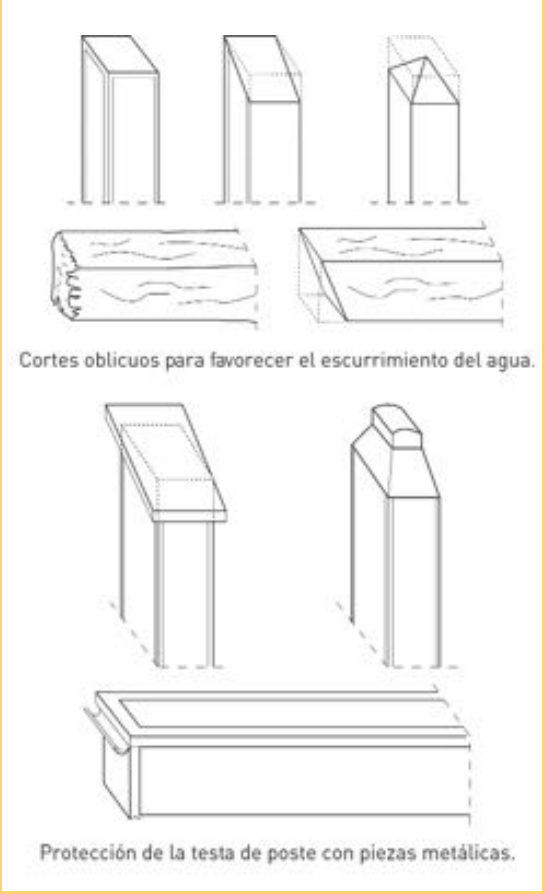


En zonas de termitas se puede colocar una barrera física constituida por una placa metálica, con sus bordes doblados, a todo lo largo de la cimentación.

Ejecución de la cámara de aire en pavimentos entarimados en planta baja.



Detalle de la solución constructiva para la aireación de una cercha de madera empotrada en un muro en su parte más alta.



Protección de los elementos de madera mediante una buena terminación.

Si los cabrios están ocultos bajo el techo se ha de asegurar una aireación continua para reducir los efectos de las diferencias térmicas, para lo que se pueden colocar aireadores en el caballete –diferentes en función del tipo de cubierta–, además de los correspondientes a las cabezas de los cabrios.

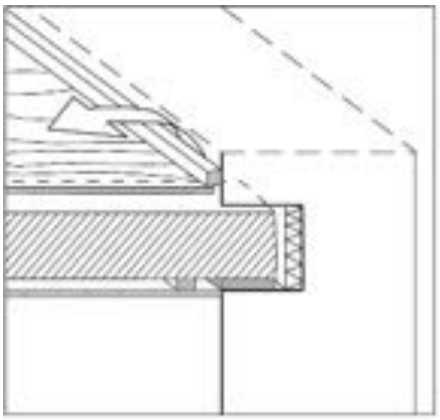
Dichos aireadores deben estar provistos de una red anti-intrusión que puede ser de latón y estar pegada con resinas epoxídicas.

En las naves laterales se actúa de manera análoga; la corriente de aire en la parte alta se asegura con un tubo en ángulo introducido en la pared con salida por encima del techo. Es oportuno crear un intersticio entre el techo y el tejado a la vista siempre que sea posible.

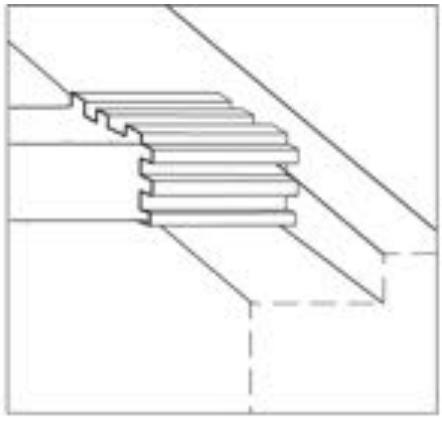
Vigas, cabrios y tablas recién introducidas deben estar bien cepillados ya que las superficies rugosas permiten que algunos insectos como los anóbidos pongan huevos en ellas. Además, se recomienda tratarlos previamente con ***Xilamón, Arzebol*** o algún otro producto de acción similar.

Se pueden hacer las nuevas enclavaduras con barras de vitrofibra o con el auxilio de cuñas que eviten el contacto directo entre clavo y madera.

En ciertos casos se vuelve necesario aislar el techo, sobre todo si es de albañilería y está encima de un artesonado de gran valor, lo que puede realizarse en el intradós del techo con material de corcho u otro tipo, o en el extradós, mediante un bloque de arcilla expandida o material análogo.

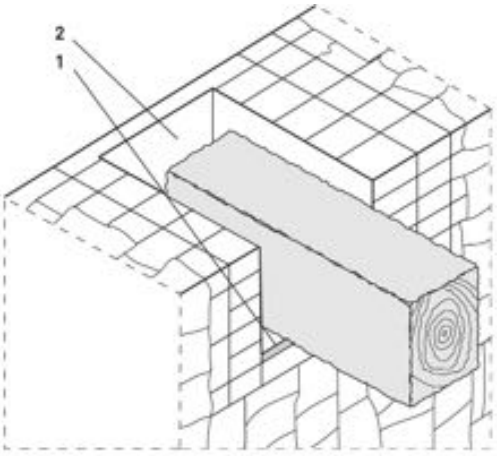


Encuentro de viga y muro correctamente ejecutado: material impermeabilizante en la base, ventilación de la testa y caras y aislamiento térmico que compensa la pérdida de sección del muro en ese punto.

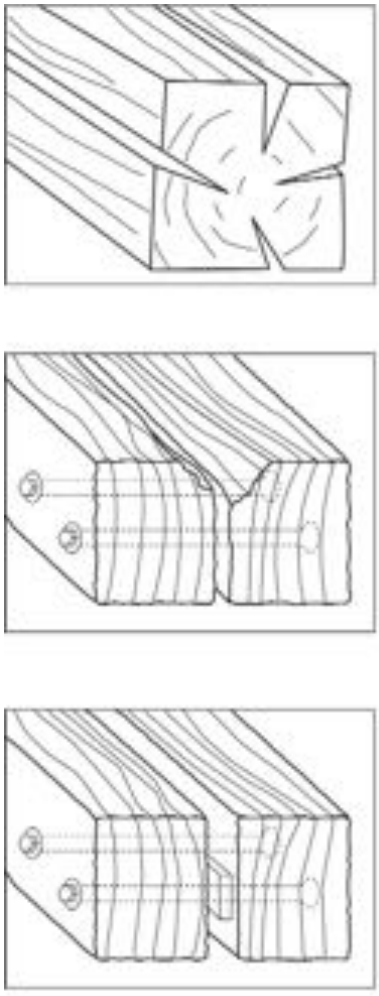


Colocación de una chapa plegada envolviendo la cabeza de la viga para permitir su ventilación sin perder su fijación a la fábrica.

Detalles constructivos para permitir la aireación de las cabezas de las vigas de madera apoyadas en muros de fábrica.



Nicho para alojamiento de una viga, construído con ladrillos prensados.



Es mejor doblar las piezas que usar una sección más gruesa para opimizar su comportamiento al exterior.

Para las operaciones de restauración se aconseja una limpieza minuciosa del material leñoso con el fin de reducir la incidencia de los agentes bióticos adversos y del polvo que, en especial si es de cal, limita la actividad de los productos antiparasitarios.

Para eventuales operaciones de albañilería pueden utilizarse morteros adhesivos con productos granulados al 1-3 % de lindano (isómero gamma del hexaclorocicloexano), a razón de 25 kg/m³ de mortero.

Se aconseja controlar como mínimo una vez cada dos años los monumentos y objetos de madera de cierto valor, con el fin de tener bajo control el estado fitosanitario y actuar con intervenciones modestas cuando sea necesario.

Aunque pueda parecer extraño, suelen emprenderse restauraciones sin que se conozcan las verdaderas causas de los daños en el objeto a restaurar. En consecuencia, a veces ocurre que la operación tiene resultados diferentes al esperado.

MÉTODOS CURATIVOS

Las diferencias existentes entre las efectos que los distintos agentes de deterioro tienen sobre la madera hacen prácticamente imposible estandarizar una metodología de acción; al contrario, se ha de considerar una serie de actuaciones curativas según los agentes presentes o sus daños, a saber:

AGENTES ABIÓTICOS

- **DISMINUIR LA HUMEDAD** circundante a la madera y ventilarla apropiadamente.
- **ELIMINAR LA CAPA CARBONOSA Y TRATAR QUÍMICAMENTE** (superficial o en profundidad), si ha sido sometida al fuego .
- **LIMPIAR SUPERFICIALMENTE LA MADERA** a poro abierto y tratar con protección química apropiada, frente a la fotodegradación.

AGENTES BIÓTICOS

INSECTOS XILÓFAGOS

- **LÍCTIDOS**: pulverización química en primavera.
- **ANÓBIDOS**: pulverización química entre abril y agosto durante tres años.
- **CERAMBÍCIDOS**: eliminación de la capa superficial de las zonas dañadas, limpieza de la capa de detritus inferior y pulverización e inyecciones con productos químicos protectores.
- **TERMES DEL SUELO**: 1º) reconocimiento y saneamiento de la madera y su entorno (tubos terrosos, fuentes de humedad); 2º) desinfección del terreno; 3º) barrera química en terreno y en muro mediante zanjas químicas en cerramiento, barreras físicas con malla de acero y barreras de granito; 4º) tratamiento químico.

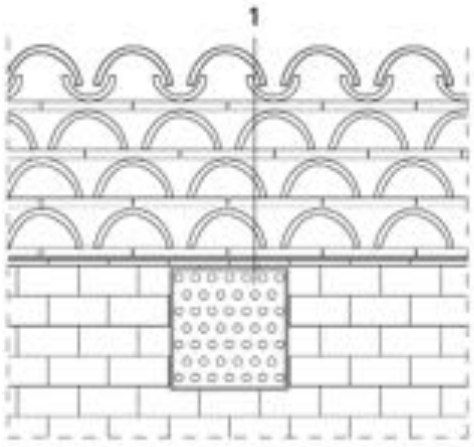
HONGOS XILÓFAGOS

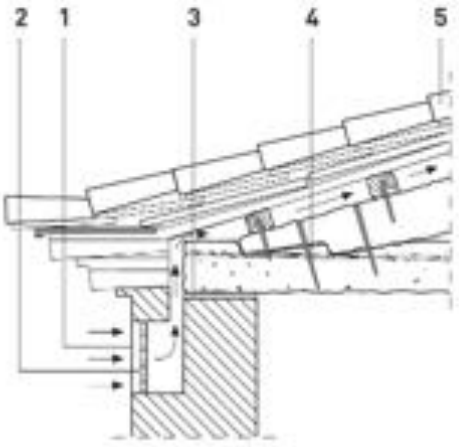
- **HONGOS CROMÓGENOS**: descenso de la humedad y tratamiento químico mediante oxidante antimanchas y fungicida posterior.
- **HONGOS DE PUDRICIÓN**: medidas de saneamiento de la madera y el entorno e impregnación química.

Por último, con respecto a los xilófagos marinos, se aconseja reconocer y sustituir la madera que se halle muy dañada.

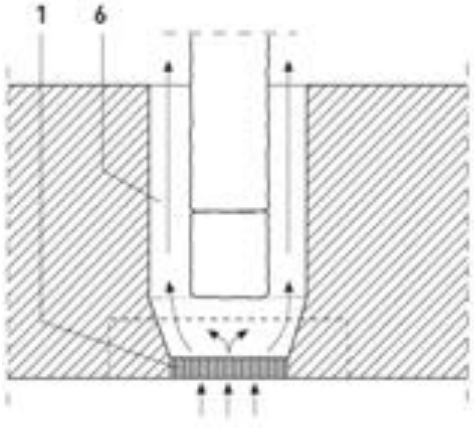
Las medidas complementarias comprenden todas aquellas que se efectúan fuera de la madera y su entorno; podemos mencionar las inyecciones en muros y la realización de barreras tóxicas anti-termes en el terreno.

Los tratamientos curativos de la madera se desarrollarán en profundidad luego de que veamos la diagnosis de la madera y de esta manera se comprenderá mejor el proceder para cada uno de ellos.

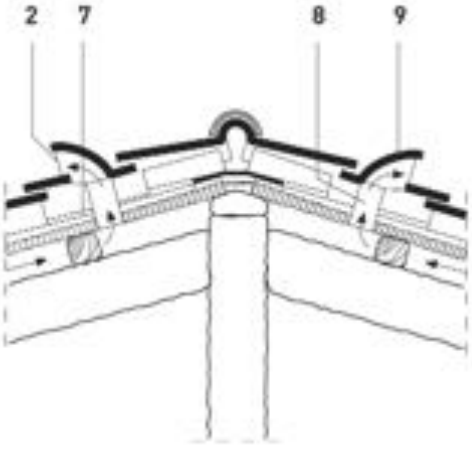




Ejemplo de saneamiento de un techo de madera.



Rejilla de aireación, vista frontalmente y sección.



Agujeros de aireación en el caballete de la nave central.

1. Rejilla de aireación **2**. Rejilla de antiintrusión **3**. Cojín de neopreno **4**. Clavos de vitrofibra **5**. Tejas acanaladas de barro cocido **6**. Nicho para alojar la viga **7**. Agujero de aireación **8**. Teja especial de aireación

Detalles constructivos que permiten la ventilación del maderamen de una cubierta inclinada con revestimiento de teja cerámica.

LA DIAGNÓSIS

La diagnosis de las diferentes patologías de la madera está, como la de cualquier otro material, muy ligada a los avances tecnológicos y a la aparición de nuevos instrumentos de detección.

Sin embargo, la inspección ocular periódica permite reconocer ciertos procesos de deterioro y sus agentes causantes.

Todo lo comentado hasta aquí sobre la madera tiene una incidencia definitiva en la precisión y éxito de la diagnosis.

Nos referimos al conocimiento de la composición de la madera, al comportamiento de los agentes bióticos y a la forma en que trabajan los protectores químicos.

A continuación se propone un equipo de inspección sencillo con el cual se puede realizar una primera determinación y recordamos, como algo fundamental, que una inspección más avanzada y la toma de decisión del tratamiento a seguir debe quedar en manos de equipos profesionales con experiencia en el tema.

EQUIPO DE INSPECCIÓN

Para realizar una inspección, antes de la visita se aconseja obtener la mayor información posible de los propietarios, especialmente en cuanto a la extensión, importancia y momento de aparición del ataque, de la historia del edificio y tipo de construcción y de la accesibilidad a sótanos y cubiertas.

Se llevará un equipo que permita tomar muestras y observaciones de la forma más completa y minuciosa posible, sobre todo si se quiere identificar con precisión la especie biológica atacante.

EQUIPO DE ANOTACIÓN

- **CUADERNO DE NOTAS, LÁPICES, TIZAS Y ROTULADORES.**
- **CÁMARA FOTOGRÁFICA CON FLASH**: conviene disponer de anillos de extensión y trípode; un flash anular es ideal para fotos de detalle y las cámaras digitales facilitan la versatilidad de enfoques y luminosidad.

EQUIPO DE INSPECCIÓN

- **LUPA NATURALISTA** (10x) **O MICROSCOPIO DE BOLSILLO** (25x) para observación de muestras y especies.
- **ESPEJO DE MANO** para reflejar partes ocultas.
- **LINTERNAS**, una potente y otra de bolsillo.
- **FONENDOSCOPIO** o vaso de plástico para auscultar la madera en busca de larvas o insectos vivos.
- **MAZO O MARTILLO PEQUEÑO** para golpear y escuchar el sonido de la madera.
- **BRÚJULA** para establecer la orientación de las partes del edificio.
- **CEPILLO DE RAÍCES Y UN PAR DE BROCHAS** para limpiar serrín y polvo.
- **PUNZÓN** para hacer calas y conocer la profundidad del daño.
- **PRISMÁTICOS** para la observación externa de lugares poco accesibles.
- **ESCALERA DE MANO** si ciertos lugares son de difícil acceso.
- **HUMIDÍMETRO PORTÁTIL Y TERMÓMETRO**, mejor de bulbo (giratorio).
- **CINTAS MÉTRICAS Y METRO DE VARAS** para reflejar en croquis y cuantificar los daños observados.

EQUIPO PARA EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

- **CUCHILLO, NAVAJA O DESTORNILLADORES** que permitan astillar la madera y trocearla; tenazas o alicates y gubias.
- **PINZAS DE NATURALISTA**, para volver a fijar piezas de madera que se levanten.
- **UN TALADRO O BARRENA PARA PERFORAR** maderas de grandes dimensiones. Existe un tipo especial de barrena hueca, de Pressler, que sirve para sacar muestras.

EQUIPO DE CONSERVACIÓN Y TRASLADO DE MUESTRAS

- **JUEGO DE BOLSAS, BOTES Y ETIQUETAS** para la recogida de muestras.
- **INSECTICIDA** para los insectos voladores.

En la actualidad se ha extendido el empleo de ondas ultrasónicas para los ensayos no destructivos en el estudio de ciertos materiales, entre ellos la madera. Los objetivos de este método son:

- **DESARROLLAR** un método no destructivo de inspección y evaluación, *in situ*, del estado de la madera a partir de las medidas de velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas.
- **ESTIMAR** el valor de la resistencia a flexión y el módulo de deformación de la madera estudiada a partir de las mediciones de ultrasonidos, mediante ensayos normalizados y tomando en cuenta la correlación entre las medidas de velocidad de transmisión y los valores de tensión de rotura a flexión.

Los métodos más extendidos para la evaluación de la madera han sido, hasta el día de hoy, la inspección ocular, el punzonamiento o martilleo para oír la respuesta y la perforación con taladro para observar su comportamiento. Los métodos de pinchar y taladrar son destructivos y no muy exactos porque para obtener resultados fiables se deben llevar a cabo en diferentes puntos.

Una de las ventajas del método de ultrasonidos es que permite obtener unas medidas objetivas –las velocidades de transmisión– y, a diferencia de los aparatos de rayos X, puede ser aplicable in situ ya que el instrumental necesario es pequeño y económico.

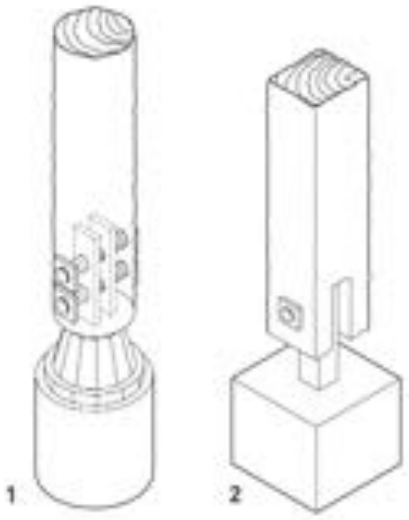
Asimismo, permite corroborar la verdadera capacidad portante de una madera en aparente buen estado, determinar la extensión del ataque de un agente xilófago y, en el caso de incendio, determinar la sección residual resistente.

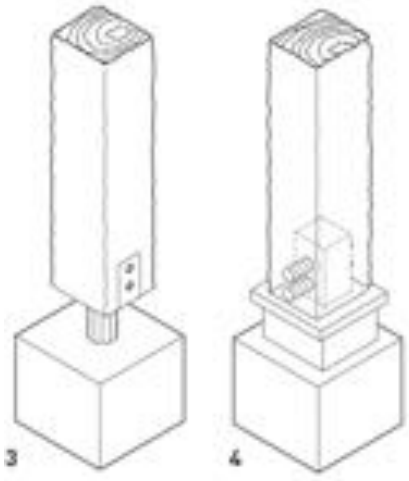
CLASIFICACIONES BIOLÓGICAS

Para una mayor comprensión del tema y como introducción a la biología de los distintos agentes que afectan la madera, se comentará brevemente la clasificación de los mismos y la forma de denominarlos.

La antigua división de categorías en reino, clase, orden, familia, género y especie se han ampliado hasta las siguientes, normalmente aceptadas en la actualidad:

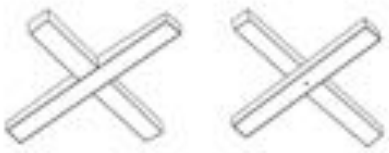
- **REINO**
- **PHYLUM Y SUBPHYLUM**
- **SUPERCLASE, CLASE Y SUBCLASE**
- **COHORTE**
- **SUPERORDEN, ORDEN Y SUBORDEN**
- **SUPERFAMILIA, FAMILIA Y SUBFAMILIA**
- **TRIBU**
- **GÉNERO Y SUBGÉNERO**
- **ESPECIE Y SUBESPECIE**



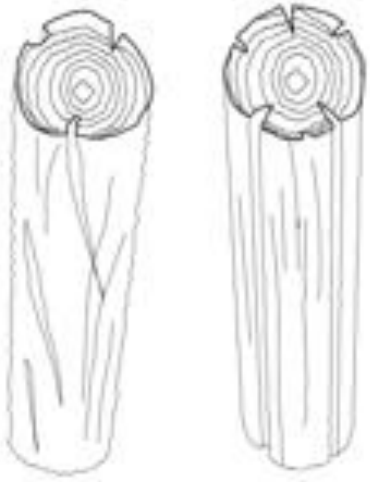


1. el agua de lluvia gotea libremente al encontrarse retranqueado y biselado el borde del hormigón.
2. apoyo sobre placa metálica anclada sin retención del agua.
3. solución poco estética y con posibles problemas si no se ejecuta correctamente.
4. el agua puede quedar retenida, algo a evitar.

Encuentros de pilar y terreno con basa de hormigón.



El encuentro de piezas de madera al exterior sin ensambles mejora su comportamiento al evitar la acumulación de agua en ese punto.



Ranurado de rollizos para canalizar la aparición de fendas.



Apoyo articulado de un arco con un buen diseño para no retener el agua.

Medidas preventivas en apoyos, uniones y encuentros de madera para evitar la acumulación de humedad.

En general sólo se utilizan las dos últimas categorías –género y especie– a las que se añade el nombre del primer naturalista que designó o identificó a la especie. Este nombre se suele abreviar y es frecuente que se adopte una «L» para Linneo, por ejemplo.

Con respecto a los hongos, antes considerados vegetales primitivos, en la actualidad ya forman un reino independiente. Y de los insectos se puede decir que pertenecen al reino animal, Phylum arthropoda y clase insecta, y que se distinguen por tener tres pares de patas articuladas.

Se dividen en dos subclases, con o sin alas (pterygota o apterygota).

La primera se subdivide en exopterigota, de metamorfosis simple y ninfas parecidas a los adultos como los termes, y endopterygota, de metamorfosis más compleja que incluye pupación, con larvas o gusanos diferentes a los adultos tanto en forma como en costumbres (coleópteros, himenópteros y lepidópteros).

Soluciones constructivas para rebajar el nivel de riesgo.

Protección de los elementos estructurales frente a la lluvia.

Ventilación de testas en forjados y vigas.

Redes de distribución de agua a la vista.
Sistemas de detección de fugas.
Tuberías alejadas de la madera.

Revisión de arquetas de las redes de evacuación.
Alejamiento de cimentaciones y muros de las arquetas.

Desecación de las humedades de capilaridad.

Reducción de riesgo a fuego.
Alejar fuentes caloríficas y eléctricas peligrosas.
Sistemas de detección y extinción.
Barreras frente a la propagación.

RESUMEN DE MEDIDAS A TENER EN CUENTA PARA REDUCIR RIESGOS DE TODO TIPO EN LAS CONSTRUCCIONES DE MADERA

TIPO DE HONGO	ASPECTO DE LA MADERA	CUERPO REPRODUCTOR	HIFAS Y MICELIO	OBSERVACIONES
Deuteromicetos				
Hifales Cephalosporium Acrenonium Corda. Cladosporium Herbarum.	Hongo cromógeno que produce agrisado-verdoso.			Pudrición blanda. Ataca a distintas maderas.
Fusarium ssp.	Hongo cromógeno que produce enrojecido-púrpura.			Ataca a distintas maderas, especialmente haya.
Penicillium ssp.	Hongo cromógeno que produce amarilleado.			Ataca especialmente a abedules y arces.

MICOSIS DE LA MADERA: HONGOS CROMÓGENOS Y DE PUDRICIÓN

TIPO DE HONGO	ASPECTO DE LA MADERA	CUERPO REPRODUCTOR	HIFAS Y MICELIO	OBSERVACIONES
Basidiomicetos				
Himeniales agaricáceos Lentines Lepideus Fr.	Decolorada, amarilleando y oscureciendo. Fondos longitudinales y transversales de carácter prismático.	Setas marrones con la base azul-púrpura. La parte superior cubierta de escamas parduzcas. En oscuridad muy anormales.	Micelio no muy abundante de blanquecino a marrón-púrpura. Hifas delgadas que perforan la pared celular. Borde teñido.	Pudrición parda-húmeda prismática sobre coníferas, en especial pino y en contacto con el suelo. Peligroso y muy resistente.
Lenzites Abietina Bull.	Pudrición parda-húmeda laminar.	Masas corchosas afieltradas oscuras con bordes claros. Himenio con cistidios de gran longitud.	Micelio marrón oscuro, fibroso, con hifas externas de 4-5 mm. Similar al L. Sepiaria.	Ataca principalmente a coníferas, en especial pino y en contacto con el suelo.
Lenzites Betulina Fr.	Especialmente dañados los radios leñosos.	Con forma de abanico. Correosos y bordes ondulados. Amarillo-anaranjados de color más vivo cuanto más jóvenes.	Micelio blanco con manchas marrones. Hifas externas muy tabicadas y las internas atravesando paredes celulares.	Pudrición parda laminar en madera húmeda de frondosas, especialmente haya (pasmo).
Lenzites Sepiaria Fr.	Blanda, frágil y decolorada hacia el amarillo pálido. Luego oscurece, aparecen fondas o cavidades en dirección de las fibras.	Corchosos y duros. De amarillo a pardo oscuro. Bordes amarillentos. Sin luz, de formas caprichosas.	Micelio amarillento en fendas, el aéreo es escaso.	Pudrición parda-húmeda laminar o prismática de coníferas puestas en obra. Peligroso y resistente.
Schyzophyllum Commune Fr.	Ataca madera de albura. Inicialmente aparecen manchas blancuzcas superficiales. Pudrición blanca.	Pequeños, aparecen en masas. Forma de abanico, lobulados y cubiertos por pelillos. Cara inferior con laminillas pardas.		Pudrición blanca en varias maderas con humedad. Tolera el calor y la sequedad.
Teleforáceos Stereum Hirsutum Willd.	Blanda, con coloración amarillenta primero, y bandas amarillo pálidas después, separadas por velas marrones. Ataca a la lignina y a la celulosa y causa cavidades superficiales.	Costrosos, contorno redondeado con el borde superior vuelto, como visera. Cara superior grisácea, con pelos. Cara inferior lisa pardo-amarillenta.	Micelio abundante pasando de los radios a los vasos. Hifas muy ramificadas de 0,5-5 mm azuladas. Penetran por los orificios de la madera.	Pudrición blanca de tipo fibroso y veteado de madera en frondosas. Suele aparecer en masas, imbricado en la superficie de la madera.

TIPO DE HONGO	ASPECTO DE LA MADERA	CUERPO REPRODUCTOR	HIFAS Y MICELIO	OBSERVACIONES
Basidiomicetos				
Poliporáceos Coniophora Cerebella Duby (C. Puteana Karst.)	Fuertemente decolorada con manchas y líneas amarillo-marrón, oscureciendo al marrón-negro. Grietas longitudinales y algunas transversales. Pudrición interna.	Planos, delgados y costrosos, adheridos a la superficie de la madera y pequeñas protuberancias irregulares. Del amarillo crema al oliva oscuro y bordes claros	Hifas superficiales oscuras distribuidas en forma que recuerdan un cerebro. Micelio aéreo abundante amarillo-marrón que se torna al negro.	Pudrición parda-húmeda prismática en maderas húmedas poco ventiladas. Muy dañino. Su ataque se ve favorecido por la acción previa de hongos cromógenos.
Daedalea Quercina L.	Madera de albura desmenuzable y duramen casi intacto.	Corchosos y grisáceos. Cara superior rugosa y sensibles zonas concéntricas. Himenio laberíntico de largos poros.	Micelio abundante en los radios y rellenando fisuras. Blancos amarillentos.	Pudrición parda-húmeda de tipo prismático sobre frondosas. Especialmente roble, castaño y haya.
Ganoderma Applanatum Pers. Ungulina Marginata Pat.	Aparece un veteado pardo-rojizo que degenera en pudrición blanca, atravesando franjas blancas con vetas irregulares negras.			Pasmo de ciertas maderas frondosas. Requiere una cierta humedad (37-75 %).
Polysticus Versicolor Fr. (Coryolus v. Quél.)	Con manchas blancas o decoloraciones que se van extendiendo al avanzar el ataque. Pudrición blanca fibrosa.	Pequeños y duros. Cara superior aterciopelada gris-amarillenta con zonas concéntricas de colores. Cara inferior con tubos cortos de color crema-blanco terminados en puros.	Aparecen en manchitas sueltas blancuzcas. Hifas delgadas (0,5-4 mm) puenteando las paredes celulares.	Pudrición blanca en cualquier madera, especialmente en contacto con el suelo. Ataca a la lignina y a las celulosas. Muy sensible a los taninos de la madera.
Poria Vaillanti Fr. (P. Vaporaria Fr.)	Ligeramente oscurecida, con fendas longitudinales y transversales muy próximas. Se abanda.	Delgados, membranosos y blandos, pegados a la madera y blanquecinos. Rizomorfos saliendo del cuerpo. Himeio poroso.	Micelio blanco o crema que cubre la madera en forma de abanico. Cordones micelares blancuzcos y flexibles.	Pudrición parda-húmeda prismática en cualquier madera en servicio. Importante. Ataca maderas secas o húmedas. Cerca de goteras.
Serpula Lacrymans Gray. (Merelius L. Wulf.)	Decolorada, blanda y con grietas perpendiculares y paralelas a la fibra con formas prismáticas características. Marrón ceniza. Desmenuzable en polvo.	Formas variadas. De gris-pálido a rojo-herrumbre, con pliegues vermiformes cubiertos de basidiosporas. Exudan gotas de agua de su respiración.	Cordones micelares rizomorfos (5-8 mm) que pueden atravesar paredes. Micelio externo abundante blanquecino que puede tornar al rojo-herrumbre.	Pudrición parda-seca de cualquier madera. Es el tipo más importante en este tipo de pudrición seca, en lugares poco ventilados o en contacto con el suelo.

MICOSIS DE LA MADERA: HONGOS CROMÓGENOS Y DE PUDRICIÓN

TIPO DE HONGO	ASPECTO DE LA MADERA	CUERPO REPRODUCTOR	HIFAS Y MICELIO	OBSERVACIONES
Ascomicetos				
Pireniales esferiáceos Cerastomella ssp.	Azulado de albura especialmente en coníferas. Comienza por la aparición de manchas radiales oscuras y superficiales que, posteriormente, se extienden por toda la albura.	Color negro con forma de botella de cuello alargado. 1 mm de longitud.		El ataque puede ir asociado al de insectos de la familia de los escolítidos.
Ceratocystis ssp.	Hongo cromógeno que produce azulado.			Ataca a coníferas y frondosas.
Chaetomium Globosum Kunz.	Superficialmente blanda, requebrajándose al secar. Daña antes a las frondosas.			Pudrición blanca en frondosas y coníferas muy húmedas.
Xylariáceos Eutypa Flavovirescens Fr.	Madera de frondosas “pasmada”	Masas de estroma exteriormente granulosas o interiormente amarillo-verdosas.		Pudrición blanca, especialmente del haya y de frondosas húmedas recién cortadas.
Xylaria Hypoxylon Grev.	Blanda, esponjosa y color blanco sucio que interrumpen características zonas oscuras.	Pritecas que se forman en estromas (tejido pseudoparenquimático). Como astas de ciervo.	Micelio blanco abundante que cubre a la madera.	Pudrición blanca de frondosas recién cortadas.

MICOSIS DE LA MADERA: HONGOS CROMÓGENOS Y DE PUDRICIÓN

FAMILIA Y GÉNERO	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ADULTO	FORMA Y DESCRIPCIÓN DE LAS LARVAS	ASPECTO DE LA MADERA ATACADA	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
ENDOPTERIGOTOS				
Coleópteros				
Anóbidos (carcomas) Anobium Ernobium Oligomerus Xestobium	Generalmente oscuros y poco vistosos. Cuerpo cilíndrico u oval. A menudo la cabeza aparece cubierta por un capuchón prominente formado por el pronoto. Antenas más o menos dentadas. 2-10 mm.	Blanca. Arqueada, con patas pequeñas bien visibles. Vellosa en la parte anterior del cuerpo y muy gruesa, especialmente en el cuerpo y al final del abdomen.	Madera muy seca (muebles y tallas). Consistencia crujiente. La capa externa puede habe desaparecido, muchos agujeros de salida (1,5-2 mm de Ø). Galerías en todas direcciones, sección circular sin taponar por el serrín, algo granuloso y basto. Heces en forma ovoide, parecidas a un puro.	Comen duramen y albura. Ciclo vital variable según clima. Ataque masivo. Hay coleópteros depredadores (Opilio Mollis) e himenópteros. El Xestobium atrae a la hembra golpeando rítmicamente la madera (le llaman “reloj de la muerte”); el Anobium lo hace en forma de “morse” y hacia el atardecer.
Bostríquidos (barrenillos) Apate Bostrychus Dinoderus	Pardo oscuro, rojizo o negruzco. Tórax en capuchón sobre la cabeza, cubierto por pequeñas púas o protuberancias. Antenas con mazas de 3 artejos. 3-6 mm.	Blanca y encorvada. Apoda y escarabeiforme.	Frondosas húmedas y tropicales. Galerías con sección circular (1-5 mm de Ø) de trazado particular de cada especie pero partiendo siempre de la materna, limpia de serrín. Mientras que el resto se inundan de un serrín tosco y compacto. Únicamente albura.	No atacan la madera seca y sana colocada en obra, aunque puedan continuar en ella si se han introducido antes. Se alimentan del parénquima y almidón de la madera (sustancias de reserva). El Dinoderus ataca al bambú y el Apate a frondosas húmedas.
Cerambícidos (longicornios) Callidium Cerambyx Ergates Hylotrupes	Oscuros y aplastados. Antenas largas características, sin maza antenal diferenciada. Cabeza vigorosa, fuertes mandíbulas. Hembra con oviscapto retráctil pero visible. 15-20 mm.	Blanco pálido. Como un gusano grueso y troncocónico formado por anillos protuberantes muy característicos. Ápoda, sin pelos y cabeza fuertemente quitinizada con dos recias mandíbulas oscuras.	Resinosa seca. agujeros de salida ovalados (6-8 mm). Bajo una ligera capa exteior, que se respeta, cámaras irregulares, sinuosas, galerías longitudinales; se notan marcas de roeduras. Serrín relativamente fino (según especie) amarillo (Hylotrupes), que puede ir con heces oscuras formando como serrín de turba Ergates).	Puedenperforar metales (Zn y Pb) y atacar frondosas. Se oye roer a la larva como si rascaran la madera. Es típico notar los síntomas cuando la plaga ya es muy importante (a los 10-15 años). Se alimentan de sustancias de reserva de la madera. Tienen los mismos depredadores que los anóbidos.
Curculiónidos (gorgojos) Euphyrim Hylobius Rhyncolus	Cabeza prolongada en prominente rostro, a modo de trompa o morro; mandíbulas en el extremo final. Antenas insertadas en la mitad del rostro. 3-5 mm.	Forma de cresa. Ápodas y, normalmente, sin ojos. Similares a los escolítidos. Cuerpo grueso y cilíndrico más o menos encorvado y algo más delgado en su extremo posterior.	Maderas de primavera dañadas por la humedad y atacadas por hongos. Galerías de sección circular que aparecen con serrín granuloso algo más fino que el de los anóbidos. Es típico que muchos túneles se abran hasta la superficie. (1-2 mm Ø)	No atacan la madera puesta en obra, que llega a ella con el ataque ya iniciado y que no se prolonga por mucho tiempo, siendo poco importante.

CLASIFICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS

FAMILIA Y GÉNERO	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ADULTO	FORMA Y DESCRIPCIÓN DE LAS LARVAS	ASPECTO DE LA MADERA ATACADA	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
ENDOPTERIGOTOS				
Coleópteros				
Escolíticos (esc. ambrosia) Ips Scolytus Xyleborus Xyloterus	Oscuros y cilíndricos. Antenas claviformes y angulosas. Tórax grande; normalmente los élitros ahuecados atrás. Patas cortas y fuertes. Rostro más ancho y corto que el de los gorgojos. 2-6 mm.	Muy pequeñas y ligeramente encorvadas. Cabeza diferenciada. Ápodas, gruesas y blanquecinas. Similares a los curculiónidos.	Frecuentemente frondosa verde o recién cortada. Galerías en corteza o pegadas a ella, trazado propio de cada especie, desde la cámara nupcial o galería materna aumentando sección al alejarse (1-3 mm Ø). Sin serrín, cubierta a rayas por un hongo negruzco.	Ataque estrictamente superficial que permanece hasta que seca la madera (los hongos de ambro-sia necesitan humedad >20 %). Al cepillar la madera se percibe la aureola de penetración del hongo desde el agujero. El Xyloterus es típico de coníferas y el Xyleborus del roble.
Líctidos (polilla de madera) Lyctus	Planos y delgados, de color marrón. Antenas terminadas en maza grande de dos atejos. La última articulación de los tarsos muy larga. 2-6 mm.	Forma de cuerno. Ligeros pelos en el dorso y pequeñísimas patas apenas visibles. Cabeza de consistencia córnea. Empupan en la superficie.	Frondosas secas de albura con vasos de gran diámetro (maderas tropicales). Agujeros de salida ligeramente ovalados (1-1,5 mm Ø). Serrín muy fino casi impalpable, harinoso que tapona las galerías. La madera puede aparecer totalmente deshecha salvo una fina capa exterior.	No atacan ni al chopo ni a la haya. No suelen atacar la madera ya colocada. Los daños se observan al cabo de 2 ó 3 años. no producen ruido y necesitan un contenido de almidón de >1,5 % y cierta sequedad.
Limexílidos (broma o lima) Lymexylon	Delgados y felpudos. Los machos presentan palpos ramificados elaboradamente. Élitros reducidos y con pequeñas escamas. 7-12 mm.		Generalmente frondosas, especial-mente roble. Galerías bastante rectilíneas de 1-2 mm de Ø, unas completamente vacías y otras con serrín muy compacto. El duramen aparece perforado con frecuencia.	Han provocado cuantiosos daños en la madera almacenada en los astilleros navales.
Platipodidos (esc. ambrosia) Platypus	Cilíndricos. Tórax con muestras en los costados. Primer artejo del tarso muy largo. 5-6 mm.	De similar aspecto a escolíticos y curculiónidos.	Frondosas. Ataque similar al de los escolítidos.	Típicos del roble, no atacan si la madra está seca y en obra. Familia próxima a los escolítidos.
Ptinidos (esc. araña) Ptinus	Oscuros y rechonchos. Patas y antenas largas. Cabeza frecuente oculta bajo el tórax. 3-5 mm.	Típicamente escarabeiformes, suelen parasitar a larvas e imagos de otros insectos xilófagos.	Normalmente frondosas. Túneles circulares de unos 2 mm de Ø, rectos y no muy profundos; frecuentemente son, tan sólo, pequeños entrantes en la superficie.	

CLASIFICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS

FAMILIA Y GÉNERO	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ADULTO	FORMA Y DESCRIPCIÓN DE LAS LARVAS	ASPECTO DE LA MADERA ATACADA	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
ENDOPTERIGOTOS				
Himenópteros				
Calcídidos Pteromaelia Theocolas	Pequeños, de diversos colores y reflejos metálicos. Vuelo irregular en zig-zag. Talle de avispa y hembras con oviscapto muy fino y alargado. Parasitan a coleópteros. 3-5 mm.	Más o menos vermiformes, con caprichosas formas según especies. Carecen de apéndices. Parásito externo y gregario de larvas y ninfas de coleópteros y lepidópteros.	Cualquier madera atacada por otros xilófagos (especialmente coleópteros). Utilizan las mismas perforaciones del parasitado o abren pequeños agujeros (1-2 mm Ø), por donde suelen sacar el serrín existente, y poder avanzar, dejándolo en polvo suelto.	Generalmente son atraídospor la luz.
Formícidos (hormigas) Acanthomyops Camponotus Poneria	Perfectamente conocidos y distinguibles. La Acanthomyops posee un peculiar olor a naranja. 2-10 mm.	Huevos de color marfil. Larvas blandas con forma de gusanitos, acompañadas y cuidadas por obreras.	Casi cualquier tipo de madera, normalmente en contacto con el suelo. Galerías muy enrevesadas similares a las de los termes pero sin rastros de tierra y más limpias, desgastadas y pulidas por el paso de las hormigas. Puede faltar la capa externa.	Ruido imperceptible. Ataque muy localizado y poco extenso normalmente.
Sirícidos (avispas portasierra) Paururus Sirex o Urocerus	Algún parecido a las avispas. Cuerpo grande y cilíndrico sin talle. La hembra posee un oviscapto en forma de aguijón. _: 15-35 mm, _: 10-25 mm.	Gusano blanquecino y alargado con una especie de púa al final del último segmento. Sin patas abdominales, las torácicas son cortísimas y vestigiales, no son funcionales haciéndola paracer ápoda. 30-40 mm.	Coníferas enfermas o recién cortadas (con corteza), galerías de traza arqueada y unos 20 cm de longitud, (6-10 mm Ø). Serrín mezclado con heces, muy tosco, fibroso, compacto y difícil de rascar. Bordes de agujeros de salida muy vivos, siendo algo mayores los de las hembras.	No hacen ruido. No atacan a la madera puesta en obra salvo que la larva ya estuviera dentro. Suelen ir asociados a ciertos hongos que atacan la albura y que se transmiten con la puesta de las hembras.

CLASIFICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS

FAMILIA Y GÉNERO	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ADULTO	FORMA Y DESCRIPCIÓN DE LAS LARVAS	ASPECTO DE LA MADERA ATACADA	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS
ENDOPTERIGOTOS				
Lepidópteros				
Cósidos (cosos) Cossus Zeuzera	Grandes mariposas nocturnas. Ala anterior sin celda grande. Sin boca chupadora por tener la espiritrompa atrofiada. _: 90 mm _: 70 mm.	Rojo-amarillenta y dorso muy endurecido y color vivo. Aclara al envejecer. Aspecto carnoso y característico olor nauseabundo a alcohol de madera. De 70 0 100 mm.	Especialmente frondosas y frutales. Galerías irregulares ligeramente elípticas (15-20 mm Ø) sin excrementos ni serrín; longitudinales y, a veces, de más de 1m de largo. Bordes del agujero de salida ligeramente desgastados.	Aunque no atacan a la madera puesta en obra, el ataque es importante por su tamaño y cantidad.
EXOPTERIGOTOS				
Isópteros				
Termítidos (termes) Cryptotermes Kalotermes Reticulitermes	Com hormigas, pero cuerpo blando y blanco o transparente. Cabeza y abdomen bastante grandes, con diferencia entre pareja real, obreros y soldados. Movimientos muy nerviosos y rápidos. 2-8 mm.	Huevos blanquecinos similares a los de las hormigas. La fase ninfa comprende varias mudas. Aparecen siempre agrupadas en cámaras nidales.	Cualquier madera, quedando deshecha, con láminas interconectadas y una ligera capa externa (como hojaldre). Galerías longitudinales, sin serrín; puede haber: heces en las no usadas, agujeritos taponados con tierra, cámaras nidales y túneles de tierra hasta la madera atacada.	Ruido imperceptible. Suelen requerir cierto grado de calor y humedad típico de climas benignos. El Cryptotermes es típico de Canarias y anida en la madera seca; el Kalotermes lo hace en madera muerta y árboles secos; el Reticulitermes es el más común en los edificios, anidando en el subsuelo.

CLASIFICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS

TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA

La madera, en su condición de material perecedero, al ser colocada en servicio puede sufrir los daños de diversos agentes de deterioro.

Los tratamientos curativos están pensados para mejorar su estado y tienen como objetivo prioritario el detener la acción de los mismos y dejar la madera protegida ante potenciales ataques posteriores.

A continuación detallamos los principales factores que caracterizan a este tipo de tratamiento:

- **SE REALIZAN SOBRE MADERA EN SERVICIO**, afectada por causantes de deterioro de origen biótico o abiótico.
- **IMPLICAN DOS TIPOS DE ACCIONES**, una sobre la madera afectada específicamente curativa y otra, de tipo preventivo, en su entorno más próximo.
- **SUELEN SER MÁS DIFÍCILES DE EJECUTAR Y MÁS COSTOSOS** que los tratamientos preventivos.

En relación con lo señalado en este último punto, la ejecución de los tratamientos curativos implica la necesidad de llevar a cabo las siguientes acciones:

- **DESCUBRIR LA MADERA**, en ocasiones oculta, y limpiarla hasta dejarla con el poro abierto, para lo que se requieren importantes medios mecánicos y/o químicos.
- **APLICAR ELEMENTOS DE CUBRICIÓN** a fin de mantener su apariencia original, una vez impregnada la madera con protectores.
- **EMPLEAR SOLUCIONES QUÍMICAS PROTECTORAS** con una concentración más alta que las utilizadas en los tratamientos preventivos.
- **REALIZAR EL TRATAMIENTO IN SITU**, en la mayoría de los casos, con el consiguiente desplazamiento de los recursos humanos y materiales.

Con este tipo de tratamientos se intenta, en lo posible, devolver la apariencia externa y las propiedades resistentes a la madera.

Se integran en los procesos de restauración y no presentan tanta importancia en los de rehabilitación, ya que en los primeros se debe conservar tanto la forma como el material mientras que en los segundos lo importante, en mayor o menor grado, es conservar la forma pudiendo variarse el material.

FASES DE LOS TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA

Se consideran las siguientes fases:

- **RECONOCIMIENTO DEL MADERAMEN.**
- **RECONOCIMIENTO DEL ENTORNO PRÓXIMO DE LA MADERA.**
- **DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS A APLICAR EN LA MADERA Y SU ENTORNO.**

RECONOCIMIENTO DEL MADERAMEN

Se realiza la detección de daños en la madera y en su entorno próximo. Estos se pueden deber a la acción de agentes de origen biótico y abiótico, que pueden actuar secuenciados en el tiempo.

En primer lugar se aconseja analizar la madera con cuidado a fin de comprobar si los daños existentes se deben a acciones antiguas –ataques muertos– o a acciones actuales –ataques vivos–.

Ante todo se investigarán aquellas áreas en las que las características del medio sean favorables a la presencia de agentes de deterioro, como por ejemplo su ubicación al exterior, el contacto con el suelo, la proximidad de fuentes de humedad reales o potenciales (cubiertas, patios interiores), zonas de ensamble o el apoyo de maderas estructurales.

La detección de los daños se puede hacer por medios tradicionales o sofisticados. Entre los primeros podemos señalar a los sistemas de percusión con martillos o similares, los de punción con taladros manuales o eléctricos o barrenas de Pressler y el reconocimiento posterior del serrín producido. Entre los segundos, en cambio, se citan:

- **APARATOS DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS A TRAVÉS DE LA MADERA**. Las oquedades o pudriciones internas producen una variación de la velocidad de las ondas que difiere de la de una madera sana.

- **APARATOS DETECTORES DE LOS SONIDOS EMITIDOS POR LOS INSECTOS XILÓFAGOS PRESENTES EN EL INTERIOR DE LA MADERA**. Amplifican y filtran las vibraciones emitidas por las larvas de los insectos y las transforma en una secuencia digital que puede ser leída en una pantalla de ordenador.

- **APARATOS DE TERMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA** (T.A.C.), basados en la reconstrucción por ordenador de los planos tomográficos de la madera que ponen de manifiesto las zonas de detección.

RECONOCIMIENTO DEL ENTORNO PRÓXIMO A LA MADERA

El entorno de la madera debe ser estudiado en profundidad para eliminar aquellas condiciones del medio que pueden favorecer a los agentes de deterioro, como por ejemplo las canalizaciones, atajeas y los elementos de fábrica.

Por regla general, la presencia de humedades siempre es negativa, por lo que se debe anular en todos los casos que sea posible.

DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS A APLICAR EN LA MADERA Y EN SU ENTORNO

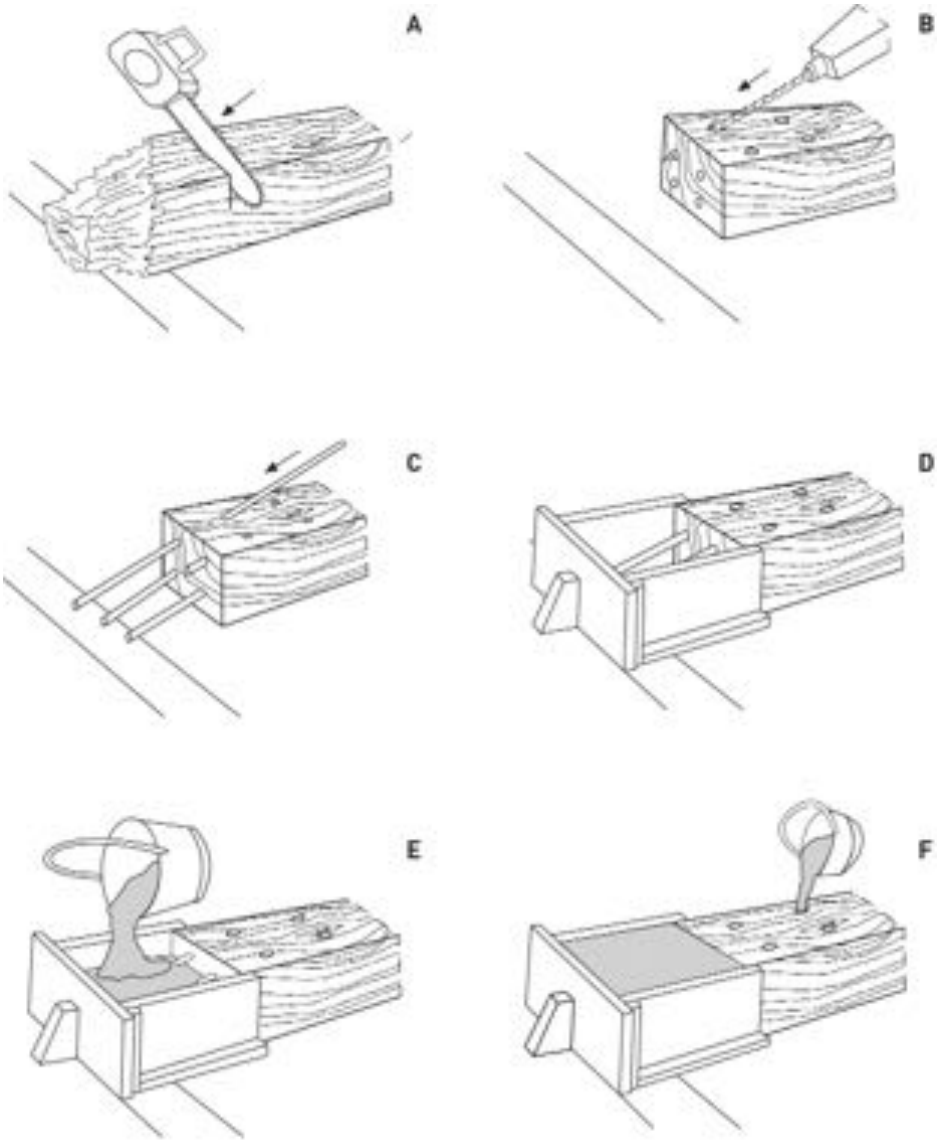
Las medidas que se consideran para la madera de construcción son las siguientes:

MEDIDAS CONSTRUCTIVAS: su objetivo es mejorar las condiciones de la madera, mediante la variación de aquellas que favorecen la presencia y/o desarrollo de los agentes de deterioro.

En muchos casos estas medidas implican la eliminación de la humedad a través del arreglo de conducciones defectuosas de agua o de cubiertas, drenajes del terreno o el incremento de voladizos protectores de la parte superior de las fachadas.

Asimismo, pueden nombrarse las tareas de mejora de las maderas estructurales como la ventilación y la impermeabilización.

MEDIDAS ESTRUCTURALES: el deterioro de la madera que forma parte de una estructura incide directamente en su seguridad, estabilidad y vida media. Entre las más importantes se encuentran la sustitución, el refuerzo, la consolidación y la protección química.



A. saneamiento del elemento dañado **B.** realización de orificios en la madera para la colocación de rigidizadores **C.** colocación de las varilllas rigidizadoras de una cabeza de viga **D.** cajeado zonal para el vertido del mortero epoxi **E.** vertido del mortero epoxi **F.** rellenado final.

Operación de consolidación de la cabeza de una viga.

MEDIDAS DE SUSTITUCIÓN: para maderas muy dañadas a las que no conviene ni consolidar ni reforzar. Se elimina la madera afectada y se coloca ya sea otra de igual especie e impregnada con protectores (restauración) o bien un elemento de otro material (rehabilitación).

MEDIDAS DE REFUERZO: consisten en el aumento de la capacidad resistente de un elemento estructural, sin actuar directamente sobre la madera, a fin de limitar su deformación. Suelen confundirse con las medidas de consolidación.

MEDIDAS DE CONSOLIDACIÓN: para aquellas maderas que presentan zonas deterioradas muy delimitadas y cuya magnitud no implica la sustitución total del elemento. Su principal objetivo es la recuperación de la capacidad resistente inicial, para lo cual se emplean diversas técnicas de consolidación, a saber:

- **CON HORMIGÓN.**
- **HORMIGÓN-MADERA**.
- **CON ELEMENTOS METÁLICOS.**
- **CON ELEMENTOS DE MADERA**: se sanean las partes dañadas y se utilizan prótesis de madera en íntima unión.
- **CON PRODUCTOS EPOXI**: emplea formulaciones como resina epoxi (termoestable) más endurecedor, diluyentes (bajan la viscosidad y el módulo de elasticidad), flexibilizantes (permiten la deformación bajo cargas) y cargas inertes, queproducen un incremento de la conductividad térmica dependiendo de su composición, forma y granulometría y que pueden ser de silicio, amianto o caliza.
- **ELEMENTOS TIXOTRÓPICOS**: incrementan la viscosidad y pueden ser a base de caolín y silicatos, entre otros.

En muchos casos no se emplean resinas epoxi sino mortero epoxi, compuesto a partes iguales por resina epoxi, endurecedor, arena y gravilla de distinta granulometría. Las propiedades de las formulaciones epoxi dependen del tipo de resina y de los agentes de modificación y de curado utilizados.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN QUÍMICA: se emplean para todos los casos de tratamientos curativos de la madera y conllevan las siguientes fases de actuación general:

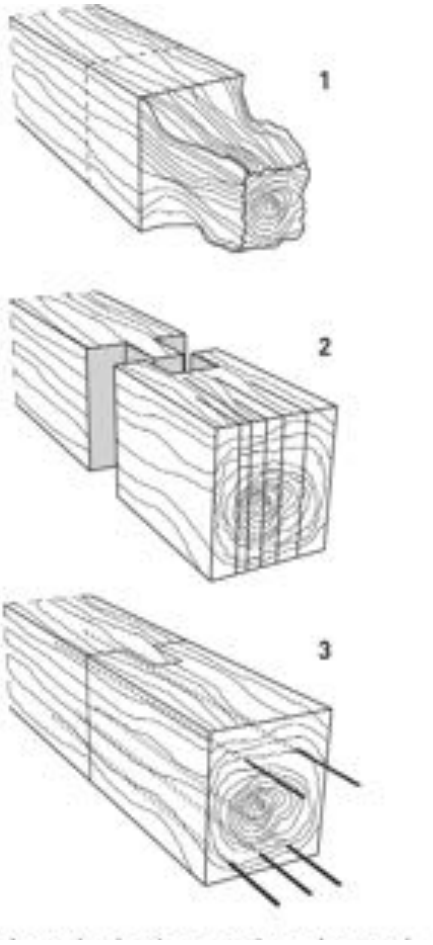
- **ESTUDIO DEL GRADO DE AFECCIÓN DEL MADERAMEN**.
- **DIAGNÓSTICO DE LOS AGENTES DE DETERIORO** de la madera y de las condiciones favorecedoras del entorno.
- **APLICACIÓN DE LOS PROTECTORES QUÍMICOS** adecuados mediante sistemas idóneos que permitan controlar la propagación de los agentes dañinos.
- **MEDIDAS QUÍMICAS COMPLEMENTARIAS** que erradiquen los agentes deteriorantes del entorno de la madera, en ciertos casos.

Las principales acciones que se contemplan en estas medidas son:

- **LA PULVERIZACIÓN SUPERFICIAL** con protectores en disolvente orgánico, de mayor penetración en la madera.
- **INYECCIÓN DE PROTECTORES** en la madera e incluso en los muros próximos.

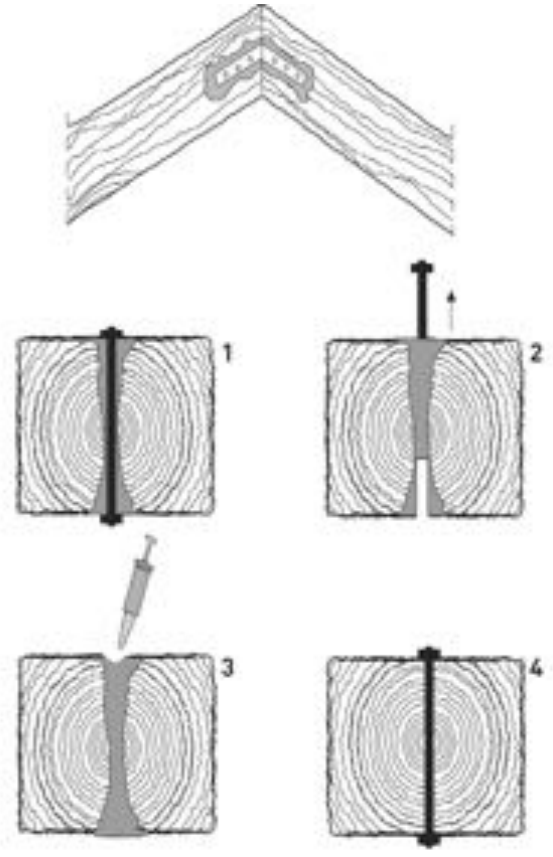
Para la ejecución de estas medidas de protección química se emplean instrumentos específicos, entre los que destacan los siguientes:

- **PISTOLAS DE INYECCIÓN.**
- **DECAPADORES NEUMÁTICOS.**
- **BOMBAS Y VÁLVULAS DE INYECCIÓN UNIDIRECCIONALES** para ser colocadas en la madera.
- **PULVERIZADORES** con boquillas de distinta sección y con alargadores.



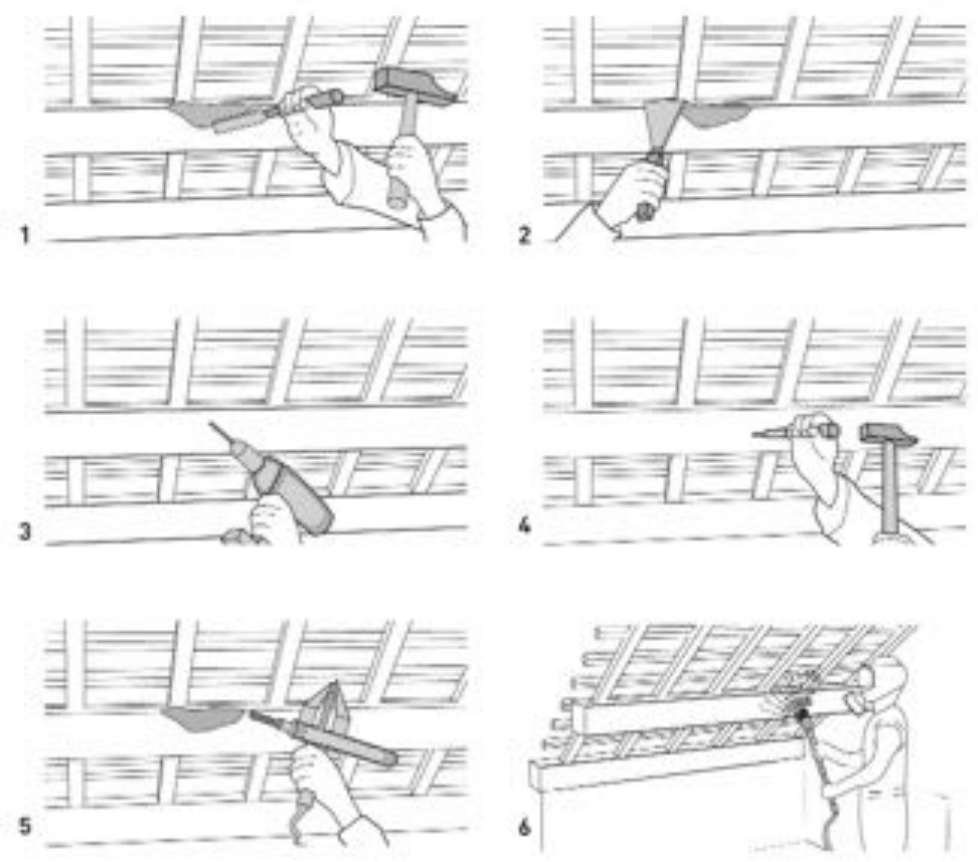
1. cabeza de viga incrustada en la pared degradada por el ataque de insectos xilófagos
2. recorte de la parte afectada y fabricación de una prótesis, en madera maciza o en láminas, con agujeros para colocar las barras de vitrofibra
3. ensamblaje de la prótesis y endurecimiento con las barras de vitrofibra insertadas

Restauración de una cabeza de viga dañada por ataque de insectos xilófagos.



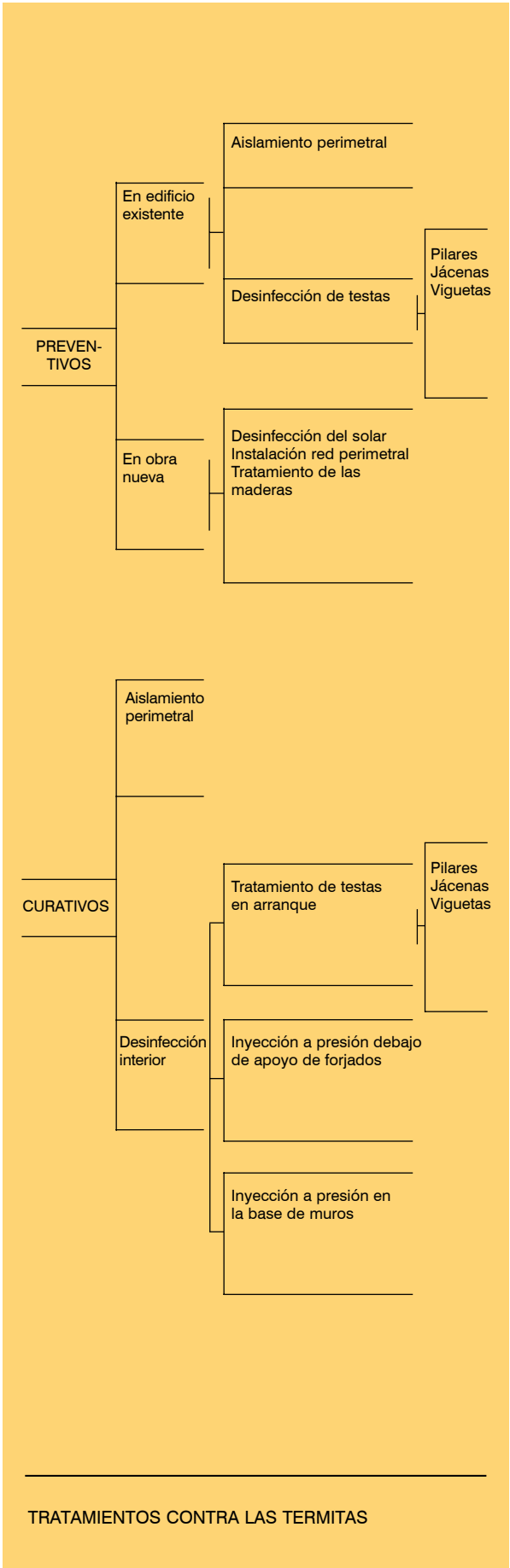
1. infeccion fúngica en la madera en los puntos de contacto con los tirantes y la grapa.
2. desmontaje de los elementos metálicos, desinfección del agujero y tratamiento del metal.
3. inyección de resina epoxídica y reinserción de los tirantes.
4. bloqueo de los tirantes y de las grapas que se han aislado de la madera.

Aislamiento de las grapas y de los tirantes metálicos en contacto con la madera.



1. saneamiento de la parte superficial dañada.
2. reparación con mortero epoxi con viruta.
3. elaboración de taladros coincidiendo con zonas internas dañadas.
4. preparación de los taladros para la inyección de resina epoxi.
5. inyección de material reconstituyente.
6. fumigación insecticida final de todo el maderamen.

Saneamiento de una cubierta de madera infestada de insecto xilófagos.



TRATAMIENTOS CONTRA LAS TERMITAS

ERRADICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS

ANÓBIDOS, LÍCTIDOS Y CURCULIÓNIDOS

Si las estructuras están infestadas por alguno de estos insectos y no están decoradas, los tratamientos con productos con base de pentaclorofenol, o principios activos de acción similar, resultan muy apropiados.

En general, los preparados comerciales son una mezcla de sustancias activas con acción insecticida y fungicida. Algunos de ellos son ***Xilamón, Legnosan, Arbezol, Impera HGF y Sadovac***. La cantidad que debe utilizarse por metro cuadrado de superficie depende de factores como el tipo y superficie de la madera y la modalidad de distribución del producto; por ejemplo, para una superficie lisa de maderas estructurales la cantidad suele variar de 200 a 350 cc/cm^2.

El producto puede ser distribuido con pincel o vaporizado, lo que puede ocasionar problemas en alguna superficie decorada y próxima si se pierde un poco del producto por desviación. En situaciones de infestaciones abundantes y superficiales se aconseja rascar la zona enferma antes de distribuir el insecticida.

La desinfección será más eficaz si primero se procede a una limpieza cuidadosa de las estructuras y, en caso de que estén decoradas, será necesario distribuir el producto con jeringas especiales que inyecten el líquido dentro de la madera sin tocar la parte decorada. Evidentemente, esto requiere la labor de personal cualificado.

CERAMBÍCIDOS

Cuando las estructuras están infestadas por cerambícidos la desinfección resulta difícil. No obstante, en algunos casos se pueden obtener buenos resultados si se hacen agujeros de 6 a 7 cm en la cara superior de las vigas y, con la ayuda de embudos pequeños, se filtran los productos indicados para otros coleópteros, cuidando de volver a llenar el embudo varias veces durante algunos días.

TERMITAS

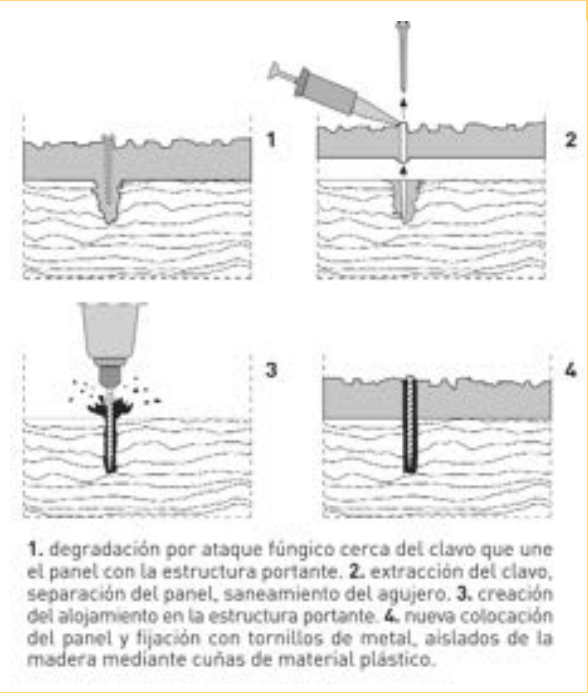
En primer lugar hay que seguir el camino de las termitas, encontrar su nido y dejarlo al descubierto, que en el caso del Reticulitermes lucifugus estará en el suelo. Con productos a base de ***Parathion, Malathion, Endosulfan, Tricloforn o Diazinone*** se prepara una mezcla líquida, a razón de 50-70 gramos de sustancia activa por hectolitro de agua, y se rocía en abundancia. Es conveniente repetir la operación en zonas vecinas para evitar que se reconstituya parte de la colonia.

El tratamiento se completa vaporizando ***Xilamón, Legnosan, Arbezol*** o similares en los puntos atacados y a lo largo de las galerías de las termitas que se dirigen hacia el nido.

En todos los casos los medios curativos, así como la eventual distribución de insecticidas, deben ser dejados en manos de personal experimentado.

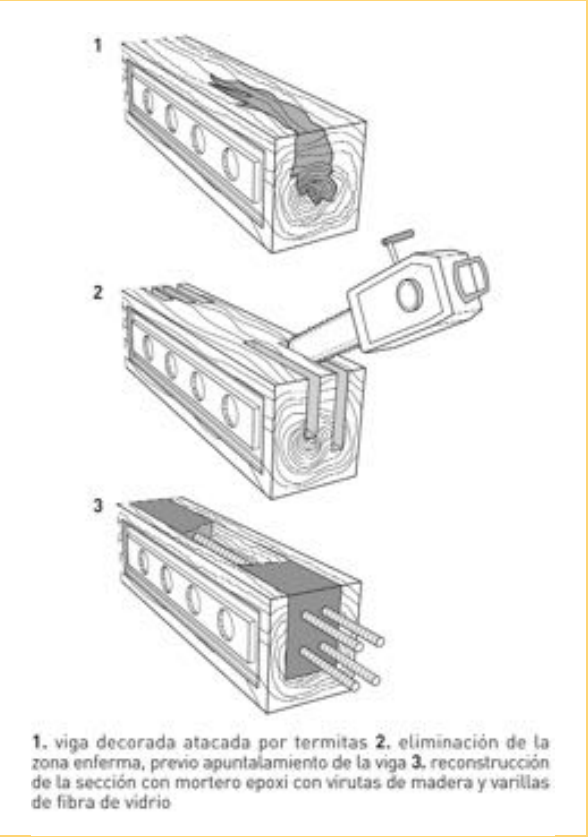
ERRADICACIÓN DE LAS PUDRICIONES

- **ELIMINAR CUALQUIER ORIGEN DE HUMEDAD.**
- **SECAR LA MADERA O CONSTRUCCIÓN A FONDO**. Si se hace rápidamente y se mantienen las condiciones de sequedad, el desarrollo de la colonia cesa. Sin embargo, se suele actuar sobre el crecimiento de la misma de manera constante ya que un secado de este tipo es difícil de conseguir.
- **CARBONIZAR.** Muchas veces se vuelve necesario carbonizar, además de la madera visiblemente afectada, la adyacente en un radio de 30 a 50 cm. Algunos expertos consideran que se puede conservar la madera atacada si se hacen abundantes agujeros que luego se llenan con líquidos preservativos.
- **ESTERILIZAR CON CALENTADOR Y TRATAR CON LÍQUIDOS FUNGICIDAS** aquellas superficies no combustibles y vecinas al lugar del ataque. Por ejemplo, puede usarse una solución de 50 g de pentaclorofenato de sodio o de ortofenilfenato de sodio por litro de agua. La parte sana de la pieza de madera debe recibir dos o tres baños de algún preservativo y, si se pega, se ha de tratar convenientemente.



1. degradación por ataque fúngico cerca del clavo que une el panel con la estructura portante. **2.** extracción del clavo, separación del panel, saneamiento del agujero. **3.** creación del alojamiento en la estructura portante. **4.** nueva colocación del panel y fijación con tornillos de metal, aislados de la madera mediante cuñas de material plástico.

Saneamiento de los puntos de adhesión de un panel por ataque fúngico.



1. viga decorada atacada por termitas **2.** eliminación de la zona enferma, previo apuntalamiento de la viga **3.** reconstrucción de la sección con mortero epoxi con virutas de madera y varillas de fibra de vidrio

Saneamiento de vigas decoradas atacadas por termitas. Este método mantiene intactas las caras visibles decoradas de la viga.

BIBLIOGRAFÍA

Conservación de maderas en su aspecto práctico. *Torres Juan. Ministerio de Agrcultura. Madrid, 1966.*

Curso de patología. Tomo 2. *AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de Rehabilitación Nº5. La estructura. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Defectos de las capas de pintura. *Manfred Hess. Blume. Barcelona, 1973.*

Fustes i materials derivats en la construcció.

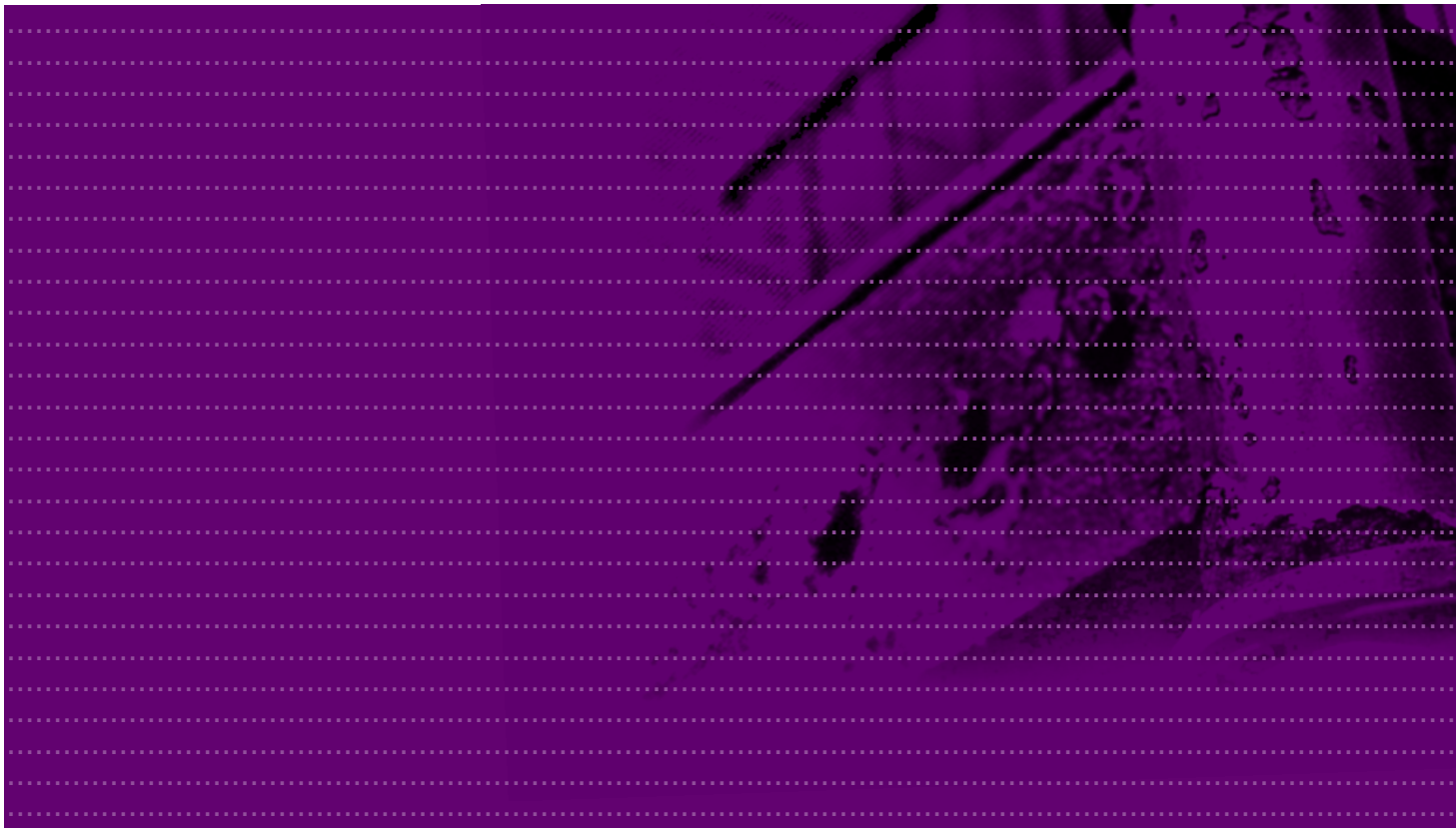
Introducció a la ciència dels materials de construcció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8,31. Barcelona, 1995.*

Protección preventiva de la madera. *Fernando Peraza Sánchez. Asocición de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho.*

Los insectos y sus daños en la madera. *Giovanni Liotta. NEREA S.A. 2000.*

Informes de la Construcción Nº 440. *Evaluación del estado de la madera en obras de rehabilitación mediante técnicas de ultrasonidos y obtención de parámetros resistentes. Rodríguez Liñán-Rubio de Hita. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Cuadernos INTEMAC Nº21. *Patología d e estrucutras de madera.*



PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS

INTRODUCCIÓN.....13
CAUSAS DE ALTERACIÓN.....29
SISTEMAS DE DIAGNÓSIS.....55
TRATAMIENTOS.....63

PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES METÁLICOS

INTRODUCCIÓN 13

ESTRUCTURA, PROPIEDADES

Y TIPOS DE METALES 13

METALES FERROSOS 14

METALES NO FERROSOS 21

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN 29

A. Factores que favorecen la corrosión

B. Causas mecánicas de las patologías

CORROSIÓN 33

i) Clasificación según la forma de ataque

ii) Clasificación según el mecanismo

iii) Clasificación según el medio

DEFECTOS Y LESIONES DE LAS SOLDADURAS 48

FUEGO 52

SISTEMAS DE DIAGNOSIS 55

TRATAMIENTOS 63

CONTAMINANTES Y DEFECTOS A ELIMINAR 63

A. Defectos mecánicos superficiales

B. Defectos de las soldaduras

C. Contaminantes

TRABAJO PREVIO 70

1. Preparación mecánica

2. Preparación química

A. Limpieza con disolventes

B. Tratamientos de conversión química

3. Redacción de una especificación

4. Preparación de las superficies galvanizadas

para su pintado

SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN 76

A. Acabado y protecciones

de metales ferrosos

i) Revestimientos de los

metales ferrosos

ii) Las aleaciones de metales ferrosos

iii) Protección catódica

B. Acabado y protecciones de metales no ferrosos

C. La aplicación de pinturas

1. Definiciones

2. Componentes de las pinturas

3. El «efecto barrera»

4. Las capas

5. Campo de empleo de los distintos

sistemas de pinturas

6. Especificaciones de pintado

7. Imprimaciones especiales para

el acero galvanizado

BIBLIOGRAFÍA. 111

INTRODUCCIÓN

Como viéramos en apartados anteriores, en éste, y siguiendo con la descripción de las lesiones de los materiales, veremos las que atañen específicamente a los elementos metálicos.

Empezaremos con una breve descripción de los tipos de metales, cómo se realiza su manufactura y en qué situaciones se los utiliza regularmente.

En este punto estudiaremos el complejo fenómeno de corrosión, sin lugar a dudas, uno de los principales problemas a considerar cuando trabajamos con materiales metálicos. Analizaremos los factores de degradación de los metales, la diagnosis e inspección pertinente para detectar dicha degradación y finalmente nos acercaremos a los tratamientos más apropiados para cada metal y circunstancia.

ESTRUCTURA, PROPIEDADES Y TIPOS DE METALES

Las propiedades físicas y químicas de los metales –consecuencia de su estructura atómica y molecular– sumado a lo sencillo que resulta su manipulación y unión mediante soldadura, han extendido su uso en el campo de la construcción.

Sin embargo, y en particular dentro del grupo de los metales ferrosos, ciertas características químicas como la corrosión pueden incidir de manera negativa. En consecuencia, es indispensable conocer las propiedades de los metales para elegir el más adecuado en función de su destino.

Los metales presentan una estructura cristalina donde cada grano constituye un cristal, formado a partir de un núcleo, que crece en todas direcciones hasta encontrarse con el límite de los granos adyacentes.

Dicha unidad se constituye de iones rodeados por electrones de valencia que pueden desplazarse por toda la estructura metálica a gran velocidad, haciéndolo más deprisa cuanto más alta sea la temperatura.

Esta disposición explica la alta conductividad térmica y eléctrica, la ductilidad y la maleabilidad, cualidades que favorecen el deslizamiento de una capa de iones sobre otra, manteniendo la misma ordenación.

Los metales ofrecen una notable dilatabilidad térmica –facultad de aumentar sus dimensiones por efecto del calor– expresada mediante coeficientes de dilatación lineal, superficial o cúbica al incrementar en 1 ºC la temperatura de la unidad respectiva. Esta característica se ha de considerar a la hora de utilizarlos, ya sea en estructuras o en elementos auxiliares, porque puede generar tensiones importantes que resulten en torceduras y rupturas.

Ha sido largamente estudiado el comportamiento mecánico de las barras metálicas que se someten a esfuerzos y se puede decir que, en líneas generales, los metales son los materiales que mejor se adaptan, en el período elástico, a la Ley de Hooke.

A diferencia de cuando se trabajan los metales en caliente, caso en el que se afina la estructura granular, el trabajo en frío distorsiona la estructura y la vuelve más resistente.

METALES FERROSOS

Los metales ferrosos son aquellos que contienen hierro en cantidades importantes. En general, los metales ferrosos ordinarios tienen un coste menor que los no ferrosos.

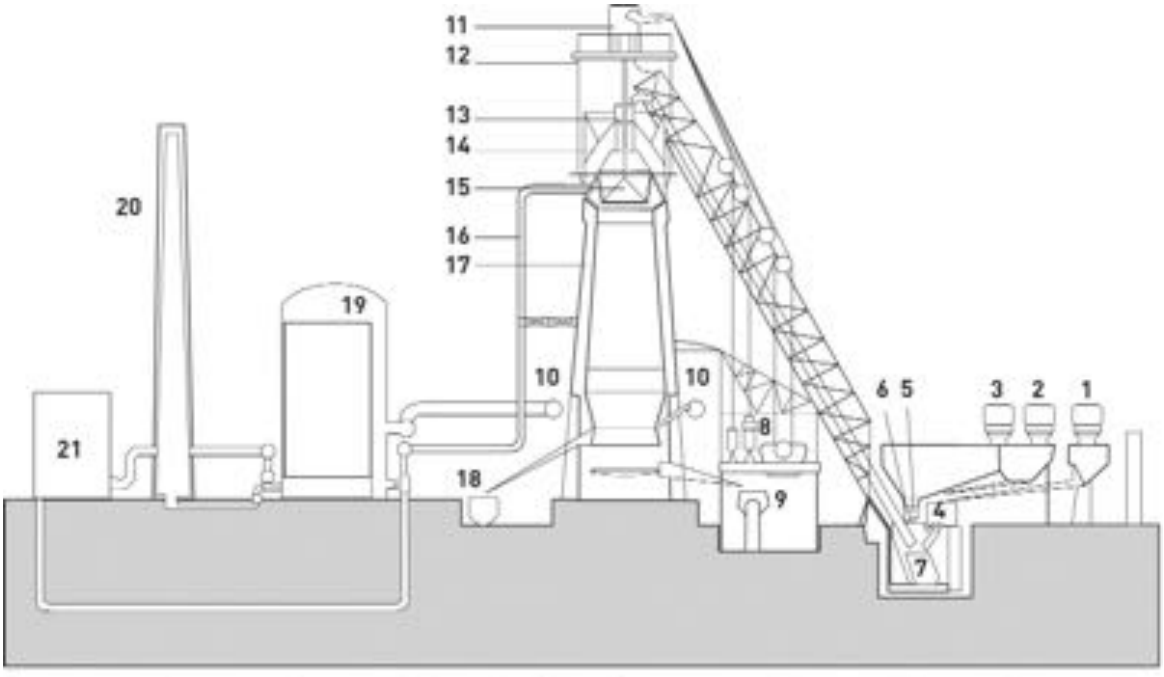
La producción del hierro cubre casi el 90 % de la del conjunto de metales y se trata, sin duda, del material que introdujo los cambios más notables en la construcción.

Sumamente dúctil, tenaz y maleable, carece no obstante de elasticidad.

Si se encuentra en estado puro, el hierro puede ser fácilmente atacado por los ácidos diluidos y oxidarse en contacto con el aire y el vapor de agua. Es ferromagnético y la porosidad del hidróxido lo hace muy vulnerable a la corrosión.

En consecuencia, la baja resistencia, baja dureza y la facilidad con la que adquiere deformaciones plásticas no lo hacen apto para la aplicación en construcción.

Pero todos los metales ferrosos que se utilizan contienen carbono, que se combina con el hierro para dar el carburo de hierro –llamado cementita– duro y frágil.



1. vagoneta y tolva para la carga del mineral de hierro **2**. vagoneta y tolva para el fundente **3**. vagoneta y tolva para el coque **4**. báscula para la dosificación del mineral y el fundente **5**. criba para la clasificación del coque. **6**. tolva de dosificación del coque **7**. skip para la carga del horno **8**. mecanismos de accionamiento de las campanas del horno **9**. cuchara o vagoneta para la colada del metal fundido **10**. ventiladores para la introducción del aire caliente al horno **11**. mecanismo accionador del skip **12**. tolva de recogida de la mezcla de alimentación del horno **13**. distribuidor de la alimentación **14**. campana pequeña **15**. campana grande **16**. extractor de los gases calientes. **17**. revestimiento refractario **18**. salida de la escoria **19**. cambiador de calor, tipo cowper **20**. chimenea para la evacuación del humo. **21** dispositivo para la extracción de los gases

Esquema de un horno alto para la obtención del hierro.

En general, un incremento en el contenido de carbono disminuye la ductilidad y soldabilidad y aumenta su dureza. La diferencia entre hierro bruto y acero radica en el contenido de carbono y el límite entre ambos es de 1,7 %. Si su contenido es mayor de 1,7 %, se trata de hierro bruto, que es quebradizo, no se puede forjar y funde con rapidez por calentamiento.

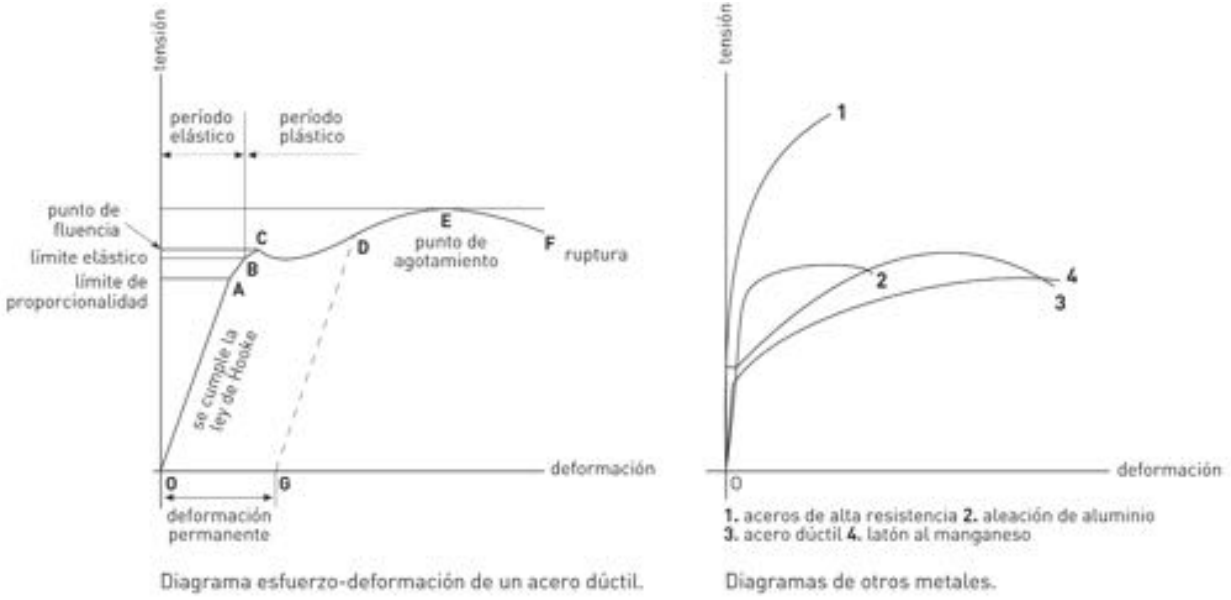
En cambio, al descarburarlo por debajo del 1,7 % (proceso de afino) se convierte en acero y adquiere las propiedades opuestas, es decir, se vuelve forjable, menos quebradizo y se ablanda lentamente si se lo somete al calor.

En principio, la obtención del hierro es sencilla y consiste en la reducción de minerales oxigenados de hierro mediante el carbón de cocke en altos hornos que alcanzan 1200 ºC, temperatura en la que el hierro mezclado con algo de carbono funde y gotea en forma líquida hasta el fondo del horno o crisol, desde donde es llevado a su transformación en acero o es colado a bloques de hierro bruto.

Todos los metales ferrosos provienen del producto obtenido en los altos hornos, por calentamiento a 2000 ºC de capas alternadas de bizcocho y mineral (óxido de hierro) con ocasionales adiciones de fundentes, ferralla y otros productos, y que se conoce como hierro o fundición de primera fusión.

Finalmente, debemos añadir aquí que, con excepción del acero inoxidable y tipo Cortén (de oxidación no progresiva), los metales ferrosos mal protegidos pueden sufrir una seria disminución de sus capacidades mecánicas a causa de la corrosión, que puede expandirse y generar problemas y rupturas.

Por ejemplo, en las superficies de recubrimiento de un hormigón de pobre calidad o grueso inadecuado, facilitando la entrada del agua.



Diagramas de esfuerzo-deformación.

TIPOS DE METALES FERROSOS

Al clasificar los metales ferrosos en función de su contenido de carbono, nos encontramos con:

***HIERRO COLADO O FUNDICIÓN**:* su contenido de carbono, que aparece en forma de granito y determina las propiedades del metal, puede variar entre 2 y 6 % y presentar pequeñas cantidades de silicio y manganeso y, como impurezas, fósforo y azufre.

Las fundiciones pueden ser gris o ***LAMINAR*** (gran resistencia a la fatiga y corrosión y buena conductividad térmica), ***GRIS NODULAR O ESFEROIDAL*** (gran resistencia a la ruptura, resiliencia y límite elástico elevado) y ***BLANCA*** (frágil, no admite fácilmente la mecanización).

La fundición suele dar una fractura cristalina de color gris oscuro y, si se la golpea, un sonido apagado.

TIPO	CONTENIDO DE CARBONO (%)
Acero extra dulce	0,05 a 0,15
Acero dulce	0,15 a 0,30
Aceros medio dulce	0,30 a 0,40
Acero medio duro	0,40 a 0,60
Acero duro	0,60 a 0,70
Acero tenaz	0,70 a 0,85
Acero extra duro	0,85 a 1,20
Acero salvaje	1,20 a 1,70

TIPOS DE ACERO

Al formar un revestimiento de óxido bien adherido y por lo general precisar de secciones con gruesos importantes, su resistencia a la corrosión es considerablemente mejor que la del acero suave y la del hierro pudelado.

ACERO: constituido por una mezcla de hierro y carbono, que le confiere diversas propiedades según su contenido, que puede oscilar entre 0,005 y 1,7 %.

Se obtiene de la fundición de primera fusión en los altos hornos, sacándole las impurezas (sobre todo azufre y fósforo) y ajustando la proporción de sus componentes. Presenta una resistencia mecánica alta y un costo razonable; en cambio, su comportamiento ante el fuego es problemático.

Con respecto a los aceros ordinarios, su resistencia a la corrosión es baja.

Si bien todos los aceros contienen alguna proporción de carbono, se suele hacer la distinción entre aceros al carbono y aceros aleados o especiales.

Y, por otro lado, también es posible clasificarlos en función del uso que se les destina en construcción, caso en el que se habla de aceros estructurales, aceros en plancha y aceros aleados o especiales.

A continuación analizaremos las principales diferencias entre ellos, pero el tema será retomado luego con mayor profundidad.

***ACEROS ESTRUCTURALES**:* los más utilizados en jácenas, pilares, vigas de celosía y entramados tridimensionales. Las barras corrugadas para estructuras de hormigón armado, sin exigencia de soldabilidad, son designados según la norma UNE 36.088-88 con estos símbolos:

- **SÍMBOLO Ø.**
- **EXPRESIÓN DEL DIÁMETRO EN MM.**
- **LETRAS AEH.**
- **DENOMINACIÓN CON TRES CIFRAS** para indicar el valor del límite elástico garantizado (expresado en N/mm²: 400, 500 y 600).
- **LETRA N O F**: si la fabricación es por laminado en caliente, letra N; si es por deformación en frío de una barra laminada en caliente, letra F.

A modo de ejemplo, se entiende que la notación ø 12 AEH 400 N está designando una barra corrugada de 12 mm de diámetro, de límite elástico de 400 N/mm² y que se obtuvo por laminado en caliente.

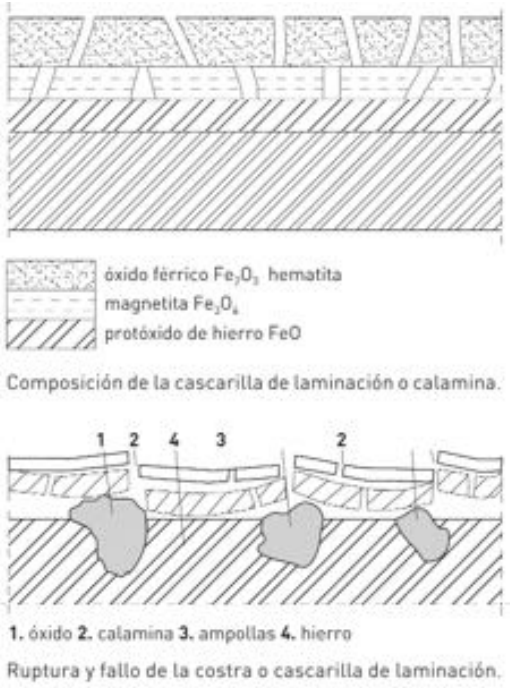
***ACEROS EN PLANCHAS**:* reciben este nombre siempre que su grueso no supere los 3 mm. Si las planchas carecen de revestimiento protector y se instalan en el exterior hay que galvanizarlas para lograr una buena durabilidad. Su uso es frecuente en revestimientos de muros y cubiertas, paneles de fachadas ligeras y muros cortina, particiones y pavimentos desmontables y en muebles de producción industrial.

***ACEROS ALEADOS O ESPECIALES**:* contienen más de un 5 % de elementos aleados que además de mejorar sus cualidades les confieren mayor resistencia mecánica y a la corrosión.

Dentro de este grupo se encuentran los aceros inoxidables, obtenidos por aleación de acero (hierro y carbono) y cromo –y en ocasiones níquel, tungsteno y manganeso, entre otros– y los aceros tipo Cortén. Este tema será retomado más adelante.

TÉCNICAS DE CONFORMACIÓN DEL ACERO

MOLDEO. Consiste en fundir chatarra o lingotes de acero en hornos eléctricos, de arco o inducción, y colar la aleación líquida en un molde con forma de negativo de la pieza proyectada. Las piezas logradas por esta técnica resultan tener mayor resistencia a la corrosión que aquellas que se obtienen por hechurado, debido a que la microestructura cristalina y la composición de la superficie suele ser constante en toda su extensión.

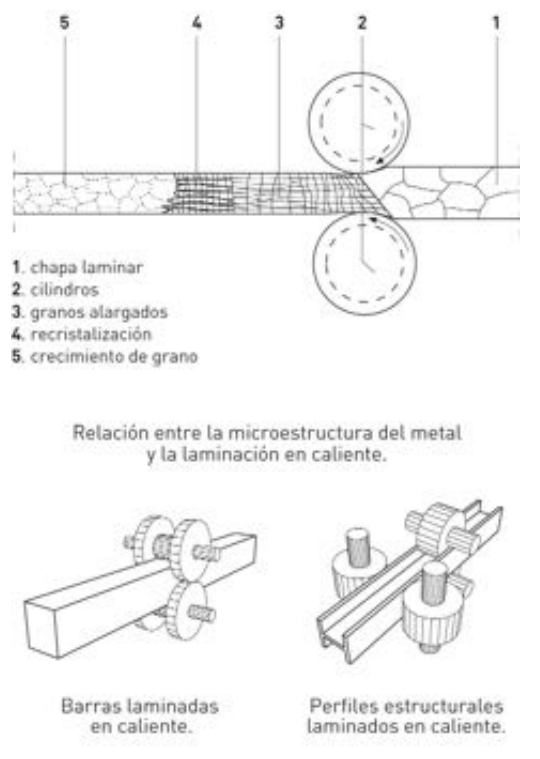


Composición y fallo de la calamina.

HECHURADO. Se trata de la modificación del perfil o lingote que sale de la colada continua de la fundición hasta que adquiere la forma de la pieza diseñada. Puede realizarse en caliente o en frío.

En el primer caso se mejoran las propiedades mecánicas (ductilidad y tenacidad).

El hechurado en frío, por su parte, permite un mayor control de la dimensión de la pieza, mejora el acabado superficial e implica un aumento de la dureza y del límite elástico del acero pero disminuye su resistencia a la corrosión y tenacidad, razón por la cual se suele recocer a continuación.



Laminación en caliente.

Dentro de esta técnica del hechurado podemos encontrar los procedimientos de laminación en caliente y laminación en frío.

LAMINACIÓN EN CALIENTE: es el proceso que se aplica cuando el grosor de los elementos o perfiles a obtener supera los 2-3 mm. Consiste en calentar los lingotes o perfiles y hacerlos pasar entre rodillos o cilindros especiales que conforman el acero caliente y blando hasta darle la forma y grosor deseado.

Cuando el acero sale el hierro reacciona rápidamente con el oxígeno del aire y se forma alrededor de su superficie una capa bastante gruesa de óxidos de hierro con un aspecto característico –gris oscuro azulado con brillo metálico– que se conoce como ***CALAMINA*** (cascarilla o costra de laminación). Esta capa consiste en tres capas de distinta composición que se pegan al acero; siendo la más exterior Fe_2O_3 (hematita), la subyacente Fe_3O_4 (magnetita) y la interna FeO (wursita). En consecuencia, se suele asignar a la calamina la composición química $FeO\text{-}Fe_3O_4\text{-}Fe_2O_3$.

La calamina, si bien tiene la propiedad de proteger al acero del acceso de agua y de la corrosión, es frágil, no resiste los golpes y tiene una flexibilidad y un coeficiente de dilatación térmica diferentes a los del acero, por lo que se despega al sufrir movimientos diferenciales y puede dar lugar a grietas por las que entra agua y oxígeno favoreciendo la corrosión por establecimiento de pilas voltaicas en varios puntos.

Por este motivo es que no se pinta directamente sobre la costra de laminación, ya que al resquebrajarse ésta también se agrietaría la pintura.

Por este método de laminación en caliente, es posible obtener, entre otros, varillas, barras, perfiles, pilares y vigas, de diferente longitud, ancho y peso.

LAMINACIÓN EN FRÍO: por lo general, parte de una chapa no superior a 5 mm de espesor para pasar a chapas más finas, y no produce piezas con calamina o película de óxido.

Las chapas –planas o enrolladas (coil)– obtenidas por este proceso, tienen una superficie de acero limpio y sin óxido y suelen ser muy propensas a la corrosión de la atmósfera debido a las tensiones cristalinas sufridas en el mismo.

En este método cobran gran relevancia los lubricantes utilizados (grasas de procedencia natural o derivados del petróleo), que quedan extendidos en una fina capa sobre la pieza y la protegen de la oxidación siempre que la manipulación y la intemperie –entre otros factores– no la eliminen en algunas partes.

Finalmente, antes de comenzar con los tratamientos o aplicación de pinturas es necesario eliminarla totalmente para obtener un buen resultado.

A modo de conclusión, es necesario recordar que los procedimientos de conformación del acero que hemos descripto pueden ocasionar tensiones en los granos cristalinos del metal, que a su vez permiten la formación de ánodos y cátodos alternativos y próximos, propensos a formar pilas de corrosión en contacto con agua.

HECHURADO	DESCRIPCION
Extrusión	Se realiza impulsando el acero caliente a través de una matriz con un orificio o boca cuya forma coincide con la sección del perfil diseñado. Mediante esta técnica se obtienen perfiles de doble T y en L, además de la fabricación de tubos de acero sin soldadura.
Forja	Es la deformación en caliente de un metal dentro de una matriz, sin llegar a su fusión, a partir de piezas denominadas preformas. También puede obtenerse esta deformación por métodos más artesanales típicos de los herreros
Troquelado	Son operaciones de corte que se realizan generalmente en prensas adecuadas para obtener preformas para operaciones posteriores (discos, cuadrados, formas especiales, etc.) o bien para recortar sobrantes de operaciones anteriores
Plegado	Es un procedimiento de hechurado de chapa que se caracteriza por el tipo de piezas obtenida, generalmente estrechas y largas, en las que no se justifica el empleo de rodillos. Se usan prensas especiales plegadoras
Repujado	Es un método de conformación de chapa apropiado para pequeñas y medianas series de piezas, con simetría alrededor de un eje de revolución. Es un proceso alternativo a la conformación en prensa por embutido o estampación
Embutición	Es una operación de deformación mediante la que se obliga a una chapa, empujada por un punzón, a pasar a través de un orificio más o menos delgado, que se llama matriz, para formar un recipiente u objeto con mayor o menor simetría
Trefilado	Consiste en el paso de un redondo de acero a través de una hilera de metal duro, o de acero rápido. Con este procedimiento se consigue reducir el diámetro del redondo. Este hechurado suele efectuarse a temperatura ambiente, aunque previamente se recuece para ablandarlo al máximo y se recubre con productos lubricantes
Punzonado	El punzonado de una plancha metálica consiste en una operación mecánica, en la que intervienen unos útiles determinados, mediante la cual se obtiene un figura de carácter geométrico, en forma de superficie plana, de forma instantánea

HECHURADOS O TÉCNICAS PARA FABRICAR PIEZAS DE ACERO

SOLDADURA

Incluimos este ítem dentro de los metales ferrosos, porque sin duda es una de las formas de conformación más extendida en este tipo de metales. Si bien no es exclusiva de los materiales ferrosos, adquiere especial relevancia en el conjuntos de los materiales que contienen hierro ya que con estos últimos se conforman la mayoría de las estructuras portantes metálicas.

Por lo tanto, esta otra técnica de conformación de los metales ferrosos ofrece muchas posibilidades pero también conlleva problemas en el momento de realizarla.

La técnica de soldadura consiste en unir –ya sea por operación manual o automatizada– dos preformas sólidas, dos superficies de acero, mediante la aplicación de calor en una zona específica y un fundente o alambre de adecuada composición. A continuación se presentan los procedimientos de soldadura más utilizados:

- **SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO PROTEGIDO POR GAS INERTE (TIG).**
- **SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO METÁLICO CONSUMIBLE PROTEGIDO POR GAS INERTE (MIG).**
- **SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO METÁLICO CONSUMIBLE Y GAS ACTIVO (MAG).**
- **SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.**
- **SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO.**
- **SOLDADURA AL PLASMA.**
- **SOLDADURA POR RESISTENCIA.**
- **SOLDADURA POR PUNTOS.**
- **SOLDADURA POR PROTUBERANCIAS.**

El procedimiento de soldar, útil para lograr cualquier forma en diversas posiciones, añade ciertos riesgos de corrosión a la estructura final.

Los cordones de soldadura son elementos cuya composición difiere de la del acero, lo que permite la formación de pilas de corrosión y la consecuente aparición de procesos diferenciados alrededor del cordón o puntos de soldadura.

Muchas veces la corrosión se concentra en dos franjas situadas a ambos lados de dicho cordón, zonas que actúan como ánodos; en otras ocasiones, lo que se corroe es el propio cordón, sobre todo si éste es rugoso y presenta oquedades, surcos y protuberancias que retienen humedad y contaminantes atmosféricos.

CONFORMACION POR	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (N/mm^2)	DUREZA (TEST BRINELL)	ALARGAMIENTO SOBRE 50,8 mm (%)
Fundición	155-170	45-55	25-30
Trabajo en frío	310-385	80-115	5-20
Trabajo en frío y recocido	215-245	40-50	50-60

PROPIEDADES DEL COBRE SEGÚN EL TRATAMIENTO DE RECOCIDO O TRABAJADO

Por otro lado, cuando se suelda por el borde de unas planchas o perfiles de acero con una de las caras planas de otras planchas o perfiles, la estructura cristalina de la cara posterior queda térmicamente deformada y tiende a actuar como ánodo y a corroerse más rápido que el resto de la superficie. La soldadura por puntos, además, puede llegar a dejar entre las planchas algunos resquicios inaccesibles a la protección general y, por ende, potenciales focos de corrosión prematura.

Los problemas de las soldaduras serán tratados más adelante con mayor profundidad.

METALES NO FERROSOS

Los metales no ferrosos son aquellos que no contienen hierro o, por lo menos, no lo contienen como principal componente. En general, los metales no ferrosos tienen un coste mayor que los ferrosos debido a su menor volumen de fabricación y a que su uso está todavía en expansión.

En este punto, entonces, veremos las técnicas de fabricación y conformación de los principales metales no ferrosos utilizados en la construcción, como así también sus propiedades principales.

COBRE

La resistencia a la corrosión, entre otras propiedades, es uno de los motivos que hacen del cobre un elemento requerido para diversas aplicaciones, siendo gran parte de su producción destinada a las aleaciones. Dentro de la construcción, los tipos de cobre más utilizados y con una pureza superior al 99 %, son los siguientes:

PIEZA / USO	ALEACIÓN
Calderas y calentadores de agua	Cobre desoxidado Latón con sílice
Depósitos y cisternas	Cobre desoxidado Latón con sílice
Abrazaderas para tubos, grifos y válvulas	Alpaca Bronce Bronce con zinc Latón fundido
Metalistería en general y herrajes Perfilería para puertas y ventanas	Alpaca Cobre Cobre con aluminio Latón Latón con sílice Latones diversos
Radiadores y elementos de calefacción por vapor	Cobre desoxidado
Tejado, canales, barreras antihumedad y chapistería exterior	Cobre desoxidado
Acabados electrolíticos	Cobre Latón
Campanas	Bronce de campanas Latón con sílice
Cerramientos exteriores, vitrinas, barandas	Alpaca Cobre Cobre con aluminio Latón Latón de alta resistencia
Estatuas y piezas fundidas decorativas	Alpaca Bronce Bronce con zinc Cobre con zinc Latón
Letreros, placas, lámparas	Alpaca Bronce Bronce con zinc Cobre con zinc Latón
Telas metálicas	Cobre Latón bajo en zinc
Conducciones de agua o vapor a baja presión	Cobre Latón bajo en zinc

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE ALEACIONES DE COBRE EN CONSTRUCCIÓN Y DECORACIÓN

- **COBRE DESOXIDADO:** destinado a instalaciones de agua y gas y a proyectos de ingeniería en general.

- **COBRE REFINADO TÉRMICO**: utilizado en planchas para revestimientos y cubiertas. Si bien contiene pequeñas cantidades de impurezas, ofrece mayor resistencia mecánica y a la corrosión atmosférica y mayor conductividad térmica y eléctrica que el cobre desoxidado.

- **COBRE ELECTROLÍTICO DE ALTA CONDUCTIVIDAD**: se usa en conductores eléctricos.

Entre las propiedades fundamentales del cobre, debemos señalar que suele ser muy resistente a los agentes corrosivos y al agua de mar pero que, no obstante, puede ser atacado por ácidos inorgánicos fuertes y por el amoníaco. Si el agua tiene proporciones elevadas de dióxido de carbono libre, lo disuelve.

Además, el agua que se escurre por cubiertas de cobre puede llegar a atacar los materiales adyacentes, inhibir el crecimiento de líquenes y provocar incluso la aparición de corrosión en otros metales.

Las aleaciones de cobre (que como ya indicamos es bajo la forma en que más se comercializa el cobre), se pueden unir por cualquiera de los sistemas de soldadura indicados para el cobre y presentan resistencias a la corrosión y conductividad térmica y eléctrica elevadas.

Si se llegara a producir un oscurecimiento por exposición al aire de estas aleaciones, se puede evitar aplicando encerados y barnices.

LATONES

Son aleaciones de cobre con un 50 % de zinc como máximo, ya que a partir de dicho porcentaje aparece un constituyente no metálico y la aleaciones resultan frágiles. Además, pueden aparecer pequeñas cantidades de otros metales como plomo, estaño, aluminio y silicio. Los latones binarios (cobre y zinc) presentan propiedades diferentes en función del contenido de zinc.

El zinc aumenta la fusibilidad, facilidad de moldeo y resistencia mecánica del latón. Si se trata de latones industriales con porcentajes inferiores al 40 %, no sólo presentan las propiedades esenciales del cobre sino que además su coste es menor y son muy fáciles de trabajar.

Menos resistentes que el cobre a la acción de los agentes atmosféricos, resisten mal a la acción de los ácidos sulfúrico y clorhídrico; sin embargo, lo hacen muy bien ante el agua (incluída el agua de mar) y el vapor recalentado.

Poseen mejores propiedades físicas que el cobre y mejor resistencia al ataque por cavitación, por lo que se emplean más que éste para tubos de condensación. En líneas generales, los latones pueden corroerse por descincificación, formación de picaduras o agrietamiento por corrosión bajo tensión, variando esta tendencia de acuerdo con el contenido de zinc –excepto en el caso de las picaduras, que suelen producirse por una aireación diferencial o elevada velocidad–.

Con respecto a los ***LATONES ALEADOS***, ocurre que el plomo agregado en pequeñas cantidades al latón (1-3 %) aumenta su ductilidad y maquinabilidad y disminuye su resistencia mecánica.

Si lo que se añade al latón es estaño, también en mínimas cantidades (1-2 %), se crean las aleaciones como la Cu-Zn 28 Sn 1 (***ADMIRALTY BRASS***, con buena resistencia a la corrosión de agua de río no contaminado) y Cu-Zn 38 Sn 1 (***LATÓN NAVAL***).

Si se incorpora aluminio en un 2 %, el latón cobra una mejor resistencia a la corrosión, a la acción del agua de río y mar y a la erosión ocasionada por velocidades de circulación de líquido de hasta 3 m/s. Si bien no admite cualquier tipo de soldadura, es fácil de trabajar en frío y en caliente.

Los latones de alta resistencia (conocidos también como bronces con manganeso), se obtienen añadiendo al latón contenidos elevados –hasta un 7 %– de zinc, manganeso, hierro, estaño o aluminio. Resisten la corrosión de la atmósfera, aunque esté cargada de sal y ácidos, y no atacan a materiales adyacentes.

Aunque se comercializan con precios elevados, se los elige para reforzar hormigones armados, para eliminar riesgos de corrosión, para perfiles extrusionados de cerramientos y para fijar placas de piedra sobre paramentos. Estos latones de alta resistencia admiten difícilmente la soldadura y el trabajo en frío.

Existen otras aleaciones del cobre. Si, por ejemplo, se realizan aleaciones de cobre y níquel (Cu-Ni-N), donde el nitrógeno puede variar del 10 a 35 %, se consigue una mayor resistencia a la tracción. Si se le incorpora zinc se obtienen alpacas duras, dúctiles y muy adecuadas para trabajar en caliente y en frío.

Bronce ordinario	Bronces Bronces fósforos Bronces rojos
Bronces especiales	Bronces al aluminio Bronces al magnesio Bronces al níquel Bronces al plomo Bronces al silicio

BRONCES MÁS IMPORTANTES

Con estas alpacas es posible obtener mejores herrajes y una clase de metalistería aplicada a la construcción de excelente apariencia y resistencia a la corrosión y de fácil mantenimiento y restauración.

Las aleaciones de cobre y silicio (Cu-Si-N), con buena resistencia a la corrosión de atmósferas sulfurosas, se destinan a aquellos elementos que fijan y rigidizan chimeneas y mampostería en general. Por su parte, las aleaciones de cobre y aluminio (Cu-Al-N) adquieren un color dorado brillante y muy buena resistencia mecánica y a la corrosión. En ambos casos, las aplicaciones más interesantes tienen que ver con su empleo en tubos de condensadores.

Para la fabricación de estos condensadores, cuando se trata de aguas dulces no contaminadas se emplean el cobre, el *metal Muntz*, el metal almirantazgo, la aleación Cu-Ni de composición 10-30 % Ni y resto Cu, y el latón al aluminio (22 % Zn, 76% Cu, 2% Al y 0,04% As). En cambio, si se trata de aguas contaminadas, son preferibles las aleaciones Cu-Ni en lugar del latón al aluminio, ya que este último está sujeto al ataque en forma de picaduras (aunque también puede picarse si está en reposo en agua de mar no contaminada).

No obstante, el latón al aluminio, en comparación con el metal de almirantazgo, resiste mejor al ataque del agua de mar a gran velocidad (corrosión-erosión y cavitación).

Las aleaciones Cu-Ni, cuando contienen pequeñas cantidades de hierro –y a veces de manganeso–, son resistentes al agua de mar a gran velocidad. El contenido óptimo de hierro para la aleación de 10 % de níquel es de aproximadamente 1-1,75 % con 0,75 % de manganeso máximo, y para la aleación análoga con 30 % de níquel suele ser menor, por ejemplo 0,40-0,70 % de hierro y 1 % de manganeso máximo.

La aleación Cu-Ni con 30 % de níquel tiene una relativa resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, en comparación con las aleaciones 10 o 20 % Ni-Cu o con cualquiera de los latones Cu-30 %.

Los cobres de berilio, generación bastante reciente de aleaciones de cobre de alta resistencia, se moldean y hechuran en caliente y en frío y resultan resistentes a la corrosión y al desgaste en presencia de lubricantes. Asimismo, su elevada resistencia mecánica se alcanza por el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación. No obstante, hay que añadir que se trata de aleaciones de coste elevado porque contienen entre 1 y 2,5 % Be.

BRONCES

Los bronces son aleaciones de cobre más resistentes a la corrosión pero a la vez sensibles a las sustancias que atacan los latones binarios. Se comportan muy bien frente al agua, incluso la de mar, y en aire húmedo se recubren de una pátina verdosa.

El bronce ordinario –o bronce propiamente dicho– es una aleación de cobre y estaño donde el contenido de este último puede variar del 2 al 20 %.

Se destina para muchas aplicaciones gracias a sus buenas cualidades para el rozamiento, su excelente moldeabilidad y resistencia a la corrosión y su buen aspecto y sonoridad. Con mayores contenidos de estaño es posible obtener bronces especiales como el bronce de campanas.

El bronce de zinc tiene aproximadamente las mismas propiedades y usos que los latones binarios.

NÍQUEL

Se trata de un metal de color blanco plata con una elevada resistencia a la corrosión y a la mayoría de los ácidos. Es duro, puede recibir un bello pulido y se utiliza en recubrimientos de otros metales, en aleaciones y en la industria química.

ESTAÑO

Con una excelente resistencia a la corrosión, este metal se usa como revestimiento sobre acero (lata) y en soldaduras y, junto con bronce y plomo, en la fabricación de soportes y fijaciones.

MEDIO	COMPORTAMIENTO
Exposición atmosférica	Muy bueno si las aleaciones están liberadas de tensiones
Agua destilada	Muy buena resistencia
AlHF	En concentraciones de menos del 2 % tiene un buen comportamiento.
Álcalis	Muy bueno hasta los 60 ºC
Aguas con iones de metales pesados	Poca resistencia
Agua de mar	Poca resistencia
Ácidos inorgánicos y orgánicos y sales ácidas (NH4)	Malo
Metanol	Malo. Pero resiste a los alcoholes superiores
Gasolinas con plomo	Malo

COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO SEGÚN EL MEDIO DE EXPOSICIÓN

CROMO

Se destaca por su resistencia a la corrosión y es muy duro y difícil de rayar. Se aplica en la obtención de acero inoxidable, en recubrimientos y en otras aleaciones resistentes a la corrosión.

MAGNESIO

Se trata del metal más activo de la serie electroquímica entre los destinados a las aplicaciones estructurales. Tiene una baja densidad (1,7 g/cm^3) que lo vuelve muy útil y si se expone al agua se pasiva.

Su resistencia a la corrosión depende de la pureza del metal. El magnesio obtenido por destilación se corroe en agua de mar a la velocidad de 0,25 mm por año (alrededor de dos veces la velocidad para el hierro), pero la calidad del magnesio que se comercializa se corroe en una velocidad 100 a 500 veces mayor debido a las impurezas que presenta.

ZINC

Metal de uso creciente, se obtiene por electrólisis o por procesos térmicos de minerales que lo contienen (sulfuros y carbonatos).

Su superficie –en principio brillante– expuesta a la acción de atmósferas normales logra una capa adherida y protectora de carbonato de zinc.

Si bien tiene una buena resistencia a las atmósferas marinas, aquellas contaminadas con óxidos de azufre lo atacan lentamente.

Su coeficiente de dilatación térmica es relativamente alto: ante un incremento de temperatura de unos 50 ºC una pieza de 1 m de longitud se alarga cerca de 26 milímetros.

MEDIO	COMPORTAMIENTO
NH_4OH	Resiste bien en caliente o frío
Acido acético	Se comporta bien en caliente o frío y muchos otros ácidos orgánicos
Acidos grasos	Resiste muy bien la destilación de estos ácidos
Acido nítrico	En concentraciones mayores al 80% y hasta 50 ºC se comporta muy bien
Agua destilada	Comportamiento excelente
Exposición atmosférica	Excelente en las atmósferas rurales, urbanas e industriales. Menor resistencia en las atmóferas marinas
Azufre	Muy buen desempeño
Gases refrigerantes fluorados	Excelente, pero no resiste el bromuro o el cloruro de metilo
Ácidos fuertes	Mala resistencia al HCl y HBr (diluidos o concentrados), HF, $HClO_4$ y H_3PO_4. Es satisfactorio frente al H_2SO_4.
Álcalis	La cal y el hormigón fresco son corrosivos para el aluminio, así como los álcalis fuertes (NaOH)
Plomo y sus sales	Mal desempeño
Agua de mar	Se forman picaduras en las ranuras, debajo de los depósitos y en presencia de iones de metales pesados
Aguas con iones de metales pesados	Mal comportamiento con aguas que hayan pasado por tuberías de Cu, latón o de hierro
Solventes clorados	Mal desempeño
Alcoholes etílico, propílico o butílico	A temperaturas elevadas muy mala resistencia

COMPORTAMIENTO DEL ALUMINIO SEGÚN EL MEDIO DE EXPOSICIÓN

En condiciones urbanas de polución media la duración de una cubierta con pendiente mínima del 1,5 % es de aproximadamente 40 años y, en el medio rural, puede ser mayor.

Aunque no le afectan el cemento Pórtland o la cal de los morteros, se recomienda el revestimiento con pinturas bituminosas en aquellos casos donde el zinc queda embebido en materiales que contienen sales solubles –sobre todo cloruros y sulfatos– o está en contacto con enyesados en condiciones de humedad. Un agente que puede atacar a este metal es la madera húmeda, por lo que es mejor que el roble y algunos tipos de cedro lleven un fieltro interpuesto.

La corrosión por contacto con estaño, plomo, hierro o aluminio es improbable; al contrario, conviene evitar el contacto con el cobre y sus aleaciones. Asimismo, se ha de evitar que el agua que procede de cubiertas y tubos de cobre desagüen por conductos de zinc.

PLOMO

Es el metal más suave y uno de los más durables entre los empleados en construcción. Su alto coeficiente lineal de dilatación térmica y la baja resistencia a la fatiga pueden permitir rupturas si el movimiento queda restringido.

Por lo general no es atacado electrolíticamente por otros metales; resiste los ácidos inorgánicos en grados diversos según su concentración y temperatura pero puede ser atacado, sin embargo, por algunos ácidos orgánicos (ácido acético y ácidos producidos por maderas como roble y haya o por líquenes). Si el agua contiene ácidos orgánicos o dióxido de carbono el plomo se disuelve y una proporción de más de 0,1 mg/l de plomo en agua resulta peligrosa para la salud.

Si bien los morteros de cal no afectan al plomo, el cemento Pórtland que se mantiene húmedo –contenido en morteros u hormigones– puede hacerlo. En casos así, los tubos de plomo deben protegerse con pinturas bituminosas, fieltros, papeles o telas de cáñamo o yute.

ALUMINIO

Es, sin lugar a dudas, el metal que más evolucionó su fabricación y aplicación en el campo de la edificación en estos últimos años. Sus posibilidades se han multiplicado y su comportamiento se ha estudiado en profundidad, como así también las formas de protegerlo y manipularlo.

En atmósferas normales se forma en su superficie una capa protectora de óxido, blanquecina, fina y compacta. Puede sufrir corrosión electrolítica tanto en condiciones de sequedad como de humedad (se recomienda no exponer a atmósferas marinas). Se aconseja evitar el contacto con el cobre y sus aleaciones y con el acero; no ocurre lo mismo con el zinc y el acero inoxidable, donde un contacto no comporta problemas.

Los ácidos, con excepción del ácido nítrico, lo atacan con relativa rapidez y los hidróxidos alcalinos y los álcalis que libera el cemento Pórtland lo atacan rápido, por lo que este metal, así como las superficies anodizadas, deben protegerse del contacto de hormigones y morteros.

En general, el aluminio de alta pureza es mucho más resistente a la corrosión que el metal puro que se comercializa, a su vez más resistente que las aleaciones de aluminio.

Como consecuencia de la formación de pilas galvánicas entre aluminio y cobre o hierro depositados (por reacción de desplazamiento) que estimulan la disolución del aluminio en áreas locales, este metal no es el adecuado para cañerías de agua potable o industrial, ya que suelen contener trazas de iones de metales pesados.

En cambio, sí es un material apropiado para contener o transportar el agua destilada desmineralizada o exenta de dichos iones.

Entre las aleaciones de moldeo son notables las de Al-Cu (resistente a la tracción), las de Al-Si (más dúctiles y resistentes a la corrosión), las de Al-Si-Mg (resistentes a los agentes atmosféricos) y las aleaciones de Al-Mg –***MAGNALI***– (las más tenaces de todas las aleaciones de aluminio, ligeras y resistentes a la corrosión), todas ellas aplicadas en herrajes, pomos de puertas y ventanas y elementos decorativos.

Las aleaciones de fundición suelen clasificarse en dos grupos según puedan recibir tratamiento térmico, que mejora la resistencia mecánica, o no.

En el primero se encuentran las aleaciones que incluyen magnesio y silicio, muy empleados en perfiles extrusionados para ventanas, y las aleaciones que además contienen manganeso y que se usan para perfiles estructurales.

En el caso de aleaciones estructurales se debe considerar que el aluminio ve incrementada su resistencia a bajas temperaturas, razón por la cual se lo utiliza para embotellar gases licuados.

Por otro lado, los tornillos y remaches en frío evitan el calor que puede cambiar las propiedades de la aleación.

La soldadura de aluminio y de sus aleaciones por lo general acarrea ciertas dificultades debido a la formación de una capa de alúmina que hace necesario un flujo decapante, que puede ser corrosivo y por tanto se debe eliminar. Asimismo, se aconseja controlar la elección de los metales de aportación para impedir una corrosión bimetálica.

Las aleaciones con tratamiento térmico pierden resistencia allí donde recibe el calor de la soldadura mientras que las que no han sido tratadas permiten soldaduras con un 90 % de eficacia. Por último, es importante recordar que si bien estos inconvenientes se vuelven sumamente complicados de tratar una vez en obra, pueden ser resueltos en el taller sin mayores inconvenientes.

TITANIO

El titanio es un material que presenta una excelente combinación de propiedades: en estado puro tiene densidad baja (4,5 g/cm^3), temperatura de fusión elevada (1.668 ºC) y un módulo elástico de 107.000 Mpa. A su vez, sus aleaciones resultan en extremo resistentes, dúctiles y mecanizables. Tienen una alta resistencia a la corrosión a temperatura ambiente y suelen ser inmunes a ambientes atmosféricos y marinos, así como a diversos medios empleados en la industria química.

El titanio y sus aleaciones son principalmente utilizados en el campo de la ingeniería. Un 20 % del titanio metal se emplea sin alear y un 50 % es destinado para la aleación Ti-6Al-4V. El 80 % del titanio metal lo consume la industria aerospacial.

CAUSAS DE ALTERACIÓN

A. FACTORES QUE FAVORECEN LA CORROSIÓN

En este apartado se presenta en breve desarrollo de los principales factores que inciden en la formación de procesos de corrosión que desarrollan los elementos metálicos. De esta manera, nos encontramos con:

- **AGUAS**: las duras pueden tener más de 50 mg/l de iones de calcio y magnesio e incluso las limpias contienen impurezas minerales, oxígeno y dióxido de carbono disuelto.

  A menos que haya partículas extrañas que impidan su adherencia, los depósitos de carbonatos –combinados con productos de la corrosión– pueden formar una capa a menudo protectora.

  Por otra parte, las aguas ácidas o alcalinas con un alto contenido de cloruros provocan el descincado de algunos tipos de latones (disolución local del latón y precipitación de cobre como masa esponjosa y sin resistencia).

- **ÁCIDOS**: pueden provenir del agua de lluvia (CO_2), de algunos terrenos y enyesados y de ciertas maderas (roble, tuyas, castaño), algas y musgos. Los baños de aguas ácidas pueden incluso perforar metales muy durables como cobre y plomo.

- **SALES**: tienen la propiedad, en muchos casos, de ayudar en la creación de una capa protectora e inhibidora de la corrosión. No obstante, el agua de terrenos encharcados con ácidos orgánicos o sales inorgánicas, pueden disolver el cobre y plomo de tubos y caños. En otra situación, si se quiere impedir la corrosión de las barras de acero de hormigón armado, las adiciones al cemento Pórtland de cloruro cálcico, como acelerador de fragüe, no deberían superar el 2 % del peso del cemento.

- **ÁLCALIS**: el hidróxido de sodio y de potasio liberados por el cemento Pórtland son muy perjudiciales para el zinc, el aluminio y el plomo (en condiciones húmedas); no obstante, no afectan al cobre y protegen de la corrosión a los materiales ferrosos embebidos en hormigón rico en cemento. La cal aérea, por su parte, mientras no es carbonatada protege los metales ferrosos pero puede atacar al aluminio y ser ligeramente corrosiva para el plomo y el zinc.

- **TERRENO**: este factor será analizado más adelante.

- **CLIMA**: se ha establecido la clasificación de los climas frecuentes en distintas regiones con incidencia sobre los metales de las construcciones.

- **FACTORES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SOLICITACIÓN.**

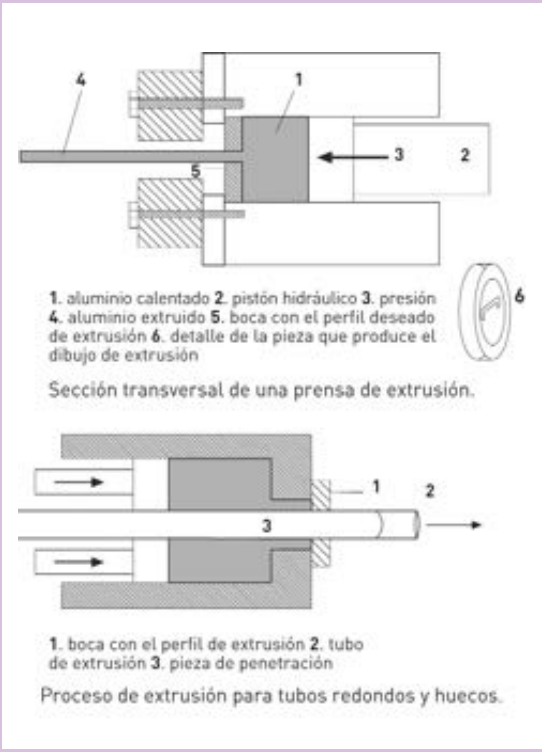
Lamentablemente, en las fases de diseño de una construcción a veces se olvida el hecho de que cualquier superficie que favorece la acumulación de agua y contaminantes atmosféricos representa un foco de corrosión prematura. Se recomienda, entonces, dar a las superficies una pequeña inclinación para facilitar la evacuación del agua, distribuir orificios de drenaje, prever un espacio suficiente entre los elementos para preparar las superficies y pintarlas y evitar rincones donde el agua y los contaminantes puedan quedar retenidos.

Con respecto a las deformaciones, conviene añadir que aquellas zonas que han experimentado problemas de este tipo tienden a actuar como ánodos y a ser más proclives a la corrosión (corrosión bajo tensión) que suele aparecer prematuramente en bordes, cantos vivos y zonas de dobleces, lo que hay que tener en cuenta al diseñar la estructura y al especificar la protección anticorrosiva.

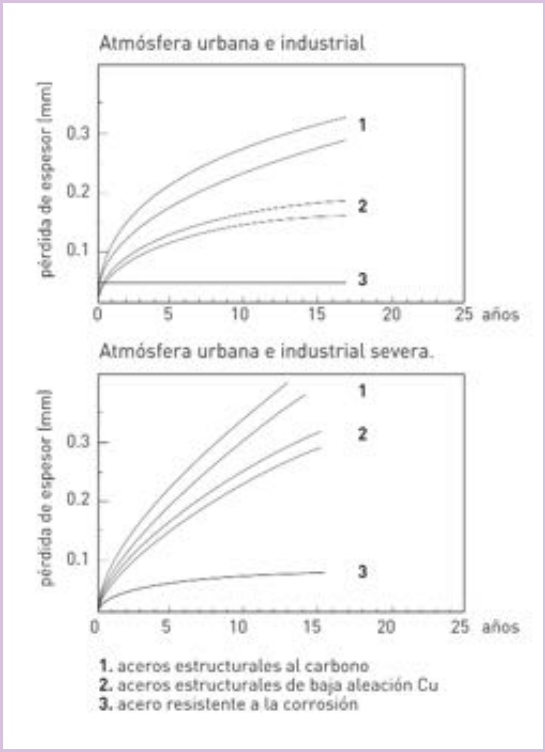
B. CAUSAS MECÁNICAS DE LAS LESIONES

Los motivos de origen mecánico de alteración y deterioro de los materiales incluyen movimientos, deformaciones y rupturas. Con respecto a los movimientos, estos pueden ser causados por:

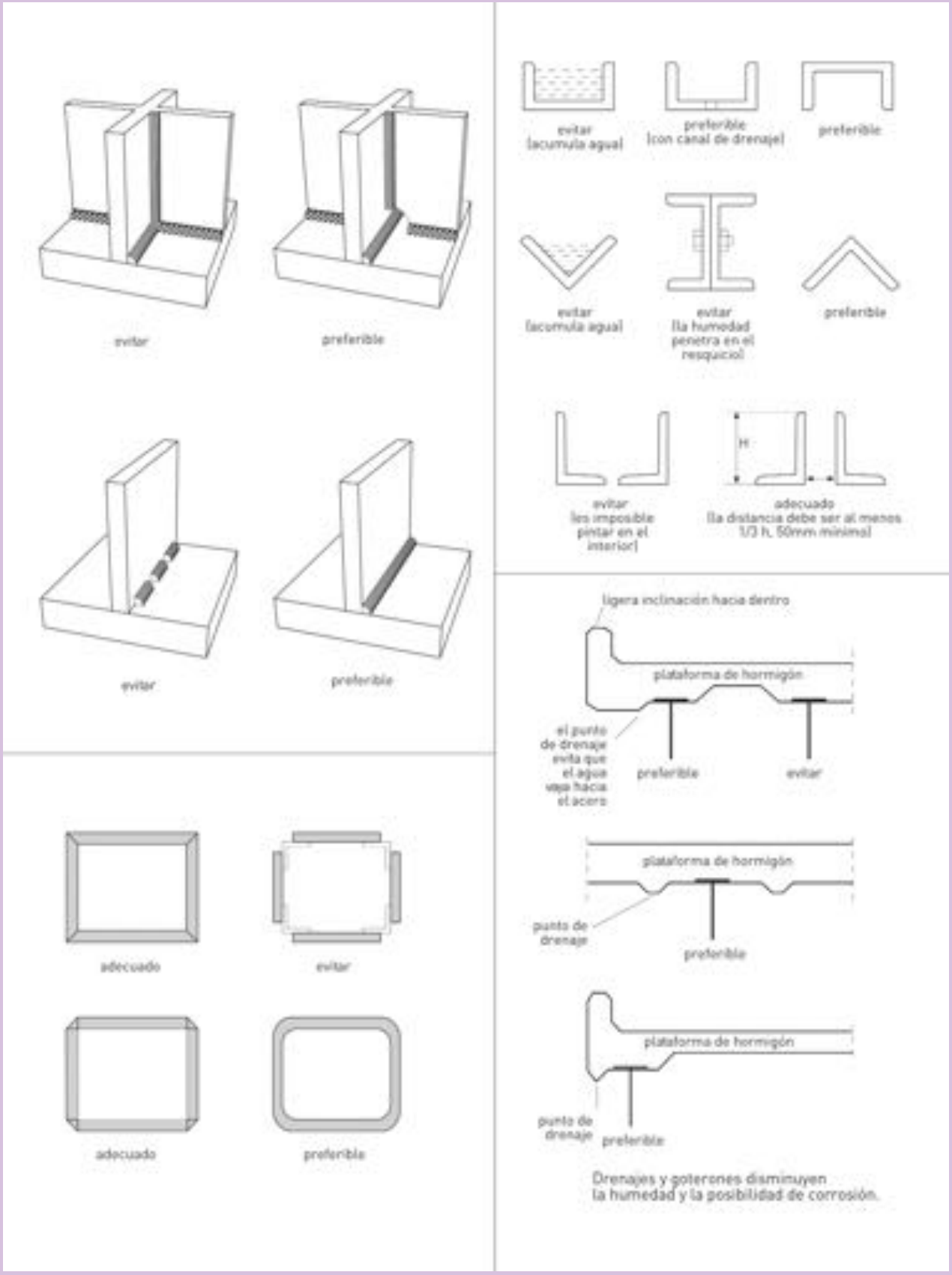
- **CARGAS EXTERNAS DIRECTAS** sobre la estructura u otros elementos.
- **CARGAS INDIRECTAS** (cambios de temperatura o humedad), que si se restringe el movimiento de las piezas, provocan serias deformaciones.
- **CARGAS REOLÓGICAS** con consecuencias de fatiga para los materiales.
- **DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA** por alteraciones en los terrenos de fundación.



Procesos de extrusión.



Comportamiento frente a la corrosión de diferentes aceros.



Ubicación, uniones, diseños y soldaduras preferibles en elementos mecánicos para minimizar el riesgo de corrosión.

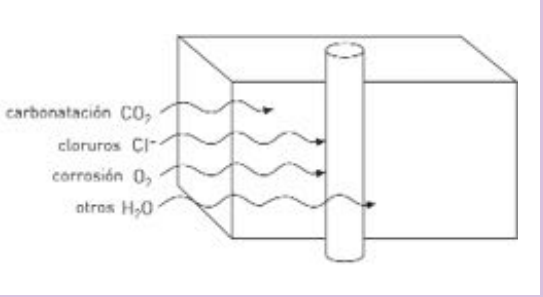
La reología establece la relación entre esfuerzos, deformaciones, temperatura y tiempo de aplicación de fuerzas en la materia considerada como un medio continuo y estudia los fenómenos de flujo, fatiga, envejecimiento y memoria.

En lo que respecta a las cargas reológicas, hay que considerar que las propiedades mecánicas básicas y sus valores se han estudiado en muestras de diversos materiales, siempre a temperatura ambiente y en condiciones controladas de carga.

Pero en la práctica las circunstancias pueden diferir y las cargas pueden actuar durante un largo periodo y en condiciones variables de temperatura, lo que puede significar una modificación de la resistencia mecánica de los metales, que en general disminuye. En consecuencia, se han de investigar los fenómenos originados por fluencia, fatiga e impacto.



Claro ejemplo de la expansividad de un elemento con corrosión. El hormigón se ha fisurado y esto permitirá la entrada de agua y una corrosión más rápida aún.



Penetración de agentes agresores.

El flujo, o fluencia lenta o deformación diferida, es la parte de la deformación que depende del tiempo como resultado de la aplicación de una fuerza.

Este fenómeno se asociaba con altas temperaturas hasta que se comprobó que también era observable a temperatura ambiente. En todo caso, está comprobado que si persiste el flujo acaba produciéndose la ruptura.

Por fatiga se entiende la disminución de la resistencia a la ruptura de un material elástico, sometido en repetidas ocasiones a esfuerzos de intensidad y signos variables. En el caso de los metales la fatiga también implica una baja de la ductilidad y un aumento de la incerteza de la capacidad resistente y dureza.

No obstante, parece que los metales responden bien a la fatiga siempre que las cargas no superen las correspondientes al límite elástico y este fenómeno resulta más importante en la ingeniería de maquinas que en la construcción, ya que es poco frecuente que los elementos estructurales de un edificio se debiliten por acción de vibraciones.

Por último, el impacto se refiere a la aplicación repentina de una carga considerable. Una carga aplicada de golpe provoca mayores esfuerzos que si lo hiciese paulatinamente y que un material falle como resultado de este fenómeno depende en gran parte de su capacidad para absorber la energía cinética del cuerpo que lo provoca y, por esta razón, los materiales dúctiles son más capaces de resistirlo que los frágiles.

El impacto, al igual que la fatiga, tampoco constituye un problema serio en la construcción.

CORROSIÓN

La corrosión, principal característica química de los metales empleados en construcción, se trata de la interacción de un metal con el medio que lo rodea y consiste en la destrucción de su superficie por contacto con agentes diversos.

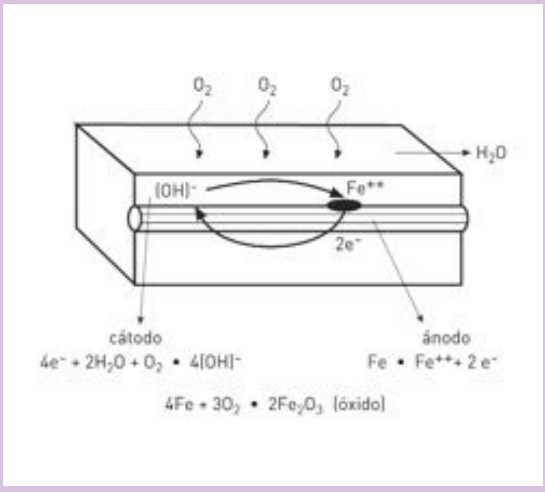
Aun en atmósferas limpias, lo normal es que se forme en el metal una capa superficial de productos originados por la corrosión que, en el caso de metales no ferrosos y algunos ferrosos, suele quedar bien adherida e impide así la continuidad del proceso.

Para que aparezca una corrosión propiamente destructora es necesario el contacto de diferentes metales o la presencia de humedades persistentes o de una atmósfera contaminada básicamente por gases de combustión.

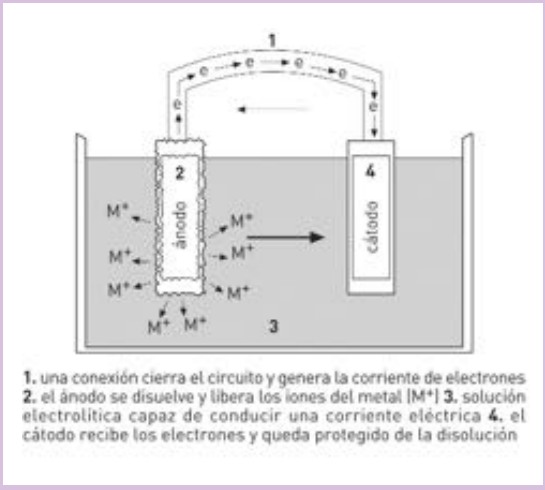
En el caso de la humedad, es conveniente diseñar las estructuras metálicas y componentes de manera que el agua no pueda filtrarse; de lo contrario, se aconseja separar los metales diferentes o sustituirlos por materiales no metálicos, medidas que pueden prevenir problemas mayores cuya solución suele tener un elevado costo.

Un mecanismo de la corrosión, por ejemplo, tiene lugar cuando metales diferentes conectados eléctricamente se hallan inmersos en un líquido conductor –electrolito–, lo que permite la formación de un circuito galvánico o pila electrolítica.

De esta manera se forman dos opuestos, el ánodo y el cátodo, donde el primero de ellos es el que cede iones, se carga negativamente y es corroído, y el segundo se carga positivamente y no es corroído.

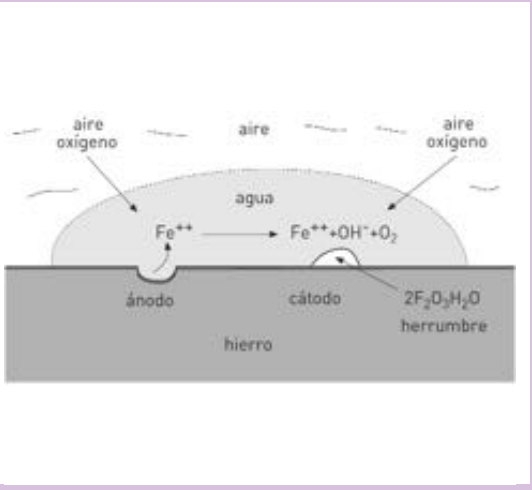


Propagación de la corrosión en armadura: célula de corrosión.



1. una conexión cierra el circuito y genera la corriente de electrones **2.** el ánodo se disuelve y libera los iones del metal (M^+) **3.** solución electrolítica capaz de conducir una corriente eléctrica **4.** el cátodo recibe los electrones y queda protegido de la disolución

Corrosión en metales diferentes.



Esquema de la corrosión en la superficie del acero.

Por ejemplo, en los galvanizados el zinc, que tiene un bajo potencial, protege al acero actuando como ánodo. Veamos a continuación los factores que influyen en la velocidad de esta corrosión:

- **LA DIFERENCIA DE POTENCIAL DE LOS METALES EN CONTACTO**: los metales situados por debajo de la escala son corroídos por los que están situados más arriba; además, cuanto más alejados están el uno del otro, más intensa es la reacción.

- **LA MEDIDA DE LAS SUPERFICIES EXPUESTAS**: la corrosión es más importante cuanto más pequeña es la superficie del ánodo, en comparación con la del cátodo.

- **LAS CARACTERÍSTICAS DEL ELECTROLITO**: la corrosión es más rápida cuanto más fuertes son los ácidos o sales presentes en el electrolito.

- **LA TEMPERATURA**: puede aumentar la velocidad de corrosión. En combinaciones de zinc y acero tiene lugar un cambio de polaridad alrededor de los 70 ºC; si la temperatura en depósitos de acero galvanizado es mayor, y no se ha creado una capa protectora, el revestimiento de zinc tiende a corroer el acero.



Corrosión por picadura de un elemento metálico.

No es fundamental que el acero esté sumergido, basta con unas gotas de lluvia o una mínima capa de condensación para que se desarrolle este fenómeno.

La corrosión se produce espontáneamente y puede evolucionar de manera normal o acelerada en función de las condiciones atmosféricas y la concentración de contaminantes.

CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS PROCESOS DE CORROSIÓN

Existen variados criterios para clasificar los procesos de corrosión. En este apartado analizaremos el fenómeno a través de la forma de ataque, del medio que lo produce y de las condiciones físicas que pueden motivarlo.

I. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FORMA DE ATAQUE

***CORROSIÓN UNIFORME, HOMOGÉNEA O GENERALIZADA**:* el ataque se extiende sobre toda la superficie metálica y en consecuencia la penetración media es similar en todos los puntos. En estas circunstancias, hay una relación directa entre pérdida de material, reducción de espesor y magnitud del fenómeno.

***CORROSIÓN EN PLACAS O SELECTIVA**:* el ataque se localiza en determinadas zonas de la superficie metálica. Esta forma de corrosión es frecuente en aleaciones, que suelen presentar distintas fases y contenidos en los diversos metales que las constituyen.

Este tipo de ataque es considerado un caso intermedio entre la corrosión uniforme y la corrosión por picadura.

***CORROSIÓN POR PICADURA**:* el ataque se localiza en zonas aisladas de la superficie que no superan los 1 o 2 mm² por picadura y por lo general avanza con rapidez hacia el interior del metal –gracias a pequeños túneles– ya que en las zonas afectadas la velocidad de corrosión suele ser alta. Este fenómeno suele darse en materiales metálicos pasivables (se inicia como resultado de la rotura local de la película pasiva) pero también es favorecido por heterogeneidades superficiales. Si bien la pérdida de material es mínima, los inconvenientes causados pueden ser importantes.

***CORROSIÓN EN RESQUICIO**:* a menudo debida a la formación de pilas de aireación diferencial, se presenta en uniones, intersticios, zonas de solape y roscadas y, en general, en aquellas regiones mal aireadas o en las que la renovación del medio corrosivo está condicionada por mecanismos de difusión y es difícil.

***CORROSIÓN INTERGRANULAR**:* el ataque se localiza en los límites de grano del material metálico y, en consecuencia, se pierde la coherencia entre granos y el material ve reducidos los valores de sus características mecánicas habituales. Es frecuente en aceros inoxidables y en las aleaciones Ni-Cr y A l4 %-Cu.



Corrosión por aireación diferencial de elementos metálicos.

CORROSIÓN BAJO TENSIÓN**:* También llamada ***CORROSIÓN FISURANTE, es muy poco habitual en metales puros. Tiene lugar cuando una aleación es sometida a una tensión mecánica de tracción –aplicada o residual– y está en contacto con un medio agresivo –específico para cada material–.

Se caracteriza por la aparición de grietas o fisuras que avanzan en la dirección de aplicación de la tensión, a velocidades de propagación de hasta 2 o 3 mm/hora. El desplazamiento de la grieta puede ser a través del grano (transgranular) o a lo largo del límite de grano (intergranular), lo que depende sobre todo de las características metalúrgicas de la aleación.

Cuando la tensión aplicada es cíclica, el proceso se conoce como ***CORROSIÓN FATIGA*** y se caracteriza, igual que en el caso anterior, por la aparición de grietas que pueden originar la rotura del material en tiempos cortos; la diferencia es que en estas condiciones no es necesario un medio agresivo específico.

CORROSIÓN DE HIERRO (MG)	SEGUNDO METAL	CORROSIÓN DEL SEGUNDO METAL (MG)
183,1	Cobre	0,0
181,1	Níquel	0,2
171,1	Estaño	2,5
183,2	Plomo	3,6
176,0	Tungsteno	5,2
153,1	Antimonio	13,8
9,8	Aluminio	105,9
0,4	Cadmio	307,9
0,4	Zinc	688,0
0,0	Manganeso	3.104,3

DATOS DE CORROSIÓN DEL HIERRO FORMANDO PAR GALVÁNICO CON DISTINTOS METALES EN CONTACTO CON UNA SOLUCIÓN DE NaCl AL 1 % EN PESO.

II. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MECANISMO

PILAS DE CORROSIÓN

HETEROGENEIDAD DEL METAL

Los metales están constituidos por cristales o granos –separados entre sí por lo que se conoce como ***LIMITES DE GRANO***– que si bien pueden no tener igual composición química y estructura cristalina, la zona de confluencia entre ellos –los límites– siempre presentan ciertas características singulares.

La presencia de una fase de composición química diferente puede permitir procesos de ataque localizado en el límite por fenómenos galvánicos o de otra naturaleza, de manera que, indirectamente, el límite de grano facilita que haya regiones con distinto potencial electroquímico y, por tanto, que aparezcan pilas locales de corrosión.

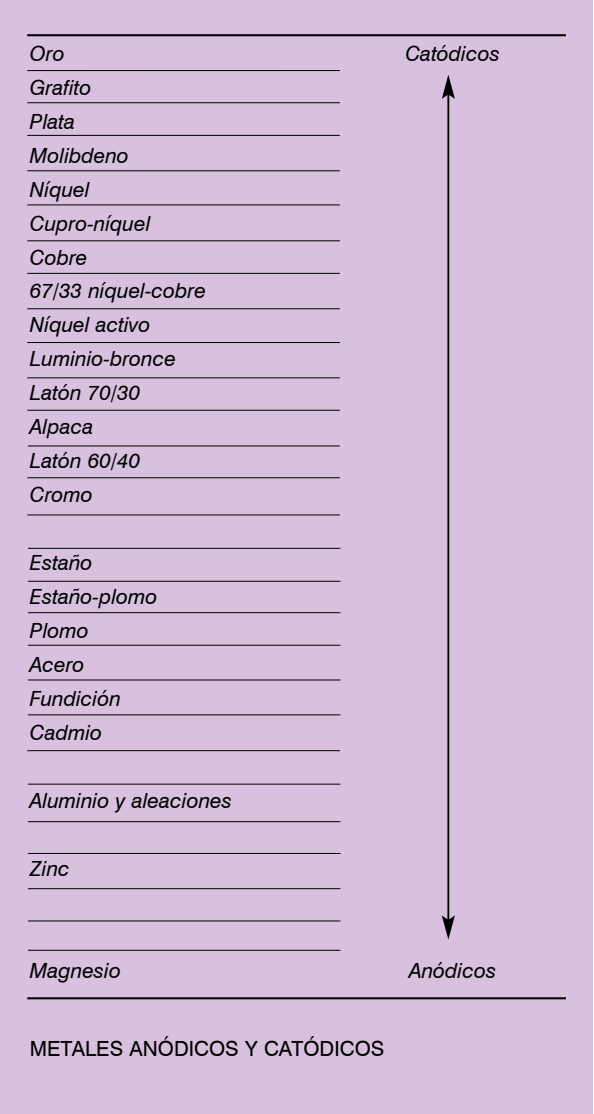
A veces, cuando se aplica una solicitación mecánica, incluso de menor magnitud que la calculada, aparece una deformación sobre el material metálico debido a la existencia y movimiento de defectos como la dislocación de borde.

Por lo tanto, en las zonas donde se acumulan dislocaciones suele presentarse un comportamiento anódico respecto a las zonas vecinas, generándose micropilas de corrosión.

Cuando un material metálico se deforma en frío resulta en una estructura altamente desorganizada con gran densidad de dislocaciones.

Las zonas de un metal bajo tensión externa están sometidas a deformación elástica y tienden a actuar de forma anódica respecto a aquellas que se hallan a menor tensión o no están tensadas, debido por lo general a la rotura o agrietamiento de películas protectoras superficiales de productos de corrosión.

No hay que confundir esta circunstancia con el efecto de agrietamiento del material en lo que se conoce como fenómenos de corrosión bajo tensión, donde participan tanto procesos de tipo mecánico como electroquímico.



METALES ANÓDICOS Y CATÓDICOS

El fenómeno de las ***MACROSEGREGACIONES***, importante en las piezas moldeadas, tiene como resultado una distribución no uniforme de elementos aleantes en las distintas zonas de una pieza.

Al haber una composición química diferente entre periferia y centro, surgen regiones de distinto potencial y, por lo tanto, pilas de corrosión, efecto muy notable en las aleaciones formadas por ciertos elementos de actividad muy diferente (por ejemplo: impurezas activas –fósforo, azufre y carbono– en el acero).

Una de las diferencias más importantes entre un elemento metálico puro y una aleación, es que el primero tiene una temperatura única y fija de cambio de estado líquido a sólido, mientras que, en el caso de la aleación, la solidificación o fusión se verifica a través de un intervalo de temperatura. De esa forma los cristales, que no solidificaron bajo condiciones de equilibrio, muestran una serie de capas; su núcleo presenta una composición rica en uno de los elementos y pobre en otros, a la inversa que las capas periféricas. A este fenómeno se lo conoce como microsegregación.

En el caso de las superficies contaminadas durante el laminado y mecanizado, o que se hayan rozado con otros metales durante el almacenamiento o transporte conjunto, es posible que aparezca una película contaminante que forme pilas de corrosión en contacto con el metal base. Por último, hemos de añadir que una falta de uniformidad en la calamina sobre el acero provoca el funcionamiento de pilas de corrosión entre zonas de metal desnudo y cubierto.

HETEROGENEIDAD DEL MEDIO

Los casos más habituales se refieren a:

- **PILAS DE CONCENTRACIÓN IÓNICA O SALINA.**
- **PILAS DE AIREACIÓN DIFERENCIAL.**

El fenómeno de las pilas de concentración es típico de tuberías enterradas en suelos con diferente composición química en zonas distintas, pudiendo aparecer también en plantas químicas cuando se conducen fluidos cuya composición se modifica a lo largo del trayecto, por evaporación de parte del disolvente.

TIPO DE MICROORGANISMO		EJEMPLO	INTERVALO DE TEMPERATURA (ºC)	INTERVALO DE PH
Algas	Verdes	Chlorella	30-35	5,5-9,0
	Verde-azuladas	Anneystis	35-40	6,0-9,0
	Diatomeas	Diatomea	18-36	5,5-9,0
Hongos	Filamentosos	penicilium	0-38	2,0-8,0
	Levaduras	Saccharomyces	0-38	2,0-8,0
	Basidiomicelos	Peniophom	0-38	2,0-8,0
Bacterias	Aeróbicas no esporuladas	Pseudomona aeruginosa	20-40	4,0-8,0
	Aeróbicas esporuladas	Bacillus subtilis	20-40	5,0-8,0
	Aeróbicas oxidantes del azufre	Thiobacillus thio-oxidans	20-40	0,5-6,0
	Aeróbicas oxidantes del hierro	Gallionella	20-40	7,4-9,5
	Aeróbicas reductoras de azufre	Desulfovibrio	20-40	4,0-8,0

MICROORGANISMOS MÁS HABITUALES LIGADOS A PROCESOS DE CORROSIÓN Y CONDICIONES FISICO-QUÍMICAS PARA SU SUPERVIVENCIA

En medios aireados la reacción catódica de corrosión consiste en la reducción del O_2 disuelto en el electrolito. De acuerdo con esto, el potencial es función de la presión parcial de oxígeno y de pH, de manera que zonas de diferente presión de O_2 conducen a diferencias de potencial en distintas zonas de un metal, originando así el funcionamiento de pilas de corrosión.

La región en contacto con un bajo contenido en oxígeno tendrá menor potencial (y actuará de ánodo) y manifestará la reacción de corrosión. Al contrario, la zona más aireada actuará de cátodo y recibirá la reacción de reducción, en este caso del O_2 (fenómeno de aireación diferencial).

HETEROGENEIDAD DE LAS CONDICIONES FÍSICAS

Las zonas más calientes tienden a actuar como ánodo frente a las de menor temperatura, que presentan comportamiento catódico. Estas pilas por ***DIFERENCIA DE TEMPERATURA*** pueden aparecer, por ejemplo, en intercambiadores de calor y calderas.

Las diferencias de potencial a causa de la presencia de un campo magnético externo permiten la formación de áreas anódicas y catódicas en las estructuras enterradas o sumergidas, debido a la presencia de corrientes vagabundas o erráticas (fugas de corriente), con efectos muchas veces desastrosos.

CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

Como hemos visto que en las regiones catódicas no hay ataque, podemos añadir que el proceso no afecta por igual a toda la superficie metálica. Sin embargo, la práctica ha demostrado que los fenómenos electroquímicos contribuyen mucho más que la corrosión directa al fallo de los metales.

La corrosión electroquímica surge cuando los materiales metálicos se encuentran en contacto con medios de conductividad electrolítica, en particular con el agua, las soluciones salinas o la humedad de la atmósfera y de los suelos.

La unión eléctrica entre dos metales distintos, por ejemplo el zinc y el cobre sumergidos en una solución conductora, genera una corriente por la diferencia entre los potenciales electroquímicos de ambos. La superficie del metal con mayor tendencia a la disolución (zona anódica) es corroída en un proceso por el que los átomos metálicos dejan sus electrones en el seno del metal y pasan a la solución como ion positivo.

En realidad, cualquier oxidante puede actuar como captador de electrones; sin embargo, en la mayoría de los casos actúa como tal el oxígeno (O_2) disuelto en el electrolito en medios neutros y alcalinos, o el hidrógeno (H^+) en medio ácido.

La circulación de la corriente es posible porque los metales cuentan con electrones de valencia movibles y con un grado de libertad bastante importante, lo que favorece su transferencia a otras sustancias que llegan a la superficie metálica.

A continuación presentamos las características básicas del proceso de corrosión electroquímica:

- **SE DA EN PRESENCIA DE ELECTROLITO.**
- **POR LO GENERAL SE PRESENTA EN TEMPERATURAS MODERADAS (INFERIORES A 100-150 ºC).**
- **ES LOCALIZABLE EN REGIONES DE COMPORTAMIENTO ANÓDICO.**
- **LA CIRCULACIÓN DE ELECTRONES VA DEL ÁNODO AL CÁTODO Y A TRAVÉS DEL PROPIO METAL.**

- **EL CIRCUITO DE LOS ELECTRONES SE CIERRA A TRAVÉS DEL ELECTROLITO MEDIANTE EL TRANSPORTE DE CARGA POR PARTE DE LOS IONES.**

- **LOS PRODUCTOS PRIMARIOS DE CORROSIÓN MÁS FRECUENTES SON LOS HIDRÓXIDOS**. Éstos se originan en el seno del electrolito pero pueden fijarse luego sobre la superficie metálica e introducir una especie de barrera sólida entre el metal y el medio.

  De esta manera, pueden dificultar la posterior reacción heterogénea en la interfase metal-líquido. Posteriormente, estos hidróxidos suelen pasar a óxidos en presencia de más oxígeno.

CORROSIÓN GALVÁNICA O BIMETÁLICA: se desarrolla entre dos metales diferentes, en contacto eléctrico entre sí y con un medio agresivo donde sea posible el mecanismo electroquímico de la corrosión. En estas condiciones, el metal o fase activa se corroe más rápido y el metal o fase de comportamiento más noble sufre menos ataque que si estuvieran aislados.

CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA: afecta seriamente a varias industrias (química, extractiva del petróleo, del papel y la alimentación, naval y aeronáutica). Hace referencia a los fenómenos de corrosión que tienen lugar en presencia de microorganismos, siendo los más habituales las bacterias –las más importantes–, los hongos y las algas microscópicas.

Los materiales más susceptibles de ser atacados son el hierro y el acero, el aluminio y aleaciones, el cobre, el zinc y el plomo y aleaciones, pero también puede detectarse ataque en otros materiales no metálicos (hormigón, cauchos y polímeros, entre otros).

AMBIENTES SUAVES	Son los de muy baja agresividad. Como ejemplos pueden citarse todos los interiores de naves de almacenes o naves industriales sin vapores de productos químicos agresivos, zonas rurales con baja o nula contaminación atmosférica y/o baja humedad.
AMBIENTES MEDIOS	Son aquellos que muestran una agresividad moderada frente al acero. Pueden incluirse aquí los interiores de naves con condensaciones de humedad, las zonas rurales próximas a la costa o con muy alta humedad y las zonas urbanas sin polución industrial añadida, en ciudades de tipo medio lejos de la costa.
AMBIENTES AGRESIVOS	Son aquellos considerados francamente agresivos para el acero por su contenido en humedad y productos contaminantes, como por ejemplo el interior de naves industriales con elevada humedad y emanación de vapores corrosivos, zonas costeras de cualquier naturaleza, ciudades grandes fuertemente polucionadas y/o situadas en zonas costeras y zonas industriales en general.
AMBIENTES MUY AGRESIVOS	Son aquellos que provocan una rápida e intensa corrosión del acero, como por ejemplo las zonas industriales que tienen industrias que emiten emanaciones de tipo ácido y las que se encuentran en zonas costeras donde se conjugan la corrosión del ambiente marino con la producida por la contaminación industrial.

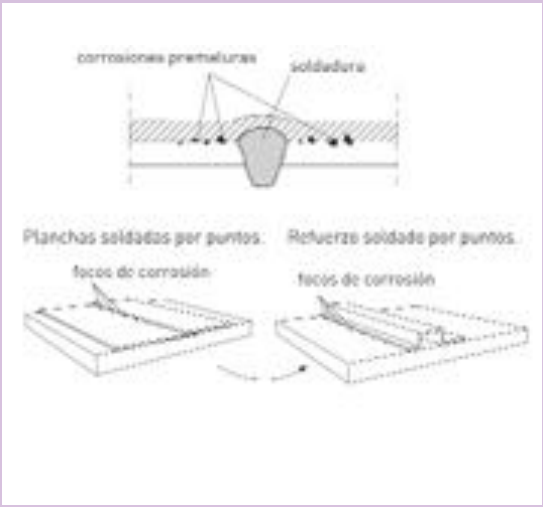
	CATEGORÍA	CORROSIVIDAD
ISO 12944-2	C1	MUY BAJA
	C2	BAJA
	C3	MEDIA
	C4	ALTA
	C5-I	MUY ALTA (INDUSTRIAL)
	C5-M	MUY ALTA (MARINA)

CARACTERÍSTICAS Y CATEGORÍAS DE LOS AMBIENTES DE EXPOSICIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL

BIOFOULING: se inicia con la formación de la película microbiana que pronto alcanza un espesor aproximado de 250 μ, es decir, una densidad de 1 millón de bacterias u otros microorganismos por cm^2.

Existen varios procedimientos de protección contra este tipo de corrosión, de los que se destacan los siguientes:

- **UTILIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS PROTECTORES DE TIPO ASFÁLTICO O DE POLIETILENO**, los cuales no son atacados mayormente por microorganismos.
- **PROTECCIÓN CATÓDICA**: trabajar a un potencial de 100 microvoltios inferior al habitual.
- **INCORPORAR SUSTANCIAS BIOCIDAS AL MEDIO**, para que destruyan o inhiban el crecimiento o actividad metabólica del microorganismo.
- **MODIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE** (pH, temperatura y/o nivel de aireación) para frenar el desarrollo de microorganismos.



Zonas que pueden sufrir corrosión en relación a la ejecución de soldaduras.

III. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MEDIO

CORROSIÓN DIRECTA

La corrosión directa tiene lugar, principalmente, cuando el material metálico opera a alta temperatura y en consecuencia no es posible que aparezca una película de humedad sobre su superficie. Este mecanismo, característico de materiales expuestos a gases y vapores calientes, consiste en la reacción química heterogénea directa entre la superficie metálica y un gas agresivo que suele ser O_2, con formación de película de óxido. La reacción se puede producir en cualquier punto de la superficie, por lo que el fenómeno, desde el punto de vista morfológico, suele ser homogéneo o generalizado.

La selección de materiales resistentes a la corrosión a alta temperatura se basa sobre todo en la elección de una aleación que pueda generar, en el medio destinado, capas protectoras de productos oxidados. A modo de resumen, presentamos las características básicas de este fenómeno de la corrosión directa:

- **TIENE LUGAR EN AUSENCIA DE ELECTROLITO.**
- **ES UN PROCESO GENERALIZADO.**
- **REQUIERE DE TEMPERATURAS ALTAS.**
- **TANTO LA CIRCULACIÓN DE ELECTRONES COMO LA DE IONES SE PRODUCE A TRAVÉS DE LA PELÍCULA DE ÓXIDO.**
- **LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN MÁS HABITUALES SON ÓXIDOS** formados in situ sobre la superficie metálica, que dificultan la posterior reacción de corrosión.

CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

Consiste en el deterioro sufrido por los materiales metálicos al entrar en contacto con el aire a temperatura ambiente. Se calcula que alrededor del 50 % de las pérdidas económicas totales por corrosión en los metales se produce como consecuencia de este tipo de fenómenos.

Si no existe película húmeda, lo que sólo se puede entender en ausencia de lluvias y en humedades inferiores al 20-30 %, el deterioro puede generarse a través de un mecanismo de corrosión directa, con una velocidad prácticamente despreciable.

No obstante, cuando la humedad relativa (HR) supera el 40-50 %, diferentes mecanismos favorecen la condensación de humedad sobre la superficie metálica expuesta y propician la formación de una película húmeda que permite el funcionamiento del mecanismo electroquímico de la corrosión.

El tiempo que esta película húmeda permanece sobre la superficie es determinante en el deterioro del material y el valor de HR, a partir del cual se inicia el mecanismo, se conoce como humedad crítica.

El electrolito, entonces, está constituido por una película muy fina de agua, en muchos casos casi imperceptible, que puede contener agentes contaminantes y aceleradores del proceso.

Estas dos variables, el «tiempo de humectación» durante el cual aparece la película sobre el metal y la presencia o no de ciertos contaminantes como el SO_2, los Cl^- o compuestos oxidados de nitrógeno, influyen de forma determinante en la magnitud del proceso de corrosión atmosférica.

En situaciones de alta contaminación es factible que la atmósfera produzca lluvia ácida, con posibles contenidos de:

- **HCL PROVENIENTE DE LA COMBUSTIÓN DE CARBONES RICOS EN CLORUROS** o de la incineración de determinados polímeros, como el cloruro de vinilo, para su destrucción.

- **HNO_3 FORMADO A TRAVÉS DE REACCIONES COMPLEJAS A PARTIR DE RADICALES LIBRES**, hidrocarburos y ciertos oxidantes, como el NO_2, presentes en la atmósfera.

- **H_2SO_4 (ÁCIDO SULFÚRICO)**.

- **ÁCIDOS ORGÁNICOS** como el fórmico y acético, aunque su concentración suele ser inferior a 0,07 ppm.

CORROSIÓN EN CONTACTO CON AGUA DULCE

Como se señaló al comienzo, para que el mecanismo electroquímico tenga lugar es necesaria la presencia de oxígeno. Suele haber una relación proporcional entre la velocidad de corrosión y la concentración de oxígeno presente en el electrolito; no obstante, en determinadas circunstancias de concentración elevada, puede producirse la pasivación, que implica una considerable disminución de la velocidad de corrosión.

La presencia de otros gases disueltos (CO_2) y el contenido en sales con influencia en la conductividad del agua, son otros factores que ayudan a determinar su agresividad.

En el caso del acero, la velocidad de corrosión promedio en contacto con el agua está entre 12 y 25 mdd (miligramos / decímetro cuadrado / día), incrementando a medida que aumenta la velocidad de desplazamiento del fluido como resultado de la despolarización catódica.

En aquellas regiones en resquicio o de sedimentos mal aireadas, son corrientes las pilas de aireación diferencial con ataque y formación de picaduras.

Por otra parte, en los sistemas cerrados de circulación de agua (instalaciones de calefacción) la corrosión puede llegar a ser casi nula, ya que durante las primeras etapas se consume el oxígeno por reacción catódica y de esta manera, tras un cierto tiempo la falta de reactivo termina impidiendo el fenómeno electroquímico.

Las aguas duras son menos corrosivas que las blandas debido a su facilidad para precipitar carbonatos insolubles de Ca y Mg. Para clasificar el agua en función de su agresividad, se utiliza el concepto de «índice de saturación» (IS):

$$IS = pH_{real} - pH_{saturación}$$

Un IS positivo significa que el agua está sobresaturada de $CaCO_3$ y que habrá una tendencia a la formación de capas protectoras (un IS de 0,5 se considera satisfactorio). En cambio, si el $CaCO_3$ es negativo, tenderá a disolverse formando bicarbonatos y el resultado será un agua agresiva.

Con respecto a la temperatura, su aumento dentro de ciertos márgenes hace incrementar la velocidad de corrosión al facilitarse el transporte difusional de O_2.

De esta manera, en el caso del acero la velocidad de corrosión se duplica aproximadamente por cada 30 °C de aumento de temperatura.

En un sistema cerrado en el que el O_2 no puede escapar, la velocidad de corrosión aumenta linealmente con la temperatura.

En el caso del zinc, por encima de temperaturas de 60 °C los productos de corrosión pasan de $Zn(OH)_2$ a ZnO, lo que propicia la inversión de polaridad del zinc con respecto al hierro y, si se emplea tubería galvanizada, puede haber ataque por picadura.

Se ha de recordar que la temperatura de inversión disminuye al aumentar la concentración de nitratos y/o carbonatos y aumenta al crecer la concentración de cloruros y/o sulfatos disueltos.

Para pHs comprendidos entre 4 y 10 (situación habitual en el agua dulce), el pH casi ni influye en la velocidad de corrosión del acero y, a un pH menor de 4, la velocidad aumenta de forma considerable.

En el caso de medios fuertemente alcalinos, la velocidad disminuye porque se alcanza la pasivación del acero.

En cambio, en lo que respecta al zinc, su empleo queda restringido a pHs entre 6 y 12, pues en medios ácidos o de alta alcalinidad la velocidad de corrosión crece exponencialmente por tratarse de un metal anfótero.

A continuación se exponen algunas recomendaciones para reducir el riesgo de corrosión de los materiales metálicos en contacto con agua dulce:

- **IMPEDIR QUE SE INTRODUZCA OXÍGENO EN EL CIRCUITO** (por ejemplo mediante el empleo de bombas).
- **EVITAR LA FORMACIÓN DE PARES GALVÁNICOS** o, cuando sea necesario introducir metales distintos en el circuito, incluir un aislamiento eficaz.
- **EN CONDUCCIONES DE ACERO GALVANIZADO**, la temperatura del agua no debe ser mayor a 60 °C.
- **TRATAR EL AGUA CON INHIBIDORES** que disminuyan el contenido de oxígeno disuelto (por ejemplo: sulfitos e hidracina).

CORROSIÓN MARINA

El agua de mar constituye un electrolito especialmente agresivo, sobre todo debido a las siguientes características:

- **ALTA CONDUCTIVIDAD**. El pH se sitúa en 8,2. Sin embargo, en zonas de mucha contaminación con materia orgánica en descomposición puede llegar a alcanzar la zona ácida, lo que podría modificar la reacción catódica.
- **EL MAYOR NIVEL DE SOLUBILIDAD DE O_2** se da para la concentración de NaCl, propia del agua de mar.
- **EL ANIÓN CL^-** puede romper películas pasivas y generar el proceso de corrosión por picadura.
- **LA DENSIDAD DE LAS CORRIENTES DE PASIVACIÓN** en aleaciones pasivables aumenta ante el anión Cl^-, lo que se traduce en aumentos en la velocidad de corrosión.

Mayor actividad	Magnesio
	Aleaciones de magnesio
	Zinc
	Aluminio 52-SH
	Aluminio 4-S
	Aluminio 3-S
	Aluminio 2-S
	Aluminio 53-S-T
	Alclad
	Cadmio
	Aluminio 17-S-T
	Aluminio 17-S-T
	Aluminio 24-S-T
	Acero dulce
	Hierro forjado
	Fundición
	Ni-resist
	Acero inoxidable 13 % cromo, tipo 410 (activo)
	Soldadura 50-50 plomo-estaño
	Acero inoxidable 18-8 tipo 304 (activo)
	Acero inoxidable 18-8,3 % Mo, tipo 316 (activo)
	Plomo
	Estaño
	Metal Muntz
	Bronce al manganeso
	Bronce naval
	Níquel (activo)
	76 % Ni-16 % Cr-7% Fe (Inconel) (activo)
	Latón amarillo
	Bronce al silicio
	Cobre
	5 % Zn-20 % Ni-resto Cu (Ambrac)
	70 % Cu-30 % Ni
	88 % Cu-3 % Zn-10% Sn (composición bronce G)
	88 % Cu-2 % Zn-6,5 % Sn-1,5 % Pb (composición bronce M)
	Níquel (pasivo)
Mayor nobleza	76 % Ni-16 % Cr-7 % Fe (Inconel) (pasivo)
	Acero inoxidable 18-8 tipo 304 (pasivo)
	Acero inoxidable 18-8,3 % Mo, tipo 316 (pasivo)

SERIE GALVÁNICA EN AGUA DE MAR

En agua de mar es posible el desarrollo de prácticamente todos los tipos de corrosión:

- **CORROSIÓN GENERALIZADA**, con bajos niveles de control anódico-catódico y de resistencia.
- **POR AIREACIÓN DIFERENCIAL**, en especial cuando existen incrustaciones (fijación de organismos sobre la superficie de materiales metálicos en contacto con agua de mar). Cuando se sumerge, el metal se recubre de un «velo biológico». Las incrustaciones aceleran el proceso porque aportan al medio sustancias agresivas y generan zonas no aireadas.
- **POR PAR GALVÁNICO**, favorecida por la elevada conductividad del electrolito.
- **POR FORMACIÓN DE PICADURAS**, debido a la presencia de cloruros en aleaciones pasivables.
- **CORROSIÓN BAJO TENSIÓN**, porque un medio con cloruros resulta agresivo para muchas aleaciones.

TIPO DE TERRENO	EFECTOS
Arenoso	Generalmente, no agresivo. Las arenas no salinas pueden utilizarse para la protección de tubos instalados en terrenos agresivos
Cenizas y escombros	Muy corrosivos para el acero, el cobre y el aluminio
Arcillas anaeróbicas salinas	Corrosivas para metales ferrosos. Corrosivas para el aluminio, el acero galvanizado y el plomo si está en contacto con cobre
Con sulfatos	En condiciones anaeróbicas, convierten la fundición en sulfuros de hierro dejando un depósito blando de grafito

TERRENOS AGRESIVOS

- **CORROSIÓN-FATIGA**, frecuente en las hélices de bronce de las embarcaciones.
- **CORROSIÓN-EROSIÓN**, cuando el agua de mar supera ciertos valores críticos de velocidad, propios de cada material.
- **CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA**, por tratarse de un medio muy favorable para el desarrollo de los microorganismos.

CORROSIÓN EN TERRENOS

El terreno es un medio muy heterogéneo en lo que se refiere a composición química, granulometría, grado de humedad, pH, nivel de aireación y resistividad eléctrica. Todos estos factores inciden en el nivel de corrosividad del terreno y, por lo tanto, en el grado de corrosión de los metales que entren en contacto.

El suelo cuenta con poros microscópicos rellenos de aire y/o humedad. Su granulometría puede ir desde partículas gruesas de arena (con tamaños entre 0,07 y 2 mm) hasta partículas de características coloidales con un tamaño inferior a 0,07 mm (terrenos arcillosos). En el primer caso se trata de suelos aireados, secos, de alta resistividad y poco agresivos; en el segundo caso, se trata de suelos húmedos, conductores y agresivos desde el punto de vista de la corrosión.

Además, hay que considerar que muchas veces, al realizar una zanja para colocar conductos y caños y luego rellenar, pueden alterarse las condiciones y características del terreno, justamente en la zona en contacto con el metal. En consecuencia, en esa zona la compactación será inferior a la de su entorno y la permeabilidad a los agentes agresivos (sobre todo O_2 y H_2O) será mayor.

METAL	RESISTENCIA A			
	ATMÓSFERA	OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	AGUAS	OTROS METALES
Aluminio y aleaciones	Generalmente alta si bien depende de la aleación y del grado de polución Baja en contacto directo con humos	Generalmente baja en contacto con productos obtenidos con cementos Pórtland o aluminosos y con cal grasa o magra Es atacado por algunas maderas Probable ataque por pastas de yeso en entornos húmedos	Buena a las aguas de lluvia. Baja si han de pasar de elementos de cobre Poca a las aguas sucias, sobre todo cuando el suministro de agua se ha hecho con cobre o cuando hay presentes detergentes Buena cuando se utiliza para conducir aguas especialmente tratadas Buena, con determinadas aleaciones contra el agua de mar	Ligeramente baja Particularmente baja en contacto con cobre y aleaciones de cobre Buena en contacto con zinc o cadmio Variable en contacto con fundición, según la aleación y naturaleza del electrolito Ataque insignificante en contacto con el acero inoxidable
Hierro fundido o de fundición	Buena, sobre todo si se conserva aun la primera capa desde la fundición	Generalmente buena con todos los materiales con los que normalmente entra en contacto Baja en tierras vegetales y dependiendo del contenido de oxígeno. Baja en suelos anaeróbicos con sulfatos y bacterias o con cenizas	Buena en contacto con aguas limpias. Disminuye si hay sales y el agua está caliente La corrosión aumenta si el contacto es con agua de mar La corrosión disminuye si hay depósitos calcáreos	La resistencia se reduce cuando hay contacto con cobre y muchas de sus aleaciones, plomo, cromo y acero inoxidable También se reduce moderadamente en contacto con el aluminio y sua aleaciones
Cobre y sus aleaciones	Excelente bajo condiciones normales El ataque comienza si hay una exposición muy directa a humos	Excelente excepto en presencia de amoníaco, de espumantes para hormigones porosos y de ácidos orgánicos procedentes de maderas Resistencia baja cuando los tubos son recubiertos de una fina película de carbonatos	Muy buena resistencia a la mayor parte de aguas. Puede haber ataques en cubiertas donde están presentes algas, musgos y líquenes (aguas ácidas) Resistencias bajas a aguas que contienen dióxido de carbono disuelto	Excelente en general Puede ser baja en caso que algunos recubrimientos de estaño sobre cobre o latón presenten poros o defectos
Plomo	Muy alta resistencia debida a la formación de carbonatos y sulfatos Pobre resistencia a humos que contienen ácido acético	Relativamente baja a álcalis que provienen de productos húmedos obtenidos de cementos Baja en contacto con según qué maderas	Buena frente a la mayoría de aguas Frente a aguas muy puras la resistencia es lo suficientemente baja como para provocar intoxicaciones Disminuye cuando el agua ha recorrido cubiertas recogiendo ácidos y materia orgánica	Corrosión rápida donde no hay entrada de aire y donde existe contacto con acero o acero galvanizado en situaciones de fuerte exposición atmosférica Reducción de resistencia en contacto con cobre y aleaciones, cromo, acero inoxidable y níquel

GUÍA DE LA RESISTENCIA DE LOS METALES A LA CORROSIÓN

METAL	RESISTENCIA A			
	ATMÓSFERA	OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	AGUAS	OTROS METALES
Acero inoxidable	Generalmente excelente si bien depende de la composición La resistencia puede disminuir resultando ataques superficiales en presencia de agua de mar	Generalmente excelente hasta incluso en el caso de estar enterrado en cualquier tipo de terreno	Excelente para conducir aguas siempre que no estén excesivamente contaminadas La resistencia se reduce cuando se trata de aguas de mar salinas con cloruros o estancadas	No es afectado por el contacto con otros metales excepto en el caso de que el contacto con aleaciones de aluminio, acero, zinc y algunas veces cobre, tenga lugar en presencia de agua de mar
Acero	Generalmente pobre pero puede mejorar agregando otros metales para conseguir aleaciones (cobre, cromo, etc.)	No es afectado por productos obtenidos con cemento o cal. La resistencia, sin embargo, disminuye si es embebido en hormigones que contengan cantidades excesivas de cloruro cálcico Es atacado por pastas de yeso y materiales orgánicos (ciertas maderas y algunos plásticos que desprenden ácidos) Resistencia pobre en contacto con los terrenos, si bien depende de la cantidad de oxígeno. También poca resistencia frente a cenizas y escorias	Baja resistencia a las aguas dulces e incluso más baja si hay sales, aireación y altas temperaturas Poca resistencia frente a agua de mar La velocidad de corrosión aumenta con aguas ácidas Los depósitos calcáreos pueden ayudar a disminuir el ataque	Resistencia bastante reducida en contacto con cobre y aleaciones de cobre, plomo, acero inoxidable y cromo. Incluso es más reducida cuando los electrolitos son muy conductores (sales, ácidos y productos de combustión) En aguas puras el cambio de potencial tiene lugar aproximadamente a los 60 ºC y entonces es rápidamente corroido por el zinc
Zinc	Débil resistencia cuando la capa protectora no es lo suficiente densa ni está bastante adherida Resistencia reducida en presencia de sulfuros	Baja a los ataques de álcalis que provienen de cementos y a los ataques ácidos Baja en contacto con algunas maderas	Resistencia muy variable según el tipo de sales y gases disueltos. El ataque también crece cuando aumenta la temperatura	Resistencia baja. Utilizado como protector de fundición y acero Corroe a la fundición y el acero en aguas puras y a más de 60 ºC

GUÍA DE LA RESISTENCIA DE LOS METALES A LA CORROSIÓN

Por lo general los suelos son clasificados, en cuanto a su agresividad, en función de su ***RESISTIVIDAD***, para lo cual se utiliza el método de Wenner, diseñado para medir dicho factor en un terreno.

En terrenos resistivos la fuerte resistencia al paso de electricidad a través del medio impide el funcionamiento de ***MACROPILAS***, donde ánodo y cátodo aparezcan separados por una distancia significativa.

En estas condiciones el mecanismo de corrosión es a través de ***MICROPILAS*** originadas por heterogeneidades en el propio metal o en el medio en su contacto, donde ánodos y cátodos están muy próximos. Ésta es la razón por la cual los terrenos resistivos o de baja conducción eléctrica se catalogan como de baja agresividad.

MACROPILAS de aireación diferencial: aparecen como consecuencia de la distinta permeabilidad de diferentes zonas del terreno al oxígeno.

En estas condiciones la concentración de oxígeno en contacto con distintas regiones de la estructura enterrada es diferente y se genera la pila de corrosión por aireación diferencial.

En ocasiones, puede haber fugas de corriente a través del suelo en aquellas instalaciones industriales donde se produce un fuerte consumo y transporte de corriente (por ejemplo: tendido eléctrico de un ferrocarril, cubas elecrolíticas o instalaciones de soldadura).

Si una corriente así –vagabunda o errática– encuentra una estructura metálica enterrada, como resulta más conductor el material que el propio terreno (y de acuerdo con las leyes de Kirchoff), la mayor parte de la corriente penetra en dicha estructura.

Al contrario, no debería haber corrosión por corrientes vagabundas cuando se producen fugas de corrientes alternas, porque las diferentes zonas de la estructura enterrada actuarían como ánodo o cátodo de acuerdo con los propios ciclos de la corriente.

No obstante, el efecto corrosivo en este caso no es nulo; en realidad alcanza un orden del 40-50 % del correspondiente si se tratara de una fuga de corriente continua.

Las corrientes vagabundas se consideran débiles si los gradientes de potencial observados entre las distintas regiones son inferiores a 0,5 mV/m.

En cambio, con gradientes entre 0,5 y 5 mV/m, son clasificadas como intensas (con riesgo alto de originar un ataque severo por corrosión).

Para concluir, hay que considerar que las soluciones más adecuadas para reducir las posibilidades de aparición de estos problemas de corrosión tienen que ver con un aislamiento adecuado de los circuitos –de corriente continua y alterna– con respecto a la estructura metálica enterrada y con la protección de las regiones donde se prevea la salida de la corriente errática (protección catódica, por ejemplo).

DEFECTOS Y LESIONES DE LAS SOLDADURAS

Como indicáramos a principios de este capítulo sobre metales, aquí hablaremos de las lesiones más comunes de las soldaduras. Ya sean por razones intrínsecas a la conformación de un cordón de soldadura o por razones de mala ejecución, todos los problemas tienen una explicación y, en distinta medida, una solución.

DEFECTOS DEL CHARCO Y DISCONTINUIDADES EN LA SOLDADURA

Por discontinuidad se entiende el quiebre en la homogeneidad de las características mecánicas, físicas y metalúrgicas de la estructura soldada, por imperfecciones que pueden perjudicar la calidad y solidez de la soldadura e incluso volverla inapropiada.x

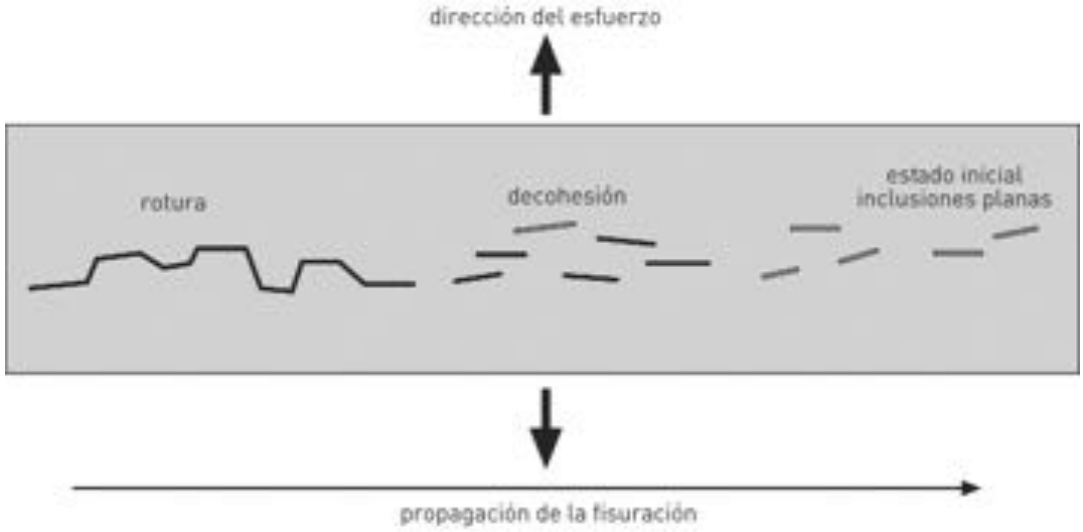
Entre las discontinuidades más frecuentes nos encontramos con porosidades, penetraciones insuficientes, inclusiones de escoria y tungsteno, fusión incompleta, golpes de arco, socavaduras, traslapes, soldaduras con perfiles inadecuados, grietas y materiales extraños y, por otro lado, las ocasionadas por error del soldador (inexperiencia, juicio equivocado o poca atención, por ejemplo).

CAUSAS MÁS COMUNES DE LAS FALLAS

HUMEDAD

El origen principal de las fallas en una soldadura se encuentra en el agua y la humedad, ya que el hidrógeno alcanza el límite de los granos del metal e intenta abrirse paso fuera de ella.

Cuando logra escapar, inevitablemente prepara el terreno para que se acumulen esfuerzos que pueden formar grietas y otros defectos, hasta echarla a perder.



Esquema de rotura de un elemento metálico.

DISCONTINUIDAD	DESCRIPCIÓN Y MANERAS DE EVITARLO
Porosidad	Las bolsas de gas o vacíos que hay en la zona de soldadura se les llama porosidad. Una excesiva cantidad de calor puede provocar la porosidad, por lo que el soldador no debe usar un amperaje muy alto. La velocidad de avance es la velocidad a la que uno mueve el soplete o electrodo a lo largo de la trayectoria de la soldadura. Si es muy alta, puede provocar la porosidad. Cuando uno mueve el soplete o electrodo muy rápido, el charco pierde calor y se enfría muy pronto, lo que hace que los gases queden atrapados.
Inclusiones de escoria	Al soldar, los óxidos y otros materiales pueden quedar atrapados en el metal para soldar y en el metal de base fundido. Antes de empezar a soldar hay que remover las partes oxidadas, las escamas, la pintura, el aceite y todo el material extraño que haya en el material base.
Inclusiones de tungsteno	A veces el tungsteno provoca discontinuidades cuando se usa el procedimiento de soldadura de arco con tungsteno con protección de gas. Si hay demasiada corriente en el arco, la punta del electrodo de tungsteno se sobrecalienta y funde, lo que provoca que pequeñas partículas caigan al charco y permanezcan ahí al solidificar la soldadura. Para prevenir la contaminación por tungsteno es necesario seleccionar el amperaje adecuado para el electrodo de tungsteno que se vaya a usar. Hay que evitar tocar el charco con dicho electrodo.
Fusión incompleta	Cuando el metal base y el depositado no se logran fundir y mezclar, se dice que hay una fusión incompleta o bien que no ha habido fusión. Para eliminar este problema, hay que hacer una limpieza adecuada y utilizar el amperaje y la velocidad de avance correctos.
Penetración inadecuada	Si la fusión no alcanza la raíz de la unión, se dice que no hay penetración, o que ésta es inadecuada. La raíz de una unión es la zona en que las partes a soldar se aproximan más. Una manera de comprobar si hay una buena penetración es ver si del otro lado de la unión sobresale una determinada cantidad de material depositado.
Golpes de arco	Los golpes de arco son pequeños puntos localizados fuera de la zona de la soldadura, donde el trabajador ha aplicado un arco accidentalmente. Esto puede ocurrir dondequiera que el electrodo toque el metal base o donde algún cable haya sido conectado erróneamente a la pieza de trabajo. Todo esto puede originar una grieta, reducir el espesor del metal y formar un rebajo o ranura. Los únicos lugares donde no es perjudicial dar golpes con el arco son aquellos donde se volverá a soldar, pues la nueva soldadura cubre el punto que queda.

DISCONTINUIDADES DE LAS SOLDADURAS

DISCONTINUIDAD	DESCRIPCIÓN Y MANERAS DE EVITARLO
Rebajos	Se llama rebajo a la ranura que se forma por fusión en el metal base contiguo a la soldadura. No se debe usar un amperaje muy elevado y es útil hacer una breve pausa en los extremos de la soldadura para dar tiempo a que el metal llene los puntos bajos. Si es necesario, se debe dar un movimiento de chicotazo con electrodo hacia el centro de la soldadura.
Traslapo	Un traslapo (mal escrito como traslape) es metal depositado que escurre sobre la orilla de una cordón, pero no queda unido al metal base en ese punto. Por su propia naturaleza, el traslapo adquiere la forma de una muesca. La formación de un traslapo puede tener las siguientes causas: demasiado calor por el uso de una gran cantidad de corriente, un avance muy lento, ángulos inadecuados del electrodo y un mal manejo del equipo por parte del soldador.
Perfil defectuoso	Una soldadura bien hecha debe conservar el perfil adecuado en toda su longitud.
Grietas	Las grietas son separaciones estrechas en el metal sólido y se consideran las más serias de las discontinuidades. El agrietamiento en caliente depende de la composición del metal. Para minimizar hay que precalentar la pieza y mantener la temperatura de precalentamiento y la que hay entre pasada y pasada al nivel más bajo del intervalo de operación. El agrietamiento en frío se produce en aceros que tienen poca ductilidad y en los que hay presencia de hidrógeno. Para prevenir el agrietamiento en frío, hay que usar electrodos bajos en hidrógeno y seguir un procedimiento adecuado de precalentamiento.
Discrepancias dimensionales	Una forma defectuosa de la soldadura, la falta de penetración, deficiencias al tratar de rellenar la unión y cualquier modificación en el tamaño de la misma
Exceso de soldadura	Cuando ocurre el exceso de soldadura, se deposita más metal de aporte que el especificado. El exceso de soldadura no sólo representa un desperdicio de material y dinero, sino que también contribuye a la concentración de grandes esfuerzos en el metal adyacente. Debe evitarse en todos los casos.
Falta de soldadura	Es lo contrario al exceso de soldadura. El soldador deposita menos material de aporte que el especificado y realiza una soldadura que no tiene la resistencia requerida.
Desajuste	Se le llama desajuste a la falta de alineación entre dos piezas, por ejemplo, entre las dos partes de una unión a tope.

DISCONTINUIDADES DE LAS SOLDADURAS

Este proceso es conocido como «fragilización por hidrógeno».Para impedir este agrietamiento se debe precalentar la pieza de manera que se evapore toda la humedad y utilizar materiales secos como fundentes, ya sean alambres, varillas y electrodos.

LIMPIEZA

Cualquier material extraño en la pieza probablemente cae en el charco, que actúa como un crisol donde todo se combina: aceite, grasa, pintura y polvo de aire.

Estas sustancias contaminan el charco y pueden formar compuestos químicos que disminuyen la resistencia de la soldadura.

Muchos de estos compuestos penetran en los límites de grano, contribuyen a la propagación de las fisuras y debilitan la estructura soldada. En materia de soldadura, ante todo es conveniente mantener el equipo limpio.

VELOCIDAD AL SOLDAR

La temperatura del charco y el suministro de calor son dos factores importantes en la obtención de una soldadura fuerte. En consecuencia, se aconseja suma atención al determinar el tamaño de la flama, el flujo de gas, la corriente del arco y su tensión.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

La cantidad de metal a depositar depende del tamaño y la forma de unión. Recordar que las uniones siempre deben prepararse de acuerdo con las dimensiones indicadas.

TRATAMIENTO TÉRMICO Y DISTORSIÓN

El metal que se funde al soldar es una mezcla compleja de materiales. Si se le observa a través del microscopio, se puede ver que está formado por pequeños elementos llamados granos, al igual que el metal base sin soldar. Los granos y la forma como están acomodados dentro del metal, determinan la resistencia de la soldadura y otros factores. El incorrecto acomodamiento de estos granos en la soldadura producirá distorsiones, las cuales serán foco de problemas más o menos inmediatos, como por ejemplo, la corrosión intergranular. Para minimizar las distorsiones hay que seguir el orden correcto y utilizar un calentamiento adecuado.

DEFORMACIÓN: CAUSAS Y SOLUCIONES

Durante el procedimiento de soldadura, el metal base de la estructura y el metal de aporte se calientan a temperaturas muy elevadas. Al acercarse al punto de fusión, el metal tiene muy poca resistencia, que se recupera cuando la temperatura disminuye durante el ciclo de enfriamiento.El metal que se calienta se dilata y el metal que se enfría, se contrae, pero el metal depositado no se calienta ni se enfría uniformemente y, por lo general, solidifica de la raíz hacia la cara de la soldadura. Al tiempo que este metal depositado solidifica, se contrae y la soldadura se jala hacia el centro, provocando el encorvamiento de la estructura.

De todos modos, la deformación tiene lugar al aplicarse varias pasadas a la unión a tope con ranura en V, pero hay pequeñas diferencias. Todas las pasadas generan algo de contracción pero, a medida que éstas aumentan, se incrementan asimismo dichas fuerzas de contracción; en consecuencia, una soldadura de muchas pasadas se deforma más que si se hubiera hecho con una sola pasada gruesa.

PROBLEMAS Y RECOMENDACIONES

En un metal ligero, una soldadura con ranura en V de ***UNA SOLA PASADA*** hace que las placas se doblen hacia la línea central de la misma por contracción del metal depositado en la parte superior de la unión.

En el caso de soldaduras con ranura en V de ***MUCHAS PASADAS*** en placas pesadas, los metales se tienden a jalar hacia el centro y, aunque aquí las masas involucradas son muy grandes, las placas pesadas también se pandean. Se puede compensar esta distorsión mediante electrodos más grandes y menos pasadas, pero esto no siempre es recomendable, y la mejor manera de evitar el pandeo de una placa gruesa consiste en realizar un bisel doble en la unión y soldar por ambos lados.

SOLDADURA EN RETROCESO: implica depositar los cordones en secuencia longitudinal en dirección opuesta al desarrollo de la soldadura. Sólo es útil en algunos casos y la deformación se reduce a un mínimo.Para soldar en ***SECUENCIA ERRANTE***, método por el cual el calor queda distribuido por toda la estructura en lugar de concentrarse en un solo lugar, el trabajador realiza segmentos pequeños de la secuencia longitudinal de la soldadura total. Lleva así los esfuerzos acumulados a un mínimo.

Por último, con el ***MARTILLADO*** se pueden llevar los esfuerzos al interior de la soldadura. Se trata de golpear el metal depositado, en general con un martillo neumático, que lo deforma ligeramente y libera así la mayor parte de los esfuerzos.

NOTA: Es fundamental que el soldador revise todos los trabajos. La inspección se debe realizar luego de cada pasada (para comprobar que el contorno del cordón sea el adecuado y las conexiones parejas y que no hayan muescas o escorias) y una vez finalizado el procedimiento. A tal fin, el inspector puede valerse de la inspección visual y la medición de soldaduras o bien contar con equipos y métodos más complejos como las pruebas destructivas y no destructivas, tal como veremos más adelante.

FUEGO

Si bien ningún metal utilizado en construcción es combustible, cualquiera de ellos pierde resistencia mecánica si se los somete a las temperaturas que puede alcanzar un incendio y el aluminio, el plomo y el zinc pueden incluso llegar al punto de fusión.

La dilatación ocasiona graves problemas y la alta conductividad térmica puede ser origen de incrementos importantes de la temperatura en zonas bastante alejadas del inicio del fuego.

El acero dulce presenta un comportamiento particular, ya que incrementa la resistencia mecánica por arriba de 250 ºC, retorna a valores normales en 400 ºC y luego experimenta un rápido descenso hasta que alcanza 500 ºC –conocida como la temperatura crítica–, cuando el punto de fluencia baja hasta el coeficiente de trabajo y empieza a fallar.

Por otro lado, hay que considerar que un edificio con una estructura metálica no protegida puede verse seriamente afectado a sólo 300 ºC de temperatura.

Las columnas macizas de acero no protegidas de más de 150 mm de diámetro pueden llegar a resistir al fuego durante 30 minutos; sin embargo, por lo general el acero estructural no es considerado como un material resistente al fuego.

Además, las estructuras ligeras suelen colapsar dentro de los 12 minutos de originado el incendio y, por esta razón, deben ser protegidas con revestimientos más resistentes. De todas maneras, para más detalles se aconseja consultar la norma NBE-CPI/91.

TIPO DE ATAQUE	MORFOLOGÍA	MÉTODOS DE ESTUDIO	REMEDIOS
Corrosión general	El ataque uniforme suele dar lugar a capas de productos de corrosión que cubren toda o la mayor parte de la superficie	Metalográficos Microsonda Gravimétricos Electroquímicos	Si no se forman capas protectoras, se seleccionará otro material más apropiado para resistir al medio
Ataque selectivo	Implica la disolución preferencial o exclusiva de una determinada fase metalográfica. Suele afectar a los latones con más del 15 % Zn, a los bronces de aluminio con menos del 4 % Ni	Microscopía óptica de una sección transversal. La observación superficial es inadecuada o insuficiente y los datos electroquímicos pueden resultar engañosos	Recurrir a latones con contenidos de Zn <15 % o inhibidos con arsénico. Emplear bronces de aluminio con un contenido de Ni >4 %
Erosión-corrosión Cavitación-corrosión	Semejante a huellas de caballo orientadas en sentido contrario al movimiento del fluido	La observación superficial con el estereomicroscopio suele resultar muy reveladora	Selección de materiales más resistentes, generalmente, más duros. Diseñar para evitar turbulencias. Revestimientos de elastómeros. Empleo de la protección catódica. Utilización de piezas fácilmente recambiables en los lugares de alto riesgo.
Corrosión por picaduras	Distintos tipos de ataque local, en resquicios (corrosión cavernosa). Perforaciones sin pérdida apreciable de material. Muy pequeñas	Observación superficial con el estereomicroscopio. Microscopía de secciones transversales. Los métodos electroquímicos son los más indicados para comprobar la eficacia de las medidas protectoras	Eliminación del oxígeno disuelto en calderas y circuitos de calefacción. Usar materiales menos susceptibles. Empleo de inhibidores en los circuitos de refrigeración. Limpieza periódica de los materiales pasivos.
Corrosión intergranular	De aspecto inconfundible (como tierra reseca)	La microscopía óptica es aconsejable porque un ligero ataque intergranular puede pasar desapercibido bajo el estereomicroscopio. Ensayos de inmersión en ácidos a ebullición o métodos electroquímicos	Aplicación de tratamientos térmicos de solubilización de los precipitados intergranulares y, en los aceros inoxidables, la estabilización del C con Ti o Nb, o la utilización de los tipos bajos en carbono (C < 0,2-0,03 %)
Corrosión bajo tensión Corrosión-fatiga Fragilización por hidrógeno	Grietas transgranulares finamente ramificadas en aceros inoxidables austeníticos En las roturas inducidas por hidrógeno las peculiaridades macrográficas son los “ojos de pez”, “copos”, ampollas de decapado	Los metalográficos Estereomicroscopio Estudio microfractográfico Microscopía óptica de secciones pulidas de muestras	Medidas preventivas. Elección de materiales de mínima o nula susceptibilidad. Control químico del medio para eliminar los iones específicos. Empleo de materiales sin tensiones internas y tratamientos térmicos de liberación de tensiones

ACTUACIÓN FRENTE A LOS ATAQUES A ELEMENTOS METÁLICOS

SISTEMAS DE DIAGNOSIS

En este punto clasificaremos los factores preponderantes de la degradación de los elementos metálicos y veremos también algunos ensayos para determinar la existencia o no de alguna patología y el grado de avance de ésta.

En relación con el material metálico, los factores de corrosión (principal patología de los metales) son de dos tipos:

- **INTRÍNSECOS**: dependientes o relacionados inicialmente con el metal o aleación.
- **EXTRÍNSECOS**: dependientes o relacionados con el medio.

Al analizar un fallo por corrosión, difícilmente se pueden considerar los factores ambientales separados de los intrínsecos al metal y, si se plantea un problema de compatibilidad entre cierto material y un medio agresivo, puede convenir la consulta de las guías de corrosión de Rabald o Mellan.

LOS ENSAYOS PREVENTIVOS DE CORROSIÓN

Los ensayos de corrosión acelerada se realizan con un reactivo específico de ataque y se utiliza en concentraciones varias veces superior a las que encontramos en los ambientes naturales que se pretende reproducir. Esto permite acortar los tiempos de ensayo y hacer previsiones bastante precisas del comportamiento de un metal en un ambiente o situación dada.

Es el caso de las pruebas en cámara de niebla salina y sus derivadas, como la niebla salina acética y cupro-acética (ensayo CASS). El ensayo Kesternich se realiza en atmósfera de dióxido de azufre para simular ambientes industriales. Incluso, existen ensayos más agresivos como el Korrodkote, en el que se recubren las muestras de una papilla de caolín con adiciones de nitrato de cobre, cloruro férrico y cloruro amónico, que se deja actuar en ciclos de 20 horas sobre las muestras.

Existen también los ensayos cíclicos en los que se impone alternancia de uno o más factores de corrosión: lluvia, temperatura, humedad-secado, etc.

Los ensayos de exposición natural, en atmósferas reales, aguas naturales y suelos, que proporcionan los resultados más fiables, tienen el grave inconveniente de su excesiva duración, que los excluye como herramientas de control, relegando su empleo, a los programas de investigación de larga duración.

DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE LOS FALLOS YA PRODUCIDOS

Es necesario un amplio conocimiento de los fenómenos de corrosión para determinar con precisión sus causas. A continuación presentamos una forma de proceder que se recomienda para el análisis de un fallo:

- **IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLO POR EXAMEN VISUAL Y DOCUMENTADO** (fotografías o macrofotografías). Hacer referencia a ejemplos clásicos y añadir una descripción de las circunstancias del ataque.
- **DETERMINACIÓN DEL PRODUCTO DE CORROSIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS QUÍMICO** (por ejemplo por vía húmeda, por espectroscopía y difracción de rayos X), lo que puede requerir la identificación separada de sus diferentes capas.
- **IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL** a fin de establecer si fue previsto en el proyecto y si resulta disímil con respecto a factores metalúrgicos predecibles. Tal es el caso de microestructuras, segregaciones, porosidades,precipitados, inclusiones, u otros defectos que pudiesen debilitar la resistencia a la corrosión del elemento metálico.

NORMA	OBJETO DE LA NORMA (CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS)
ASTM A 262	Práctica recomendada para la detección de la susceptibilidad a la corrosión intergranular de los aceros inoxidables (DIN 50 914 y 50 921)
ASTM A 708	Práctica recomendada para la detección de la susceptibilidad a la corrosión intergranular en aceros inoxidables austeníticos fuertemente sensibilizados
ASTM A 763	Práctica recomendada para la detección de la susceptibilidad a la corrosión intergranular en aceros inoxidables ferríticos
ASTM B 117-73	Ensayo de niebla salina (ISO 3768, DIN 50021)
ASTM B 287-74	Ensayo de niebla salina acética (ISO 3769)
ASTM B 368-68	Ensayo acelerado de cobre-niebla salina acética (Ensayo CASS) (ISO 3770)
ASTM B 380-65	Ensayo de corrosión de cromados decorativos por el procedimiento Corrodkote (ISO 4541, DIN 50 958)
ASTM F 746	Ensayo de resistencia a la corrosión por picaduras y en resquicios de metales y aleaciones para implantes quirúrgicos (DIN 58 800)
ASTM G 1-81	Práctica recomendada para la preparación, limpieza y evaluación de probetas en los ensayos de corrosión
ASTM G 4-68	Práctica recomendada para la realización de ensayos de corrosión en planta
ASTM G 15-82	Definición de términos relativos a corrosión y ensayos de corrosión (DIN 50 900)
ASTM G 31-72	Práctica recomendada para los ensayos de corrosión por inmersión, en el laboratorio
ASTM G 36-73	Práctica recomendada para el ensayo de corrosión bajo tensiones en cloruro de magnesio a ebullición
ASTM G 38-73	Práctica recomendada para la preparación y de probetas en forma de anillo en C para el ensayo de corrosión bajo tensión
ASTM G 44-75	Práctica recomendada para el ensayo de corrosión bajo tensión por inmersión alternada en solución de NaCl del 3 %
ASTM G 49-76	Práctica recomendada para la preparación y uso de probetas de ensayo de la corrosión bajo tensión a las que se aplica una tensión directa (E DIN 50 922)
ASTM G 47-79	Práctica recomendada para determinar la susceptibilidad a la corrosión bajo tensiones de las aleaciones de aluminio de alta resistencia
ASTM G 48-76	Ensayo para la resistencia a la corrosión por picaduras y en rsquicios de los aceros inoxidables y aleaciones relacionadas en solución de cloruro férrico
ASTM G 50-76	Práctica recomendada para realizar ensayos de corrosión atmosférica de los metales (DIN 50 917)
ASTM G 60-79	Práctica para la realización de ensayos cíclicos de humedad
ASTM G 67-80	Práctica para la determinación de la susceptibilidad a la corrosión intergranular de las aleaciones de aluminio de la serie 5xxx por pérdida de peso después de la exposición al ácido nítrico (Ensayo Nawlt)
DIN 4753	Instalaciones de calentamiento para la distribución de agua potable
DIN 50 018	Ensayos de corrosión. Exposición a condensaciones cíclicas de agua en atmósfera que contiene dióxido de azufre (Ensayo Kesternich)
DIN 50 911	Ensayo de las aleaciones de base cobre. Ensayo del nitrato mercurioso (UNE 37-148, ASTM B 154-73)
DIN 50 915	Ensayo de la resistencia a la corrosión intergranular bajo tensiones de los aceros no aleados y de baja aleación
DIN 50 916	Ensayo de aleaciones de base cobre. Ensayo de corrosión bajo tensiones con amoníaco. Pruebas para tubos, chapas y perfiles
DIN 50 930	Comportamiento frente a la corrosión de los materiales metálicos en el agua

NORMATIVA SOBRE LOS ENSAYOS DE CORROSIÓN

- **VALORACIÓN DEL MEDIO** para corroborar que era el previsto en cuanto a sus constituyentes principales y secundarios (impurezas, agentes biológicos o aditivos) que pudiesen empeorar el ataque.

- **ANÁLISIS DE LOS FACTORES AMBIENTALES** que podrían intensificar o localizar elataque: turbulencias localizadas, velocidadrelativa metal/medio, temperatura (incluyendo puntos calientes y efectos de condensación), presencia de sólidos en suspensión, estancamiento, depósitos móviles/sedimentados, productos de corrosión, gases disueltos y corrientes vagabundas.

- **IDENTIFICACIÓN DEL ORIGEN DE HUELLAS Y DEFORMACIONES** por el carácter plástico de los materiales metálicos.

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO GALVANIZADO MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS

MEDIDOR TINSLEY DE LAPICERO (*TINSLEY PENSIL GAUGE*)

Se basa en la atracción magnética de una aguja imantada hacia el acero base. El medidor se sitúa perpendicular a la superficie de la pieza con la punta magnética tocando el recubrimiento.

Luego, se aparta lentamente el lapicero y la punta se contrarresta por la tensión de un muelle. La lectura que se hace justo antes de que la punta se retraiga corresponde al espesor del recubrimiento en ese punto.

TIPO DE CORROSIÓN	MORFOLOGÍA DEL ATAQUE	LUPA Y ESTEREOMICROSCOPIO	MICROSCOPÍA ÓPTICA	MICROSONDA	MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	OTRAS TÉCNICAS
Corrosión general	Formación de capas	-	-	+	(+)	++
Corrosión cavernosa	Desgaste irregular	++	+	+	-	-
Corrosión por picaduras	Picaduras	+++	+	+	(+)	-
Corrosión transgranular	Surcos en borde de grano	++	+++	(+)	(+)	-
Corrosión intergranular bajo tensión	Grietas intergranulares	+	+++	(+)	+	-
Corrosión transgranular bajo tensión	Grietas transgranulares	+	+++	-	+	-
Corrosión fatiga	Grietas transgranulares	+	+++	-	+++	-
Erosión-corrosión	“Huellas de caballo”	+++	(+)	-	(+)	-
Cavitación-corrosión	Superficie carcomida	++	++	-	(+)	-

- sin aplicación práctica (+) empleado en casos aislados + generalmente apropiado ++ muy útil +++ eficaz en casi todos los casos

METALOGRAFÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA CORROSIÓN METÁLICO
(Fuente: Control de la corrosión: estudio y medida por técnicas electroquímicas).

BALANZA MAGNÉTICA (*INSPECTOR MAGNETIC BALANCE*)

Basada en el mismo principio que rige al medidor de lapicero Tinsley, tiene sin embargo la ventaja de traer un compensador magnético (para usar el instrumento en cualquier posición sin interferencia de la gravedad) y un dispositivo de calibrado (que arroja resultados más exactos). La resistencia que ofrece la punta magnética al separarse de la superficie del recubrimiento es la que da la lectura del espesor de la capa.

ELCOMETER

Este aparato trabaja por el principio de inducción magnética, gracias al que proporciona una lectura que constituye el valor medio del espesor del recubrimiento entre los polos.

ENSAYOS

Los ensayos preventivos o cuando ya la lesión empezó a manifestarse, son sumamente importantes. Los mismos se aplican de manera más extendida sobre los elementos metálicos estructurales (ferrosos) debido, obviamente, a su crucial función sustentante del edificio.

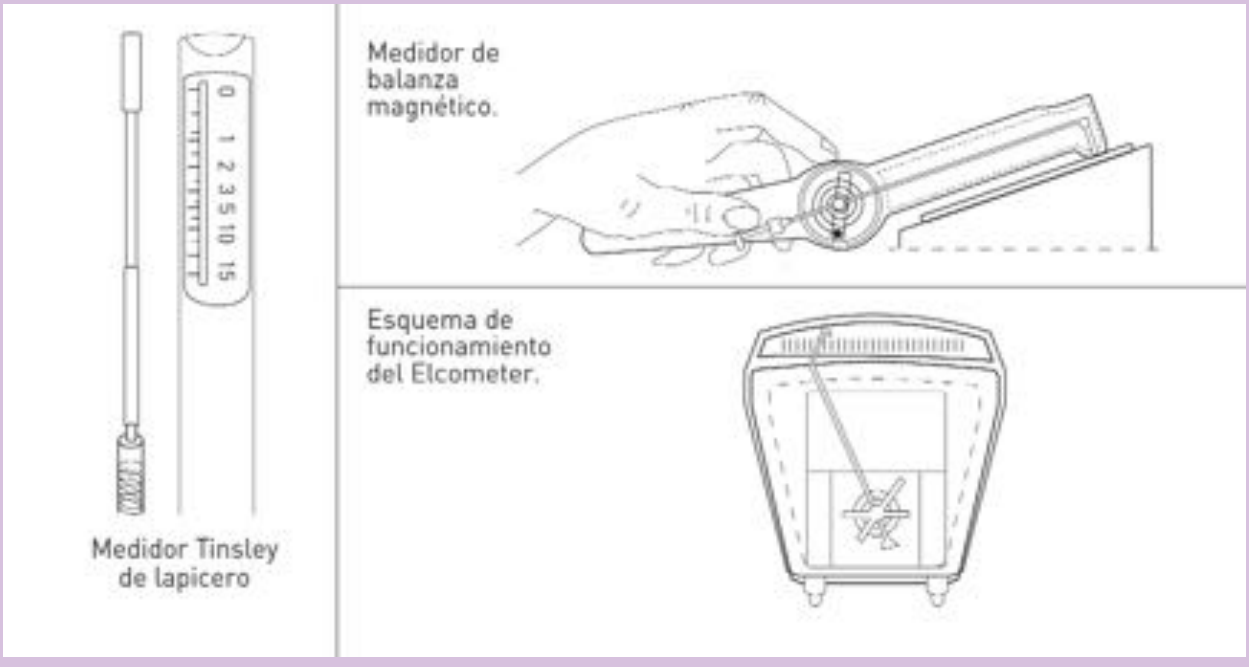
Varios de estos ensayos pueden ser aplicados sobre probetas de los materiales metálicos a utilizar en obra o sobre las soldaduras. Sin embargo, el estudio y conocimiento avanzados de las propiedades del metal y las piezas a trabajar, hace que se utilicen sobre todo en las soldaduras, por ser éstas las que presentan una discontinuidad en una estructura metálica, y por lo tanto, bastante más proclive a daños y complicaciones.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos destructivos –donde se destruyen la muestra y la soldadura– facilitan importante información acerca de las propiedades mecánicas de la soldadura. Es posible elegir entre varios ensayos (de doblez, de tracción, análisis químicos, de dureza, de impacto, micro y macroscópicos y, en ocasiones, ensayos hidrostáticos), mediante los cuales se pueden comparar las propiedades de la soldadura con las del metal base.

- ***ENSAYO DE DOBLEZ LIBRE O DOBLEZ GUIADO***: es el primero al que se enfrenta el soldador y consiste en doblar una muestra convenientemente preparada. Se usan tres tipos de dobleces: de cara, de raíz y lateral.

- ***ENSAYO DE TRACCIÓN:*** se prepara una placa de prueba que se coloca en la máquina de ensayos y se aumenta la fuerza hasta alcanzar el punto de cedencia, a partir del cual el metal



Dispositivos no destructivos para la determinación del espesor del recubrimiento de galvanización.

empieza a adelgazarse. Cuando se rompe, el operario calcula el punto de cedencia del metal. Los cálculos están relacionados con el equipo utilizado y con la medida de la sección transversal de la muestra.

- ***ELONGACIÓN**:* es el aumento en longitud de la muestra (en porcentaje), cuando se la estira hasta que se rompe. Se mide en dos puntos marcados sobre una misma muestra o soldadura.

- ***ENSAYO DE DUREZA**:* se hace presión sobre la muestra o soldadura con una fuerza establecida, mediante un instrumento penetrador de diamante o un metal duro. Se suelen emplear los durómetros (probadores de dureza) de Brinell y de Rockwell.

- ***ENSAYO DE IMPACTO**:* para calcular la resistencia al impacto de un metal se aplican el ensayo de Charpy y el método de Izod (si bien en los dos se realiza una ranura en la muestra, tanto su forma como posición varían).

- ***ENSAYOS MICRO Y MACROSCÓPICOS**:* en ambos casos se utilizan métodos muy parecidos (el equipo macroscópico amplifica las muestras de 10 a 30 veces; el microscópico, de 50 a 5.000 veces). Se amplifican las muestras para observar porosidades, inclusiones de escoria, fusiones incompletas, estructuras granulares y cualquier discontinuidad.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Son empleados para la detección de discontinuidades en un material sin tener que dañarlo o destruirlo. Una de las ventajas consecuentes es la reducción de los costos de inspección y control de calidad (los métodos destructivos implican reparar o reemplazar el artículo tras el ensayo).

Estos métodos incluyen diversas técnicas, que deben ser aplicadas sólo por personal altamente capacitado, y que analizamos a continuación:

- ***MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**:* se magnetiza la pieza bien en un campo magnético, bien pasándole corriente eléctrica. Se esparcen por la superficie a analizar unas partículas magnéticas muy finas, que experimentan más atracción hacia zonas con mayor fuerza magnética (como bordes de grietas u otras discontinuidades). Es un método para examinar metales ferromagnéticos y puede ser aplicado antes o después de soldar.

- ***MÉTODO CON LÍQUIDOS PENETRANTES**:* se trata de líquidos especiales que penetran en las grietas y resquicios por capilaridad y permiten localizar discontinuidades con salida a la superficie.

- ***MÉTODOS DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA**:* se emplean rayos X y rayos gamma para detectar cualquier discontinuidad en el interior de metales sólidos como en el de una soldadura. Para calcular la profundidad de la discontinuidad se toman dos radiografías desde posiciones ligeramente diferentes.

- ***PRUEBA CON ULTRASONIDO***: muy útil para determinar la profundidad y posición de la discontinuidad en la soldadura y calcular su reacción. Se emplean haces de ondas sonoras de alta frecuencia, dirigidos en un transductor del equipo de prueba.

- ***ENSAYOS DE SERVICIO**:* permiten estimar si una estructura soldada puede soportar una carga de trabajo sin sufrir una falla o deformación permanente. Para ello se aplican esfuerzos mayores que los normales pero inferiores a la resistencia elástica del material.

Los contenedores cerrados como cilindros, tanques y conductos y los sistemas cerrados de tubería pueden ser probados por ***MÉTODOS NEUMÁTICOS O HIDROSTÁTICOS***. Otra prueba sencilla implica presurizar ligeramente el conducto o sistema con aire o gas inerte y cubrir la soldadura con una solución jabonosa (de existir alguna fuga, aparecen burbujas).

Para facilitar la detección de fugas, es posible añadir sustancias químicas –que reduzcan la tensión superficial del agua– o usar tintas fluorescentes solubles en agua, visibles con luz negra (ultravioleta) si el agua sale a través de una falla.

AGENTE CORROSIVO			EFECTOS	
ORIGEN	LUGAR DONDE OCURRE	TIPO	METALES	DESCRIPCION
Cemento Pórtland	Productos obtenidos con estos cementos: morteros, pastas, hormigones	Hidróxido sódico y potásico. PH = 12	Aluminio	Generalmente dañino, pero el grado del ataque depende de la aleación. La protección es esencial en entornos húmedos. Los anodizados son rápidamente destruidos.
			Plomo Zinc	Dañino. La protección es esencial en entornos húmedos.
Cementos aluminosos	Productos fabricados con estos cementos	Alcalis	Aluminio Plomo Zinc	Generalmente dañino como el cemento Pórtland, pero menos, porque los aluminosos son menos alcalinos que los Pórtland.
Cal grasa o magra	Morteros y pastas		Aluminio	Seriamente dañino. Es esencial la protección contra la humedad.
			Plomo / Zinc	Efectos más ligeros que los descritos anteriormente.
Sales aceleradoras del fraguado	Pastas de yeso	Reacción ácida	Todos los metales no protegidos	Probable corrosión frente al secado. Esta corrosión no debería de preocupar una vez que la pasta se ha secado y no recupere condiciones de humedad.
	Hormigón armado	Cloruro cálcico	Aceros suaves o dulces	El cloruro cálcico adherido no puede superar el 2 % del peso de cemento y debe estar distribuido uniformemente.
Humos de chimenea	Chimeneas	Dióxido de azufre	Aluminio / Cobre / Zinc / Aceros galvanizados	Ataque rápido si hay una exposición muy directa.
Combustión de carbón y fuels. Salpicaduras de agua de mar	Atmósfera Agua de lluvia	Dióxido de azufre Dióxido de carbono Sulfatos y cloruros	Aluminio	La resistencia a ala corrosión es relativamente alta. A veces no progresa o adquiere valores bajos. No obstante, en determinadas aleaciones, puede ser importante.
			Zinc	La película formada no es lo suficiente densa y adherente como para evitar un ataque constante aunque lento.
			Fundición y acero	La corrosión es estimulada considerablemente. Es esencial una protección.

AGENTES CORROSIVOS DE LOS METALES Y SUS EFECTOS

AGENTE CORROSIVO			EFECTOS	
ORIGEN	LUGAR DONDE OCURRE	TIPO	METALES	DESCRIPCION
Suministro de agua	Cañerías y tubos	Cloruros Sulfatos Dióxido de carbono	Hierro y acero	El carácter ácido puede influir en la velocidad de corrosión y puede evitar la formación de la capa protectora de carbonato cálcico.
			Aluminio	No es recomendable para aguas comunes, pero es excelente para aguas especialmente tratadas para la utilización en la industria.
			Cobre	Corrosión apreciable si las aguas contienen CO_2. Aparecen manchas verdes en las instalaciones y cañerías.
			Plomo	Ataque suficiente para provocar intoxicaciones.
Agua de mar	Estructuras sumergidas y conducciones	Cloruros	Fundición y acero	Velocidad de corrosión superior a la del agua dulce. El movimiento del agua de mar la puede favorecer.
			Acero inoxidable	Ataques localizados sobre todo dentro de aguas estancadas.
Madera	Tuia Roble Castaño	Acidos orgánicos Sales solubles	Aluminio Cobre Plomo Zinc	Corrosión improbable si la madera está seca o el metal está bien aislado de la misma. El cobre es atacado por aguas de lluvia que provienen de cubiertas de madera. Los clavos de aluminio son fuertemente atacados si son expuestos a la lluvia, pero no si se los protege. El zinc de las canaletas en contacto con estas maderas es destruido muy deprisa. El aluminio pintado puede ser utilizado con seguridad en contacto con estas maderas.
Sulfatos	Productos cerámicos, sobre todo, paredes de ladrillo	Sales solubles de clacio, magnesio y potasio	Zinc	Puede ser atacado en parte por las sales y en parte por los álcalis del mortero.
Algas, musgos y líquenes	Pendientes de cubiertas	Acidos orgánicos Dióxido de carbono	Aluminio / Cobre Plomo / Zinc	Ataque allá donde el agua de lluvia esté en contacto con el metal.
Agentes espumantes (no todos)	Cementos porosos utilizados para aislamientos	Pequeñas cantidades de amoníaco	Cobre	Resulta afectado el cobre si contiene pequeñas cantidades de fósforo.
Cenizas y escorias	Rellenos o bases de pavimentos	Materias solubles Carbón mal quemado	Fundición y acero	Una corrosión fuerte es probable.

AGENTES CORROSIVOS DE LOS METALES Y SUS EFECTOS

TRATAMIENTOS

Los tratamientos de los distintos elementos metálicos, al igual que muchos otros materiales, se dividen en tratamientos preventivos y curativos. Debido a la impresionante expansión en el ámbito de la construcción del uso de los metales, es comprensible que los procesos de protección preventivos y realizados en fábrica sean los preferidos. De esta manera se evitan situaciones límites y, por lo tanto, las acciones a tener en cuenta se restringen a controles periódicos y un mantenimiento programado.

En este apartado haremos también hincapié en el trabajo previo o preparación de las superficies metálicas antes de recibir el correspondiente tratamiento y comentaremos las limitaciones y propiedades de cada uno de los metales a tener en cuenta en el momento de la elección de uno de ellos.

CONTAMINANTES Y DEFECTOS A ELIMINAR

A. DEFECTOS MECÁNICOS SUPERFICIALES

EXFOLIACIONES

Pueden presentarse exfoliaciones en las planchas o perfiles de acero, laminados en caliente y de un cierto grosor, debido a defectos de laminación que empeoran con la exposición a la intemperie. Resultan peligrosas ya que no siempre se detectan a simple vista ni durante la preparación de las superficies; al contrario, se detectan mejor en los casos en que chorrean y se levantan.

Se deben eliminar las láminas exfoliadas con instrumentos cortantes (cinceles, rasquetas u escoplos, por ejemplo) porque, levantadas, tienden a provocar discontinuidades en la película de pintura. Una vez eliminada la exfoliación, se aconseja aplanar con muela o disco abrasivo cualquier rebaba que pueda haber quedado.

En cambio, si la lámina exfoliada no se levanta al efectuar la limpieza, puede pasar desapercibida y quedar contaminantes entre ella y el acero base. En este caso, la pintura esconde el defecto y el resultado puede ser una corrosión prematura.

MUESCAS O REBABAS

Depende del proceso de construcción de los elementos o estructuras de acero, pueden producirse muescas y hendiduras profundas por el impacto de herramientas cortantes o en punta o por golpes de otros elementos estructurales (ganchos de grúas, por ejemplo).

Las muescas suelen aparecer con rebabas en sus bordes como consecuencia de la deformación plástica del acero, todo lo cual origina oquedades y prominencias que resultan en una falta de uniformidad –incluso discontinuidad– en la película de pintura y en puntos débiles de corrosión prematura, si no reciben el tratamiento adecuado.

Estos defectos se corrigen alisando con muelas de esmeril y dejando los bordes del corte aplanados y sin protuberancias. Si las muescas son demasiado profundas, puede convenir el relleno con soldadura y el aplanado de la superficie.

CANTOS Y ARISTAS VIVAS. BORDES IRREGULARES

Al cortar el acero pueden quedar rebabas que hay que eliminar. Asimismo, el borde del corte puede quedar con una textura irregular y rugosa que dificulte la limpieza e impida una adecuada protección. En estos casos, es conveniente preparar bien los bordes para eliminar las rebabas, aplanar la superficie y redondear las aristas vivas –en donde el espesor de pintura depositado sería menor–, además de biselar todos los cantos para evitar la falta de espesor de pintura en ellos también.

CORTES O ENTALLADURAS

Debido a errores en el manejo de las herramientas de corte, quedan cortes o entalladuras en zonas de una estructura que son inaccesibles a la limpieza y a la pintura, produciendo corrosiones prematuras. Se hace necesario rellenar estas entalladuras o cortes mediante soldadura, procediendo después a aplanarla con muela esmeril.



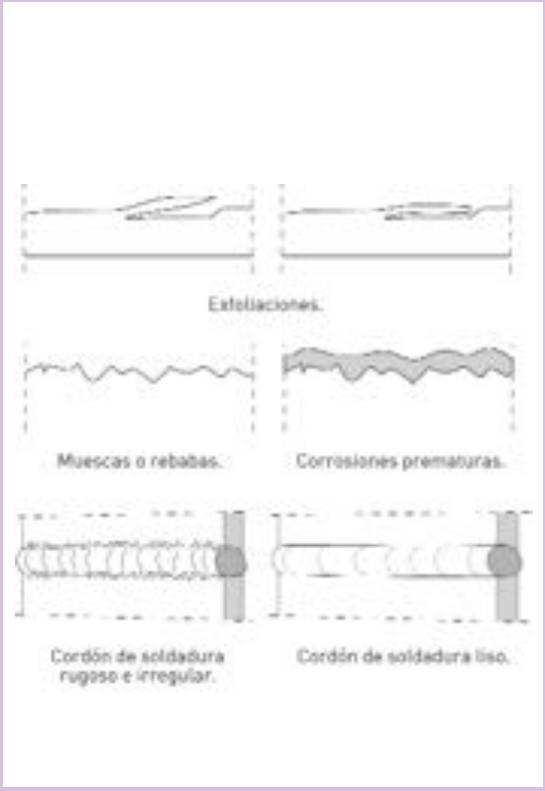
Proceso de exfoliación de un elemento metálico.

B. DEFECTOS DE LAS SOLDADURAS

CORDONES DE SOLDADURA

Los cordones de soldadura constituyen un foco de corrosión porque el cordón tiene una composición diferente a la del acero colindante por efecto de la deformación térmica estructural del acero debida a las altas temperaturas. En consecuencia, los cordones de soldadura necesitan un tratamiento preferente al proceder al pintado.

En los casos en que los cordones, además, sean rugosos e irregulares (pequeños surcos, oquedades y protuberancias difíciles de limpiar y proteger) hay que redondearlos y aplanarlos para alisar su superficie. En realidad, se recomienda aplanar incluso los cordones de apariencia regular, para igualarlos con el acero colindante.



Defectos mecánicos superficiales y de construcción de las piezas de acero.

Si esto no es posible o resulta muy costoso por tratarse de grandes construcciones, dejar la operación para aquellos irregulares y, en los lisos y regulares, efectuar una cuidadosa limpieza y reforzar con una capa extra de imprimación anticorrosiva.

SOLDADURA POR PUNTOS

La soldadura por puntos se emplea en ocasiones para unir planchas, perfiles y refuerzos en estructuras y construcciones con chapa ligera laminada en frío.

El problema puede surgir si el diseño no es el adecuado, lo que puede dejar sin acceso a ciertas partes del acero a las que, si no se prepara y pinta correctamente, se las deja sin protección.

La solución reside en efectuar soldadura continua, en diseñar de manera que no se produzcan intersticios o bien en sellar estas juntas con cordones de un material aislante y compatible con la pintura.

DEFECTOS	TRATAMIENTO
Exfoliaciones	Eliminar mediante cinceles, rasquetas, escoplos, etc. Aplanar rebabas con muela o disco esmeril
Muescas	Rellenar con soldadura y aplanar con muela o disco esmeril
Rebabas	Aplanar con muela o disco esmeril
Cordones de soldadura rugosos e irregulares	Redondear con muela o disco de esmeril. Planear todos los cordones, si es posible. Capa extra de pintura anticorrosiva
Soldadura por puntos	Eliminar con rasquetas y cinceles o con muela o disco de esmeril
Quemaduras	Rediseñar para evitar rendijas en juntas. Emplear cordón de soldadura continuo. Sellar juntas con masillas adecuadas
Bordes irregulares	Atención preferente en la preparación de superficies
Cantos y aristas vivos	Biselar con muela o disco de esmeril
Cortes o entalladuras	Rellenar con soldadura. Aplanar con muela o disco de esmeril

DEFECTOS SUPERFICIALES DE LAS PIEZAS DE ACERO Y LAS SOLDADURAS

(Fuente: Cuadernos de Tecnología de Pinturas).

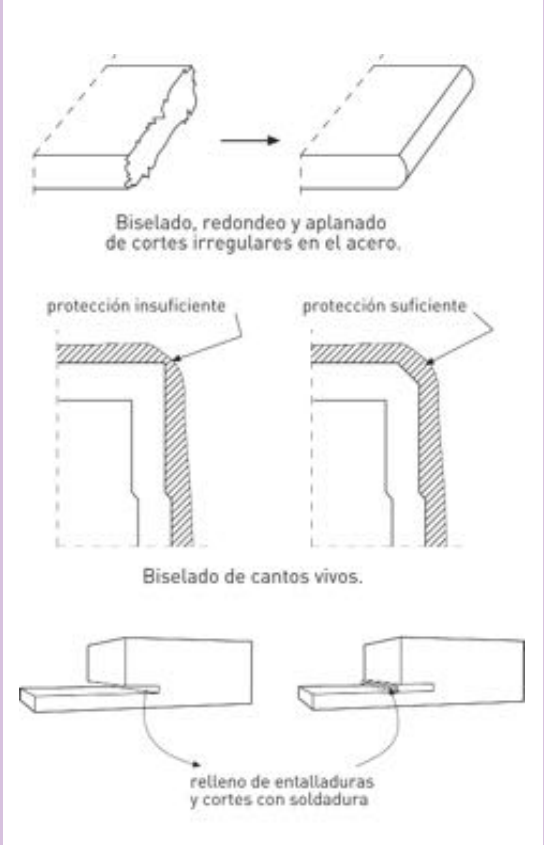
PROYECCIONES Y PEGOTES DE SOLDADURA

Al soldar, pueden salpicarse gotas o pegotes del material usado en la soldadura en las zonas que rodean los cordones, originando protuberancias difíciles de recubrir y potenciales focos de corrosión prematura.

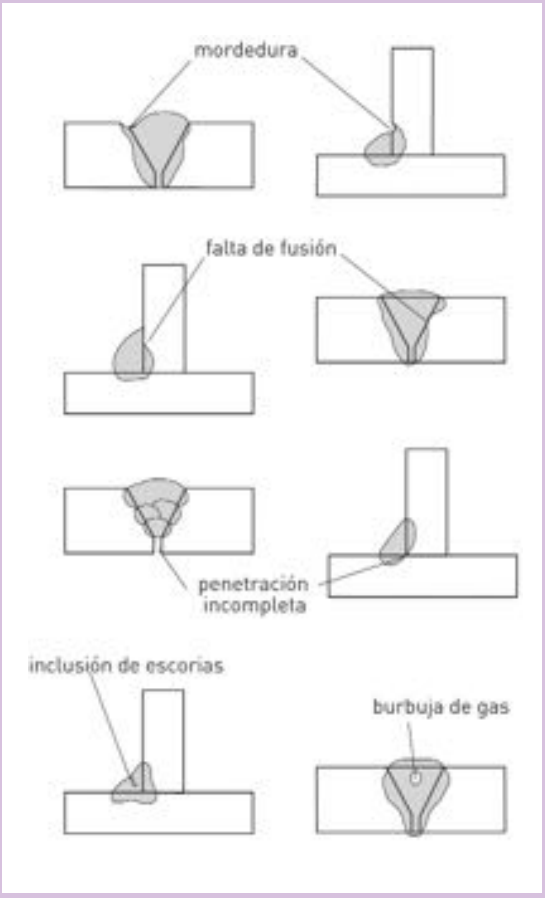
Es fundamental, entonces, eliminar estas proyecciones y pegotes con una muela o disco de esmeril.

QUEMADURAS

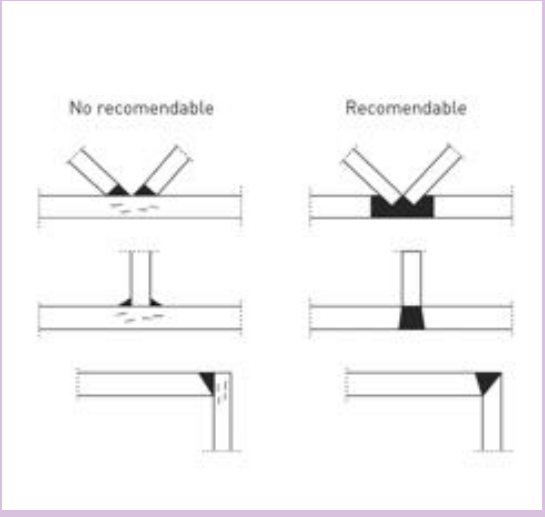
Al soldar planchas o perfiles de modo que uno de los cantos queda contra una cara plana de otro y la soldadura se efectúa por un solo lado, se debe recordar que la acción de calor produce una cierta deformación del metal, modificando el color de su superficie en la cara opuesta a la soldadura.



Defectos e irregularidades de las piezas de acero.



Defectos superficiales de las soldaduras.



Medidas en nueva soldadura para prevenir el desgarro laminar.

C. CONTAMINANTES

La superficie del acero, generalmente recubierta por contaminantes, debe quedar libre de ellos antes de que se le aplique la pintura.

Los contaminantes son productos que se van depositando sobre el metal.

Pueden proceder de los procesos de fabricación, del ambiente existente durante su almacenamiento y construcción o de los fenómenos de corrosión, y pueden tener doble efecto:

- **IMPEDIR EL CONTACTO ENTRE LA PINTURA Y EL ACERO Y LIMITAR LA ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO**, en detrimento de su efecto protector y dando lugar a desprendimientos y desconchamientos donde puede aparecer una corrosión prematura. Dicha corrosión se extiende y levanta el recubrimiento.

- **REACCIÓN QUÍMICA CON EL ACERO** incluso después de aplicada la pintura, provocando corrosiones bajo la película del recubrimiento que provocan su desprendimiento, con un efecto parecido al recién expuesto.

POLVO

Los depósitos de polvo pueden aparecer por dejar el acero a la intemperie, por contaminación ambiental o por operaciones de limpieza en el interior de naves de montaje. Si el polvo es de naturaleza inerte debe ser eliminado porque, si bien no reacciona con el acero, puede impedir una buena adherencia de la pintura.

Para eliminar el polvo que no está pegado a la superficie, lo mejor es utilizar una aspiradora industrial y, si no se dispone de una, se aconseja recurrir a un soplado con aire comprimido (limpio y seco) o bien a un cepillado o limpieza con trapos.

De todas formas, recordar que cualquiera de estos dos últimos métodos en realidad trasladan el polvo de un sitio a otro, no lo eliminan.

Más adelante, al indicar nuevos procedimientos de limpieza de otros productos, se podrán encontrar algunos que pueden resultar eficaces para eliminar depósitos de polvo.

HUMEDAD

Una estructura a la intemperie acumula agua de lluvia y humedad de condensación.

Para proceder al pintado de estructuras de grandes dimensiones, sólo se puede evitar la presencia de humedad aguardando a que las condiciones climáticas sean favorables o esperando la hora propicia del día en que ésta se haya evaporado.

Para tener la seguridad de que no se producirán condensaciones, se debe cuidar de no pintar si la temperatura de la superficie de acero es igual o inferior a la de rocío, y conviene agregar un margen de 2 o 3 ºC, lo que es medible con un termómetro de chapa que se adhiere magnéticamente al acero y constata la temperatura de su superficie, con independencia de la del ambiente.

CONTAMINANTE	ELIMINACIÓN
Polvo	Aspiración, soplado con aire comprimido limpio y seco, cepillado
Humedad	Grandes estructuras a la intemperie: esperar microclima favorable o evaporación. En interior de depósitos: utilizar climatizadores. Objetos de tamaño moderado: secaje por aire caliente y seco.
Aceites y grasas	Desengrase con detergentes y lavado posterior con agua dulce a presión.
Contaminantes ambientales (ácidos, sales, álcalis)	Lavado con abundante agua a presión (aprox. 100 kg/cm^2). Si se desengrasa, acostumbran a ser eliminados con el lavado posterior si es abundante o se hace a presión.
Cascarilla de laminación	Chorreado abrasivo. Decapado químico.
Herrumbre	Capas delgadas: rasqueteado, cepillado y lijado. Capas gruesas: picado, martillos o cinceles de agujas para picaduras, rasqueteado, cepillado y lijado.
Pintura vieja	En buen estado y bien adherida: limpieza y desengrasado, lijado superficial si está todavía brillante. Biselar bordes. En mal estado: eliminar con rasquetas, cepillos o lijadoras o por chorreado abrasivo. En superficies pequeñas, decapantes o quitapinturas.

LIMPIEZA DE CONTAMINANTES DE LAS SUPERFICIES METÁLICAS

Por otro lado, si abunda el polvo sobre la superficie, éste puede retener la humedad y formar una costra algo difícil de eliminar a menos que se recurra a un chorro de agua con una cierta presión.

En ocasiones, puede resultar muy apropiado instalar climatizadores que regulen la humedad y la temperatura en aquellas zonas interiores que no tengan una buena ventilación. Por último, se aconseja no utilizar trapos que, además de depositar el polvo, pueden dejar una humedad residual imperceptible.

ACEITES Y GRASAS

Se trata de contaminantes grasos que suelen encontrarse en la superficie del acero y que se acumulan durante el proceso de construcción. En general, las planchas de acero ligero laminado en frío están recubiertas por una fina capa de aceite que impide una oxidación prematura.

Por otro lado, es probable que también aparezca este tipo de contaminación en aquellas estructuras y objetos con bastante tiempo en servicio y que necesitan ser pintados.

Los contaminantes más usuales, aceites y grasas minerales, proceden principalmente de lubricantes y aceites de corte y dificultan la adherencia de la pintura. Los aceites y grasas de origen vegetal y animal, por su parte, son susceptibles de reaccionar químicamente con el acero y con ciertos tipos de pinturas.

La única manera eficaz de eliminar estos contaminantes, en las grandes estructuras, es mediante el uso de detergentes. Aplicados sobre la superficies, ejercen un efecto emulsionante sobre la grasa; luego se procede al lavado con agua dulce y limpia, si es posible en forma de chorro a presión moderada (entre 10 y 20 kg/cm^2), para eliminar cualquier residuo de contaminante o detergente (ante una capa de grasa espesa habrá que aplicar detergente más de una vez).

Por último, se aconseja evitar el uso de trapos embebidos en disolventes, ya que en lugar de eliminar la grasa, la reparte uniformemente por toda la superficie.

CONTAMINANTES AMBIENTALES

Los contaminantes ambientales son, básicamente, productos de dos tipos:

- **PRODUCTOS DE TIPO ÁCIDO:** proceden de la combustión de motores de vehículos, calefacciones, calderas y hornos, en zonas urbanas e industriales (SO_2, NO_x, ClH). Atacan al acero, aceleran el proceso de corrosión, perjudican la adherencia del recubrimiento y pueden provocar ampollamientos por ósmosis en estructuras sumergidas o enterradas.

- **PRODUCTOS SALINOS NEUTROS:** provienen del salitre presente en ambientes próximos al mar.

Para su eliminación se utiliza agua dulce proyectada a presión. La mayoría de estos productos son solubles en agua y, los que no, son arrastrados por ella. De todas maneras, limpiar con detergente y agua dulce suele ser suficiente para eliminar también los contaminantes atmosféricos, pero si su presencia es muy importante (zonas costeras, áreas con contaminación industrial) es mejor prolongar el lavado o aumentar la presión del agua hasta 100 kg/cm^2.

CALAMINA

Si se lamina el acero en caliente, se cubre con una capa dura, rígida y bien adherida de óxidos de hierro de composición diversa, conocida como calamina o cascarilla de laminación. Esta capa, al enfriarse el acero, se puede resquebrajar, apareciendo fisuras microscópicas que dan paso a la humedad, oxígeno y contaminantes atmosféricos. Si no se resquebrajara, sería una eficaz protección contra la corrosión, ya que en principio es dura, impermeable y tenaz.

Otro problema con respecto a la calamina tiene que ver con su actuación como cátodo respecto al acero (ánodo), lo que da paso a la formación de un par galvánico en el que el acero se corroe rápidamente, en función de la agresividad del ambiente.

NORMA SUECA	DESCRIPCION	EQUIVALENCIA CON OTRAS NORMAS
ISO 8501-1 SIS 055900 Sa3	Eliminar la totalidad del óxido visible, cascarilla de laminación, pintura vieja y cualquier materia extraña. Limpieza por chorreado hasta metal blanco. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo necesario para eliminar la totalidad de la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, la superficie se limpia con un aspirador, aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio, para eliminar los residuos de polvo de abrasivo. Debe entonces quedar con un color metálico uniforme.	SSPC-SP-5 Chorreado a metal blanco BS 4232: Primera calidad
ISO 8501-1 SIS 055900 Sa 2_	Chorreado abrasivo hasta metal casi blanco, a fin de conseguir que por lo menos el 95 % de cada porción de la superficie total quede libre de cualquier residuo visible. Chorreado muy cuidadoso. El chorro se mantiene sobre la superficie el tiempo necesario para asegurar que la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas son eliminados de tal forma que cualquier residuo aparezca sólo como ligeras sombras o manchas en la superficie. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspiraador, con aire comprimido y seco o con un cepillo limpio.	SSPC-SP-10 Chorreado a metal casi blanco BS 4232: Segunda calidad
I50 8501-1 SIS 055900 Sa2	Chorreado hasta que al menos los 2/3 de cualquier posición de la superficie total estén libres de todo residuo visible. Chorreado cuidadoso. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo suficiente para eliminar la casi totalidad de cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio. La superficie debe quedar de color grisáceo.	SSPC-SP-6 Chorreado comercial BS 4232: Tercera calidad
ISO 8501-1 SIS 055900 St3	Rascado con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre, muy cuidadoso. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar un pronunciado aspecto metálico.	SSPC-SP-3 Limpieza mecánica BS 4232: No tiene equivalente
ISO 8501-1 SIS 055900 St2	Rascado cuidadoso con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar aspecto metálico.	SSPC-SP-2 Limpieza manual BS 4232: No tiene equivalente

EQUIVALENCIA ENTRE GRADOS DE LIMPIEZA ISOSIS CON OTRAS NORMAS

TRABAJO PREVIO

En este punto describiremos la preparación previa de los distintos elementos metálicos, para que luego puedan recibir su recubrimiento protector final. Conviene aclarar en este punto, la gran diferencia que hay entre los metales ferrosos y los no ferrosos, ya que son los primeros los que se utilizan para la confección de estructuras edilicias o para piezas que actuarán bajo fuertes cargas permanentes.

Estos metales –los ferrosos– son los que con mayor asiduidad se manipulan en obra, su tamaño y peso difiere bastante de los metales no ferrosos y, si su función es estructural, exigen mucho cuidado en su manipulación, colocación y posterior protección.

Por el contrario, los metales no ferrosos son utilizados en revestimientos u otras aplicaciones y, al no conllevar grandes solicitaciones mecánicas, encontramos sus tamaños más reducidos y por lo tanto su fabricación y protección se realizan en taller, en una atmósfera mucho más controlada y segura. Podemos afirmar, entonces, que los elementos ferrosos son los que preferentemente se confeccionan in situ y los que, por lo tanto, exigen en mayor medida estos trabajos previos.

La correcta preparación de la superficie de los metales, es un paso fundamental para prevenir fallos prematuros y aumentar la vida útil de los recubrimientos de protección. Tanto es así, que suele dar mejores resultados un recubrimiento de calidad media aplicado sobre una superficie bien preparada, que otro de calidad excelente destinado a una superficie mal preparada.

Por otro lado, ciertos contaminantes presentes en las superficies de acero expuestas a la intemperie, pueden inducir reacciones químicas –con un desarrollo más o menos lento aún después de aplicada la pintura– y originar corrosiones prematuras.

1. PREPARACIÓN MECÁNICA

LIMPIEZA CON LLAMA

Consiste en pasar, sobre la superficie de acero a pintar, un soplete oxiacetilénico a gran velocidad y altas temperaturas. Debido a la diferencia en los coeficientes de dilatación en comparación con el soporte de acero, la mayor parte del óxido y la cascarilla se desprenden y el resto se deshidrata.

Mientras la superficie todavía está caliente y seca, se aplica la primera capa de pintura.

LIMPIEZA POR CHORREADO ABRASIVO

Implica impulsar pequeñas partículas de material abrasivo a gran velocidad –mediante aire comprimido, vapor, agua, o discos centrífugos– de manera que la materia extraña no deseada quede separada de la superficie.

Estas partículas pueden ser de arena fina, perdigones o restos de acero, o puede tratarse de abrasivos sintéticos como carborundo o alúmina pero, en todo caso, conviene que sean uniformes en cuanto al tamaño de dichas partículas (y en lo posible que no sean grandes).

El tamaño de las mismas, así como la distribución de tamaños, resulta de importancia en los abrasivos más duros por incidir en la profundidad o rugosidad de la superficie.

El chorro de arena comprimido –pese a su elevado costo y a ciertas desventajas–, en general es considerado un método de limpieza idóneo para la fase previa al pintado, ante todo porque elimina el óxido, la cascarilla y la pintura vieja hasta dejar el metal blanco.

Existen tres grados posibles en la calidad de la limpieza de un chorreado abrasivo:

- **CHORREADO ABRASIVO GRADO COMERCIAL.**
- **CHORREADO ABRASIVO A METAL CASI BLANCO.**
- **CHORREADO ABRASIVO A METAL BLANCO.**

Finalmente, es conveniente recordar que cualquier superficie exterior que se limpie con este método, debe ser tratada o pintada antes de que se origine cualquier oxidación nueva, ya que de lo contrario se pierde el beneficio de la limpieza.

2. PREPARACIÓN QUÍMICA

A. LIMPIEZA CON DISOLVENTES

LIMPIEZA POR EMULSIÓN: consistente en emplear un disolvente orgánico (queroseno o *mineral spirit*) junto con un agente emulsionante (jabón), de modo que la combinación se pueda diluir en agua y formar un medio de limpieza estable.

DISOLVENTES ALCALINOS: que van desde los álcalis propiamente dichos (soda cáustica y potásica) hasta los detergentes.

DISOLVENTES ÁCIDOS: inorgánicos como el fosfórico, combinado con disolventes de grasas (alcoholes) y agentes humectantes que rebajan la tensión superficial. Si bien suelen usarse para limpiar superficies, sus efectos anticorrosivos no son del todo satisfactorios.

DISOLVENTES ORGÁNICOS: los más empleados aunque algunos sean inflamables y tóxicos. Los más usados: naftas, *mineral spirit*, *white spirit*, benceno, tolueno, xilenos, turpentina, hidrocarburos alifáticos y derivados halogenados.

Por último, si se trata de ciertas piezas de acero no demasiado grandes, puede elegirse el procedimiento de ***DECAPADO QUÍMICO***, por el cual se las introducen en tanques donde se disuelve la capa superficial del metal (y se elimina el óxido y la cascarilla) para lograr una superficie homogénea. En el caso del acero se usa un decapado ácido (ácido sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, fluorhídrico y nítrico).

B. TRATAMIENTOS DE CONVERSIÓN QUÍMICA

FOSFATADO

También conocido como fosfatación, es un tratamiento consistente en transformar la superficie metálica activa, conductora de la electricidad, en una superficie aislante y en consecuencia pasivante. Para lograrlo, se trata al metal con una solución de fosfatos de zinc o manganeso, ácido fosfórico libre, agentes oxidantes y ciertos iones de metales pesados como el Cu^{2+}.

Sus principales ventajas son las siguientes:

- **PERMITE QUE LA CAPA DE PINTURA TENGA MEJOR ADHERENCIA A LA SUPERFICIE.**
- **EN CASO DE PINTAR EN AMBIENTE HÚMEDO, OPONE MAYOR RESISTENCIA A LA FORMACIÓN DE AMPOLLAS.**
- **OBSTACULIZA LA CORROSIÓN.**

El fosfatado puede aplicarse en frío o en caliente. En el primer caso, puede hacerse a temperatura ambiente mediante una brocha o pistola, o por inmersión, con 2 a 5 minutos de contacto con la superficie. Antes de comenzar conviene eliminar cualquier residuo de grasa, aceite, polvo o pintura vieja y, si se busca la máxima resistencia a la corrosión y una larga vida para la pintura, tras el fosfatado se puede realizar un lavado con ácido crómico diluido o con una mezcla de éste y ácido fosfórico.

WASH-PRIMER

Denominados también imprimaciones reactivas o mordientes, son productos de pretratamiento de calidad intermedia entre las soluciones fosfatantes y las imprimaciones normales de pintura.

Suelen ser una combinación a base de ácido fosfórico, un derivado de cromo y resinas de butyral polivinilo, que forma sobre las superficies un recubrimiento continuo, resistente a la corrosión y muy adherente.

3. REDACCIÓN DE UNA ESPECIFICACIÓN PARA LA PREPARACIÓN PREVIA DE SUPERFICIES METÁLICAS

En este punto, pasamos revista a todos los aspectos que han de cuidarse para la preparación previa de superficies metálicas. Desde la eliminación de los defectos hasta el tipo de preparación final que buscamos, pasando por el control de equipos y abrasivos.

Considerando la posible presencia de defectos o irregularidades en la construcción que deben ser reparados antes de realizar la limpieza superficial, se aconseja:

- **ELIMINAR** las posibles exfoliaciones, proyecciones y pegotes de soldadura mediante muela esmeril.
- **REDONDEAR Y APLANAR** los cordones de soldadura rugosos e irregulares mediante muela esmeril.
- **RELLENAR** las entalladuras y mordeduras del acero con soldadura y aplanar.
- **ELIMINAR** rebabas y biselar los cantos vivos en casos de exigencia elevada, también con muela esmeril.
- **ELIMINAR** posibles costras de óxido mediante picado y rascado.

A continuación, se realiza la limpieza superficial de las partes metálicas consistente en:

- **ELIMINACIÓN** de aceites, grasas, sales solubles y otros contaminantes es una fase de limpieza previa a cualquier otra operación subsiguiente por cepillado o chorreado, fundamental para su eficacia y para que no lleguen a incrustar residuos en el propio acero. Por lo tanto, se precede a un lavado con detergente, seguido de un aclarado con abundante agua dulce a presión.
- **ELIMINACIÓN** de las costras gruesas de herrumbre por medio de rasquetas manuales o neumáticas, cinceles de agujas y piquetas (el chorreado abrasivo o el cepillado no pueden quitarlas por completo).
- Realizado lo dicho, la **SUPERFICIE DEBE QUEDAR** en uno de los estados A, B, C o D de la norma ISO 8501-1. Si se continúa con un chorro abrasivo seco, primero dejar secar completamente.
- **INDICAR LA RUGOSIDAD** a obtener luego del acondicionamiento (mínima y máxima).
- **SEÑALAR EL INTERVALO MÁXIMO** entre la limpieza y la aplicación de la primera capa de pintura, especialmente en el caso de chorreado abrasivo, para evitar la reoxidación superficial del acero preparado.

Otros:

- **SI SE ESPECIFICA LIMPIEZA MECÁNICA,** indicar el tipo de herramienta a utilizar.
- **SI SE ESPECIFICA CHORREADO ABRASIVO**, indicar si es en seco, en húmedo o por medio de chorro de arena y agua, así como el tipo y granulometría del abrasivo a emplear.
- **COMPROBAR QUE LOS ABRASIVOS** estén libres de polvo y sales solubles (hacer prueba de precipitación de cloruros con nitrato de plata).
- **REVISAR Y COMPROBAR** que todos los equipos empleados estén en buenas condiciones de uso.

- **VERIFICAR** que las mangueras de abrasivo son de disipación estática, que el aire comprimido llega a la tolva y a la boquilla limpio y seco y que el agua empleada es limpia y dulce, con un mínimo de contenido de sales.

- **CORROBORAR** que se dispone de manómetros de aguja para comprobar la presión de aire en la boquilla.

Los equipos destinados a preparar las superficies deben cumplir con ciertas exigencias:

- **LOS INSTRUMENTOS MANUALES O MECÁNICOS** deben ser de material antideflagrante, si no conviene que se produzcan chispas en la zona.

- **LOS COMPRESORES PARA EL CHORREADO ABRASIVO** deben ser de potencia y caudal suficientes y contar con los separadores de aceite y humedad adecuados, para evitar la contaminación del abrasivo.

- **EN EL CASO DE EMPLEAR CHORRO MIXTO** de agua y abrasivo, el agua debe ser dulce, no estar contaminada y no ser demasiado calcárea. Asimismo, hay que especificar el tipo de inhibidor a emplear y la proporción.

- **ESPECIFICAR EL ABRASIVO** (arena, escoria de cobre, corindón o granalla metálica esférica o angular) y su granulometría, para obtener el grado de rugosidad esperado.

- **LA ARENA Y ESCORIA** deben estar libres de polvo y sales solubles.

- **LA ARENA DEBE SER SILÍCEA**, no calcárea.

- **LOS ABRASIVOS DE UN SOLO USO** no deben ser reutilizados.

Cuando se efectúa un chorreado abrasivo, especialmente en seco, la superficie del acero adquiere una cierta rugosidad, normalmente suficiente en condiciones habituales de trabajo para la mayoría de recubrimientos a aplicar.

Los inhibidores de corrosión, en general, se inyectan en la boquilla de chorreado o se disuelven en el agua de limpieza de los restos de abrasivo.

Entre los más utilizados se encuentran los dicromatos y fosfatos de sodio o de potasio que, bien mezclados o disueltos en agua, pueden retardar la aparición de signos de oxidación hasta que se aplica la imprimación.

Tras preparar el acero, a veces se puede aplicar un ***SHOP-PRIMER***, un ***HOLDING PRIMER*** o ciertas capas de imprimación a los distintos elementos de la construcción que después van a fase de montaje. En ésta son muy probables las soldaduras, quemaduras, impactos o abrasiones que dañan la pintura, corrosiones localizadas y la acumulación de aceite, grasa, suciedad o polvo. En casos así se realiza la preparación de superficies secundaria, operación consistente en volver a preparar adecuadamente a los elementos.

Preparación para superficies previamente pintadas:

- Ante todo, cabe aquí lo explicado en el caso de las **SUPERFICIES DE ACERO NO PINTADAS**.

- Si es el caso de una superficie tratada con granalla en máquina automática y recubierta con *shop-primer*, hay que **CONTROLAR QUE SE ELIMINE CUALQUIER CONTAMINANTE** que se haya depositado durante la construcción y el montaje.

- **DESENGRASAR** con detergentes y **LAVAR** con agua dulce las áreas a pintar.

- **ELIMINAR** la pintura en mal estado o desprendida y **LIMPIAR** las superficies de acero corroídas, por medios mecánicos o chorreado abrasivo.

- **BISELAR** los bordes de la pintura en buen estado para facilitar la adherencia y **EVITAR** cambios bruscos de nivel.

- **MATAR** el brillo o dar cierta rugosidad a la pintura en buen estado para **GARANTIZAR** la adherencia de las nuevas capas de pintura.

- En principio, **NO ELIMINAR** la pintura en buen estado. Si es necesario, en las superficies medianas o grandes hacerlo mediante chorreado abrasivo.

- En las superficies pequeñas **SE PUEDEN EMPLEAR** decapantes de acción química y a continuación se limpia a fondo con agua dulce para quitar los residuos.

4. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES GALVANIZADAS PARA SU PINTADO

Cualquier superficie a pintar debe estar limpia de aceites y grasas o de cualquier otra sustancia y debe estar completamente seca.

Especial cuidado se ha de tener con las superficies de acero galvanizado, que si bien están libres de grasa al salir del baño de galvanización, pueden contaminarse durante las operaciones de transporte, almacenamiento y manufactura.

Si se expone un recubrimiento galvanizado a la intemperie, puede ocurrir que al cabo de cierto tiempo su superficie pase del brillo inicial a una tonalidad gris mate. Esto indica que se formó una capa pasivante de óxidos y carbonatos básicos de zinc a la que algunas pinturas se adhieren bien; en ese caso, se limpia la superficie mediante un simple cepillado y se aplican las capas de pintura.

Algunas veces se recurre al esmerilado con carborundo u otros materiales abrasivos para mejorar el agarre mecánico entre la pintura y el metal. Sin embargo, no es una solución a largo plazo, básicamente porque no puede impedir la reacciones químicas causantes del problema.

Por otro lado, tampoco se considera adecuado el tratamiento con soluciones ácidas mordientes –a base de ácido clorhídrico diluido y sulfato de cobre, entre otros– ya que no puede controlarse fácilmente y suele producir un ataque excesivo del recubrimiento. Al igual que ocurre con el tratamiento mecánico, no es solución para una buena adherencia a largo plazo.

Se han desarrollado una serie de tratamientos químicos que convierten la superficie de zinc del acero galvanizado en compuestos complejos de zinc insolubles y de espesor suficiente como para neutralizar la posible interacción entre éste y las pinturas y garantizar su buena adherencia.

Entre los más utilizados se encuentran el fosfatado y el cromatado.

PROCESO DE FOSFATADO: da a la superficie una mayor resistencia a la corrosión y una adherencia excelente, incluso a largo plazo, para muchos sistemas de pintura.

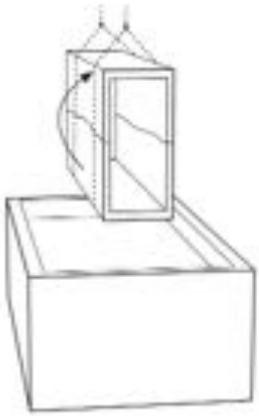
Por lo general se realiza por inmersión en una solución fosfatante caliente, pero también puede hacerse por rociado o mediante brocha. Se ha de recordar que no se deben pasivar por cromatado aquellos recubrimientos galvanizados a fosfatar, ya que el fosfatado no agarra sobre las películas de cromato.

CROMATADO: puede aplicarse por inmersión, rociado o mediante brocha; sin embargo, sólo se realiza en frío y exige un riguroso control de todas las variables del tratamiento.

Este proceso permite que la superficie de zinc se transforme en un recubrimiento amorfo de cromato-óxido con gran resistencia a la corrosión y buenas características de adherencia de la mayoría de las pinturas. Se trata de una película relativamente blanda y flexible que puede teñirse con facilidad.



inmersión simple



inmersión simple por caras opuestas, debido a exceso de altura



inmersión simple por extremos opuestos, debido a exceso de longitud



inmersión rotativa

Galvanización de grandes elementos de acero.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN

A. ACABADO Y PROTECCIONES DE METALES FERROSOS

En este apartado veremos las formas más habituales de proteger a los materiales ferrosos, principalmente, el acero.

Quedan excluidos de este punto los sistemas de pintura que, por su complejidad e importancia, los trataremos en forma separada más adelante.

Por lo tanto, aquí nos referiremos a lo que hace a los procesos térmicos, termoquímicos, los distintos revestimientos, las aleaciones y la protección catódica que se aplican a los aceros en todas sus formas –planchas, piezas, perfiles, etc.– y en todas sus funciones –de revestimiento o estructural–.

A continuación, y para empezar, se presentan algunos de los tratamientos térmicos y termoquímicos más importantes para lograr una mejora en las cualidades del acero:

TEMPLADO: proceso térmico consistente en calentar el acero a temperaturas del orden de los 800 ºC y en enfriarlo posteriormente, y con rapidez, en un líquido frío. Mejora las cualidades mecánicas del acero.

RECOCIDO: proceso térmico consistente en calentar la pieza por debajo de los 700 ºC, mantenerla así y enfriarla lentamente en un horno, en un tiempo controlado. Permite que el metal pierda las tensiones internas originadas durante su fabricación y que recupere ductilidad y trabajabilidad.

CEMENTACIÓN: proceso termoquímico que modifica la composición y las propiedades de la superficie de un metal por difusión de un elemento a temperatura elevada –sin alcanzar la de fusión–.

Dicho elemento se puede incorporar a la red cristalina del metal o bien insertar en los intersticios de la misma.

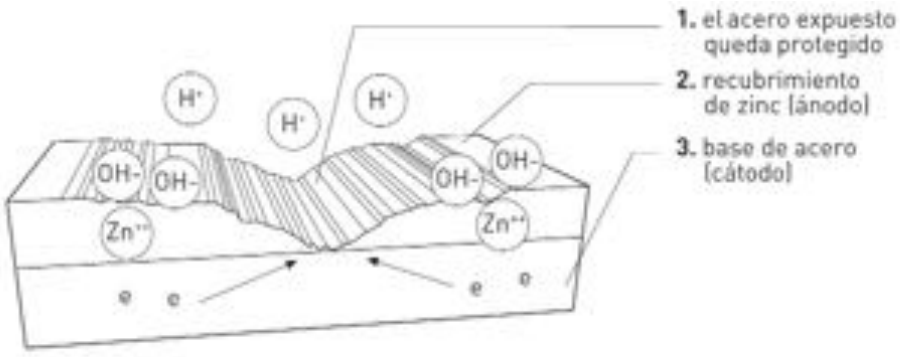
La cementación de aceros permite el endurecimiento superficial y mejorar la resistencia a la corrosión; la cementación por carbono es la más empleada para endurecer la superficie de piezas fabricadas con aceros suaves.

NITRURACIÓN: proceso termoquímico de cementación al que se somete a los aceros para endurecerlos superficialmente y aumentar su resistencia a la corrosión.

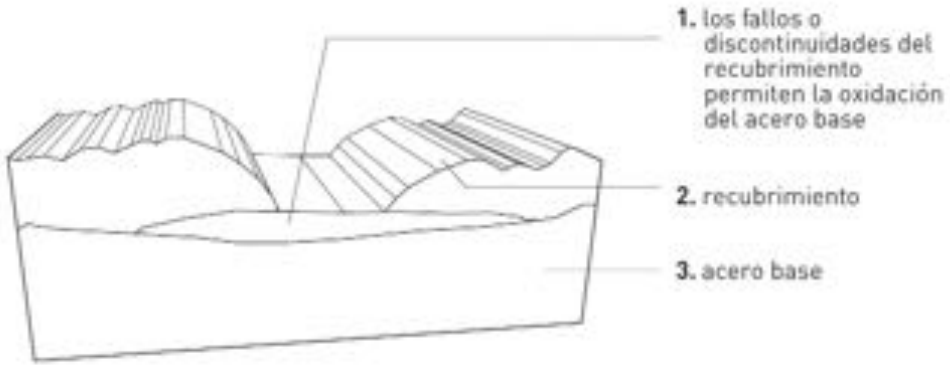
CIANURACIÓN: proceso termoquímico bastante similar al de nitruración.

HIERRO PUDELADO*:* consiste en agitar en un horno un baño de hierro líquido, al que se agrega escoria ferruginosa que oxida el carbono y lo elimina totalmente, acumulando las impurezas y separándolas del hierro.

El hierro pudelado es duro y resistente al impacto y a la corrosión y, entre todos los metales ferrosos, es el más indicado para ser trabajado manualmente.



Discontinuidad o deterioro mecánico del recubrimiento.



Oxidación debajo del recubrimiento.

Diferencia entre la protección de un proceso de galvanizado (arriba) y otra de pintura (abajo). Aunque el acero quede expuesto la función anódica del zinc de la galvanización lo sigue protegiendo (protección activa).

I. REVESTIMIENTOS DE LOS METALES FERROSOS

REVESTIMIENTOS DE ZINC

El zinc genera una protección catódica a un costo relativamente bajo y es el revestimiento más empleado para componentes de acero en la construcción ya que, como pretratamiento, es muy eficaz sobre piezas de exterior.

No obstante, y si bien es mucho más resistente a la corrosión que el acero dulce, conviene ayudar al zinc con una pintura protectora.

El acero recubierto de estaño, zinc, aluminio o cadmio puede ser cortado para formar piezas sin que se dañe el revestimiento y los recubrimientos con cromo, por ejemplo, presentan una gran dureza.

En el caso del zinc o del aluminio la adhesión es mecánica; por tanto, conviene trabajar con las superficies ásperas.

GALVANIZACIÓN: consiste en recubrir al acero con una película de zinc, lo que se logra sumergiéndolo en un baño de zinc fundido.

TIPO	COMPOSICIÓN, % EN MASA					
	Cr	Ni	Co	Al	Ti	Otros
Co-Cr-Al-Y	22,9		63,6	12,0		0,8 Y
Ni-Cr-Al-La-Y	32,1	56,2	2,5	5,6	0,7	2,1 La – 0,4 Y
Ni-Fe-Cr-Si-B-C	22,0	62,8				4,6 Si – 3,5 Fe – 0,05 B
Co-Ni-Cr-Al-Y	25,4	35,5	33,2	4,9		1 Y
Ni-Co-Cr-Al-Y	12,4	60,4	10,2	16,0	0,5	0,5 Y

COMPOSICIÓN DE ALGUNOS ALEACIONES METÁLICAS PARA RECUBRIMIENTO EN ALTAS TEMPERATURAS

GALVANIZACIÓN EN CALIENTE DEL ACERO

Se trata de un procedimiento muy eficaz y económico para proteger contra la corrosión a las superficies preparadas de hierro o acero y, por tanto, es ampliamente usado.

Proporciona un recubrimiento muy duradero, formado por una capa de zinc y varias capas de aleaciones zinc-hierro unidas metalúrgicamente al metal base.

Sumergiendo elementos con la superficie bien preparada en un baño de zinc fundido, se logra que queden completamente cubiertos con un recubrimiento uniforme de unos 610 gr/m² (86 μ). Este grosor es una de las grandes ventajas de la galvanización en caliente, ya que la duración de los recubrimientos de zinc es directamente proporcional a su espesor.

El zinc fundido penetra en los ángulos, esquinas, costuras y remaches y protege todas aquellas zonas que son motivo de corrosión potencial si se utilizan otros sistemas de protección.

Por ejemplo, los perfiles complicados y los recipientes abiertos pueden galvanizarse interior y exteriormente en una sola operación.

Por lo general basta con una inspección visual de los artículos galvanizados para comprobar si están totalmente recubiertos y protegidos.

La chapa, el tubo y el alambre se suelen galvanizar por sistemas de producción en continuo donde son controlables el espesor y la ductilidad –así como otras características– y, de esta manera, se los puede adaptar a las exigencias de las siguientes operaciones de manufactura.

El periodo de tiempo durante el cual los recubrimientos galvanizados proporcionan protección al acero depende también del ambiente al que están expuestos. El zinc y sus aleaciones tienen una resistencia excelente a la corrosión atmosférica y a la que es provocada por la mayoría de las aguas naturales.

Esto es así, ante todo, porque sobre su superficie se forma una capa protectora que, en función de la naturaleza ambiental, puede estar compuesta por óxido de zinc insoluble, hidróxido de zinc y diferentes sales básicas de zinc.

Una vez formada, se reduce bastante la reacción entre el zinc y los agentes agresivos del medio y se consigue un recubrimiento de duración prolongada.

En zonas industriales, la presencia de impurezas como dióxido de azufre y otros compuestos químicos permite la formación de sales básicas de zinc, que se disuelven por la lluvia y la humedad y dejan al zinc más expuesto al ataque. En condiciones de corrosividad extrema, entonces, se aconseja complementar el recubrimiento galvanizado con pinturas adecuadas.

	CONTENIDO DE CARBONO (%)	CONTENIDO DE CROMO (%)
Grupo I	Menos de 0,15	12 a 14
Grupo II	0,20 a 0,40	13 a 15
Grupo III	0.60 a 1,40	14 a 16
Grupo IV	0,1	16 a 18 (con níquel de 2 a 4 %)

CLASIFICACIÓN, POR GRUPOS, DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.

La mayoría de las aguas naturales dulces contiene una cantidad de sales suficiente para que se forme la capa protectora sobre el zinc.

La galvanización en caliente también es muy efectiva para piezas en contacto con agua de mar, especialmente corrosiva.

La mayoría de los líquidos orgánicos, excepto los claramente ácidos, atacan muy poco al zinc, por lo que para equipos de almacenamiento y manejo de combustibles para motores, creosotas, fenoles y ésteres resultan adecuados los recubrimientos galvanizados.

Con el tiempo la superficie de zinc expuesta a la atmósfera pierde su brillo y se forma una capa gris de sales de zinc insolubles en agua que sella la superficie y reduce la velocidad de oxidación del zinc situado debajo, contribuyendo así a alargar la protección.

Esta pátina se empieza a formar a las 4 o 12 semanas de contacto con la atmósfera. No obstante, puede requerirse más tiempo según la estructura de la capa de zinc y el clima local.

Una vez que se ha formado por completo, basta cepillar ligeramente con una brocha blanda para eliminar el polvo y la suciedad adheridos.

Por lo general, este método no es muy recomendable para preparar el acero galvanizado para el pintado. Su grado de éxito guarda relación con la naturaleza del ambiente en que tiene lugar la exposición.

AGENTE	RESISTENCIA
Ácidos orgánicos	Excelente frente al ácido acético (concentrado o a menos del 10 %), al ácido benzoico, oleico, esteárico, pícrico, pirogálico, tánico, úrico.
Ácidos inorgánicos	Muy bueno frente al ácido nítrico, salvo a concentración inferior al 1 %. Buen comportamiento al ácido bórico.
Soluciones salinas	Excelente frente a los carbonatos amónico, sódico, potásico, cálcico, magnésico. También frente a los sulfatos sódico y potásico. Ataque muy débil en soluciones de sulfatos amónico, magnésico y de aluminio. Excelente frente a los nitratos de todos los metales y sales de ácidos orgánicos.
Bases	Muy buen desempeño en hidróxidos sódico, potásico, cálcico y amónico.
Agua	Excelente
Agua de mar	Mediocre, sobre todo en contacto con las aleaciones de cobre, el caucho y la fauna y flora marinas.
Productos alimenticios	Buena resistencia frente a vinagres (en ausencia de sal), jugos de fruta, café, té, leche, alcohol industrial, éter, petróleo y aceites minerales.
Corrosión atmosférica	Resisten únicamente en atmósferas rurales.
Otros	Mediocre en presencia de ácidos orgánicos como ácido fórmico, láctico, cítrico, tartárico, málico y oxálico.

COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS DE LOS GRUPOS I Y II

ZINCADO ELECTROLÍTICO

El zincado electrolítico de la tornillería proporciona un recubrimiento uniforme y brillante, de espesor limitado, que no es apropiado para exposición al exterior durante largos periodos de tiempo, a menos que se complemente con pintura. Los tornillos y tuercas de alta resistencia, además, deben recubrirse con un lubricante para favorecer su apriete.

Por otro lado, si se emplean recubrimientos de zinc de mayor espesor que los indicados habitualmente, se debe aumentar en proporción la holgura de las roscas para posibilitar su ajuste.

Los de espesor normal proporcionan una protección muy limitada en condiciones de exposición a la intemperie (entre 6 meses y 2 años), salvo que se trate de atmósferas de muy baja corrosividad en las que la duración puede ser superior.

SHERARDIZACIÓN

Es un proceso consistente en tratar con polvo de zinc las piezas de pequeño tamaño en un tambor giratorio calentado a unos 370 ºC. Permite que su superficie reaccione con el zinc para formar un recubrimiento uniforme de aleación zinc-hierro de aspecto gris mate.

El espesor normal de los recubrimientos sherardizados es de 15 μ , pudiendo variar entre 7 y 30 μ en función de la duración del tratamiento. Por su espesor, este tipo de recubrimiento se sitúa entre los electrolíticos y los obtenidos por galvanización en caliente.

Debido a su menor masa de zinc por unidad de superficie, proporciona una protección bastante menor a aquella de la galvanización en caliente.

RECUBRIMIENTOS PARA ALTA TEMPERATURA. BARRERAS TÉRMICAS.

En múltiples aplicaciones para alta temperatura las condiciones ambientales no permiten utilizar material sin recubrimiento.

Por ejemplo, entre los fenómenos de degradación más importantes se encuentran la oxidación, la exfoliación de capas oxidadas –básicamente Al_2O_3 y Cr_2O_3–, la posibilidad de corrosión acelerada en presencia de oxidantes mixtos y derivados, la pérdida de propiedades mecánicas por efecto de la oxidación, la corrosión acelerada inducida por depósitos –por ejemplo, V_2O_5 fundido y mezclas con sulfatos y/o cloruros alcalinos– y los problemas de corrosión/erosión.

Teniendo en cuenta que suele tratarse de aplicaciones industriales, a menudo de grandes componentes, no carece de importancia el factor económico.

Una vez más, el recubrimiento resulta más accesible que emplear un material más caro sin recubrimiento o sustituir frecuentemente el componente dañado.

ESMALTE VÍTREO

Se realiza sobre piezas de acero o de hierro fundido. Se puede aplicar una mezcla formada por silicatos, fundentes y pigmentos minerales para colorear que constituyen un recubrimiento duro y resistente a la corrosión.

Los cantos y ángulos de las piezas deben ser redondeados para evitar que se fisure la superficie esmaltada. Ésta es muy sencilla de limpiar, tanto si su acabado es brillante o mate.

AGENTE	RESISTENCIA
Ácido nítrico	Muy bueno en todas las concentraciones inferiores o iguales a 40ºC a 60-70 ºC. Si la concentración no supera el 50 % resiste incluso en el ácido hirviendo.
Soluciones sulfoníticas frías	Bueno si la relación entre los ácidos nítrico y sulfúrico no es superior a 2.
Ácido fosfórico	Muy bueno si es frío y diluido.
Ácido acético	Bueno hasta una concentración de 20 % o entre 70 y 100 % a 50 ºC. Entre 20 y 70 % de concentración el desempeño es muy malo.
Ácido fórmico	Bueno hasta un 20 % y en frío.
Ácidos cítrico y tartárico	Muy bueno en todas las concentraciones en frío.
Soluciones salinas frías	Bueno en sulfato amónico, sulfato de aluminio, soluciones de alumbres, sulfato ferroso, sales oxidantes, cromatos, permanganatos.
Productos alimenticios	Muy bueno y mejor que los martensíticos si no se exige dureza.
Corrosión atmosférica	Bueno en atmósferas rurales y urbanas. Malo en atmósferas industriales y marinas.
Agua de mar	Bueno si el agua no está estancada y no contiene organismos o microorganismos marinos.

COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS

II. LAS ALEACIONES DE METALES FERROSOS

Como vimos anteriormente, la aleación es una manipulación de dos o más metales de manera tan íntima que permite obtener un producto denominado aleación. Hace tiempo que se las conoce y realiza por las mejoras que implican en la resistencia a la corrosión.

Veremos en este apartado la conformación y uso de los aceros inoxidables, los de oxidación no progresiva y las superaleaciones para alta temperatura.

Estudiaremos sus limitaciones y sus aplicaciones más frecuentes.

AGENTE	RESISTENCIA
Agua de mar	Bastante malo cuando el metal está completamente sumergido. Esta corrosión se presenta, en general, en forma de picaduras. La resistencia aumenta con el contenido de Cr. Si se añade Mo o Cr se reduce la profundidad de las picaduras.
Ácido sulfúrico	Varía notablemente con muy pequeñas variaciones de la concentración. Hay que indicar muy bien la composición del ácido.
Ácidos orgánicos	Ideal cuando se utiliza el tipo 18/8
Otros	Mejora general de este acero si se aumenta el contenido de níquel y disminuir el contenido de cromo.

COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

ACEROS INOXIDABLES

Diversas investigaciones confirmaron que la adición de un contenido del 12 % de cromo a las aleaciones de hierro-carbono (aceros inoxidables) les aportaba una resistencia casi total a la corrosión atmosférica.

Esto es así porque, básicamente, el cromo proporciona a la aleación una capa pasiva estable en medios oxidantes (alcanza con el potencial oxidante suministrado por el O_2 atmosférico para provocar la formación de esta película pasiva).

ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS: (12-18 % de cromo y 0,1-0,5 % de carbono), pueden ser templados y revenidos; si bien su resistencia a la corrosión aumenta con el contenido de Cr, es siempre inferior a la de los inoxidables ferríticos y austeníticos.

No obstante, en contacto con la atmósfera, el agua y el vapor, los resultados suelen ser satisfactorios.

Estos aceros, utilizados tanto por sus buenas propiedades mecánicas como por su resistencia a la corrosión, tienen aplicaciones en diversas industrias.

ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS: tienen un 15-30 % en cromo y un contenido de carbono proporcional a aquél (si el Cr es de 30 %, el C puede alcanzar el 0,35 %).

Son magnéticos, de dureza poco elevada y no toman temple. Su resistencia a la corrosión es menor a la de los aceros austeníticos.

ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS: son aleaciones en las que el Ni suele estar por encima del 8 %. Son magnéticos y pueden ser endurecidos por trabajo en frío, no por temple. Su resistencia a la corrosión atmosférica, al agua y al vapor es más alta que en los aceros anteriormente nombrados y la adición de molibdeno los vuelve más resistentes a la corrosión bajo tensión y a la corrosión por picadura en medios ácidos con cloruros.

ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX: están constituidos por cuatro elementos de aleación principales: cromo, níquel, molibdeno y nitrógeno.

Son prácticamente inmunes a la corrosión intergranular y, con respecto a la corrosión por picadura en presencia de cloruros y otros aniones agresivos, su resistencia suele ser superior a la de los aceros austeníticos.

Además, presentan un buen comportamiento ante fenómenos de corrosión bajo tensión en presencia de cloruros.

SECTOR	23 % Cr (sin Mo)	22 % Cr	25 % Cr	25 % (dúplex)
Industria química	Líneas de tuberías	Bombas, tanques químicos	Reactores de úrea, agitadores, intercambiadores de color	Evaporadores salinos, tuberías, bombas, sistemas
Industria petroquímica	Reactores tubulares	Equipos de desalinización, desulfuración y unidades de destilación	Equipos para sistemas de desulfuración, carcasos de bombas	Tuberías expuestas a ambientes conteniendo Cl^- o HCl
Industria del papel	Digestores, precalentadores y evaporadores		Digestores y precalentadores	Equipos de blanqueo conteniendo Cl^-
Industria de generación de energía (nuclear y térmica)	Recalentadores y evaporadores			Intercambiadores de calor y sistemas en condiciones geotérmicas o empleando salmuera
Producción de petróleo	Tuberías y enfriadores		Líneas de transporte de amargo, bombas de inyección de agua de mar	Sistemas de enfriamiento con agua de mar, bombas, separadores, recipientes a presión, válvulas

APLICACIONES DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX

ACERO DE OXIDACIÓN NO PROGRESIVA

ACEROS DE OXIDACIÓN NO PROGRESIVA: también comparten ciertas características con los aceros aleados o especiales.

Los aceros con un contenido de cobre del 0,2 % resisten mejor los efectos de la intemperie que los aceros dulces; sin embargo, igualmente necesitan ser protegidos.

Existe en el mercado un producto conocido como Cortén (nombre y proceso de fabricación registrado), que en general puede clasificarse entre los aceros de oxidación no progresiva.

Se trata de una aleación compleja con diversos elementos, entre ellos un contenido de cobre de 0,25-0,55 %, que expuesto a la intemperie y a ciclos alternados de humedad y sequedad, se recubre de un óxido persistente y protector de un color que oscila entre el rojo cobre oscuro y el marrón morado.



Acero inoxidable atacado por corrosión por picaduras.

Excepto en el caso de las atmósferas demasiado salinas, esta capa protectora se formará con mayor rapidez y será más efectiva cuanto más agresiva sea la atmósfera del entorno.

Finalmente, se recomienda recoger y desaguar las aguas de lluvia que puedan arrastrar a los productos de la corrosión que se forman durante los primeros 5 años; de esta manera, se puede evitar que ataquen a otros materiales de cerramiento o pavimentos.

LIMITACIONES DEL ACERO INOXIDABLE: TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN

CORROSIÓN POR PICADURAS: En el acero inoxidable, es el fenómeno de deterioro más común, cuyo desarrollo ya fue comentado en detalle.

Aquí se añade que se han de adoptar medidas extremas en la vigilancia de este acero si se encuentra en ambientes costeros, especialmente cuando hay frecuentes brumas y cuando existe un uso intensivo de sales anticongelantes como cloruro de sodio, cloruro de potasio o cloruro de calcio.

Las picaduras primero se originan como pequeños puntos de óxido que impiden que continúe formándose la capa pasivante sobre la superficie del acero.

Comienzan a carcomer al acero lentamente y luego aparece una hinchazón del material deteriorado alrededor de dichos puntos.

Si las superficies del elemento son suaves y parejas, resulta más difícil el depósito de partículas de suciedad y se reduce el riesgo de que se presente este tipo de corrosión.

Por otro lado, si se agrega molibdeno a la aleación, se puede conseguir una mayor resistencia. Para limpiar los acabados satinados, es conveniente utilizar un limpiador abrasivo de tipo suave, con ácido fosfórico u oxálico.

Luego se enjuaga muy bien la superficie, tanto antes como después de cada aplicación, y se finaliza con un pulido en el sentido de los granos del metal con tela o piedra abrasiva.

CORROSIÓN INTERGRANULAR: si bien difícil, puede presentarse en condiciones extremas y, por lo general, en la periferia de las soldaduras.

CORROSIÓN POR FISURAS: en cambio, se produce sobre todo en uniones o juntas con elementos no metálicos. Cuando se abre una grieta, penetran la humedad y los agentes responsables de la corrosión del metal; en este caso, se recomienda desmontar las piezas, eliminar el foco corrosivo y volver a ubicarlas.

Asimismo, se pueden cubrir dichas grietas con buenos selladores capaces de absorber los movimientos y demás solicitaciones mecánicas.

OBJETIVO	RECOMENDACIONES
Frenar el progreso de la reacción anódica	Retirar los compuestos insolubles y fuertemente adheridos al metal para que impidan la liberación de iones Fe^{++} (pasivación anódica), lo que se logra con pigmentos oxidantes –cromatos o plumbatos– que transforman los iones ferrosos en férricos ni bien se forman.
	Imprimaciones anticorrosivas.
	Realizar una protección catódica mediante corriente continua de voltaje adecuado.
	Poner en contacto con un metal menos noble que actúa como ánodo: galvanizado, metalización e imprimaciones ricas en zinc.
	Mantener un exceso controlado de iones Fe++, lo que inhibiría la reacción.
Frenar el avance de la reacción catódica	Impedir o detener el acceso de H_2O y O_2 a la superficie del acero con pinturas y recubrimientos impermeables.
	Si el O_2 consigue atravesar la barrera, impedir que acceda al cátodo mediante una capa de hidróxidos y sales básicas
	Realizar imprimaciones anticorrosivas.
	Provocar un exceso de iones OH- (polarización). Un caso típico es el de la protección de las armaduras de acero del hormigón armado por alcalinización del agua que pueda alcanzarlas mediante el $Ca(OH)_2$ formado en el fraguado del cemento.
Generales	Eliminar restos de calamina y herrumbre.
	Lavar con agua dulce los cloruros que puedan estar depositados sobre el acero.
	Limpiar restos de grasa y suciedad.
	Eliminar por amolado las rebabas y defectos metálicos superficiales.
	Diseño adecuado de las formas estructurales empleadas.
	Modificar el medio ambiente: a *nivel local* (microclima en planta de fabricación), por ejemplo, suprimir o desviar las descargas de vapores corrosivos; a *nivel general* (clima), reducir la contaminación atmosférica general por SO_2 y NO con medidas institucionales y legislativas.

RECOMENDACIONES PARA FRENAR LAS REACCIONES CATÓDICAS Y ANÓDICAS.

No obstante, la mejor manera de evitar este tipo de ataque se encuentra en un buen diseño de las partes, la inspección y limpieza periódicas, la elección de los topes de goma o siliconas y en la elección de los materiales adecuados, dejando de lado los porosos porque absorben la suciedad.

Si las superficies han de ser pintadas, verificar primero que no se emplea una imprimación a base de ***CLORUROS*** (corroen al acero inoxidable). Por otro lado, si la imprimación remueve la capa de óxido, no se debe aplicar ni pintura ni sellantes hasta que se vuelva a formar.

Una consideración a tener en cuenta en la obra tiene que ver con el posible contacto –que hay que evitar– entre este tipo de acero y los ácidos muriático y clorhídrico, frecuentemente usados para lavar muros de ladrillos y alicatados.

En cuanto a la relación con otros metales, numerosas piezas de acero inoxidable se utilizan en la sujeción de cubiertas de cobre y aluminio sin que se presenten problemas de corrosión galvánica.

SUPERALEACIONES PARA ALTA TEMPERATURA

En la industria se conocen como materiales para alta temperatura a las aleaciones que pueden ser usadas con garantía a temperaturas superiores a las de los aceros de carbono (400 ºC aproximadamente).

En estas condiciones el desarrollo de ciertos componentes o sistemas sólo se puede llevar a cabo si se dispone de materiales aptos para resistir cargas y temperaturas elevadas y a la vez ligeros y capaces de soportar un medio agresivo severo durante un tiempo considerable.

La resistencia a la corrosión de las superaleaciones guarda relación con el contenido de cromo.

Con respecto a las atmósferas generadas en los motores a reacción, la mayoría suele resistir bien hasta 1.100 o 1.200 ºC.

En cambio, la presencia de vanadio o metales alcalinos en las cenizas de los combustibles puede acelerar notablemente su corrosión directa.

Hay superaleaciones a base de níquel y de cobalto.

III. PROTECCIÓN CATÓDICA

Es un tipo de protección consistente en el uso de una corriente eléctrica para prevenir o reducir la velocidad de corrosión de un metal en un electrolito, haciendo que el acero actúe como cátodo y no se corroa.

La fuente de esta corriente es indiferente; puede proceder de una corriente alterna rectificada, de una corriente continua directamente generada o bien puede ser de origen galvánico, por contacto de metales más activos que el hierro como zinc o magnesio.

Es fundamental que se especifiquen y calculen correctamente los parámetros adecuados para la protección catódica de una estructura o instalación concreta; asimismo, es importante la vigilancia constante de los medidores y del buen funcionamiento en general.

Por último, como en muchas ocasiones se puede lograr la máxima eficacia utilizando además recubrimientos protectores, se aconseja tener especial cuidado en su elección y aplicación para evitar el riesgo de que sean atacados en ciertas condiciones alcalinas o de que formen ampollas.

B. ACABADO Y PROTECCIONES DE METALES NO FERROSOS

A menudo se escogen metales no ferrosos porque no necesitan ser protegidos contra la corrosión y porque dan un buen aspecto.

Sin embargo, existen algunos acabados superficiales que preservan y pueden poner más de manifiesto o modificar la apariencia natural de estos metales.

Como explicamos anteriormente, el tamaño de las piezas fabricadas a base de metales no ferrosos, permite la protección en taller, lo cual garantiza la excelencia del acabado.

Muchas veces, por lo tanto, nuestra labor debe centrarse en la observancia de que estos procedimientos se hayan realizado conforme a un procedimiento especificado, cuidar de su correcta manipulación y verificar su buen almacenado hasta su instalación en la obra.

Pero, por supuesto, también debemos conocer las limitaciones de antemano de cada uno de estos metales antes de utilizarlos en la construcción. En la primera mitad de este apartado veremos, entonces, algunos de los acabados de tipo mecánico y químico que se pueden aplicar a los metales no ferrosos.

Luego, en la segunda mitad, repasaremos las limitaciones de los metales no ferrosos más importantes, recordaremos sus mejores aplicaciones y la manera de minimizar sus potenciales complicaciones.

TRATAMIENTOS MECÁNICOS

- **PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS**: produce una textura áspera.
- **ARENADO**: da un acabado mate que varía según la medida del grano de arena, la presión del aire y la distancia entre el pico y la pieza tratada.
- **RALLADO**: por raspados rotativos de acero inoxidable.
- **SATINADO**: particularmente sensible a las marcas de dedos.
- **PULIDO**: puede ser el acabado definitivo o la preparación de base para otros acabados. Se obtiene con fregados abrasivos progresivamente más blandos.

TRATAMIENTOS QUÍMICOS

- **ANODIZACIÓN**, exclusiva del aluminio.
- **BMA** (bronce metal antiguo): tratamiento térmico y químico que se aplica al latón para darle apariencia de bronce.

ACABADOS POR RECUBRIMIENTOS

APLACADO ELECTROLÍTICO: al igual que el niquelado y el cromado proporcionan una superficie muy dura a las aleaciones de latón y zinc; una aleación de cobre y estaño ofrece muy buena resistencia al uso y la corrosión, que los vuelve bases adecuadas para ser aplacados con metales de más precio (oro y plata).

ESMALTE VÍTREO: puede ser aplicado sobre cobre y aluminio. Y, para concluir, también pueden ser considerados como material de revestimiento de metales no ferrosos algunos materiales plásticos por su durabilidad, propiedades eléctricas y térmicas y color.

Para el mantenimiento de los acabados, ante todo, se ha de considerar la necesidad de la limpieza periódica, sobre todo si se quiere conservar una superficie brillante. Para otros metales puede bastar con un pulido suave y la posterior aplicación de ceras o barnices (el pulido suave no deja que se forme la pátina natural).

Hay que recordar que se desaconseja el uso de abrasivos sobre superficies tratadas química o térmicamente, sobre aplacados electrolíticos, esmaltes o sobre anodizados.

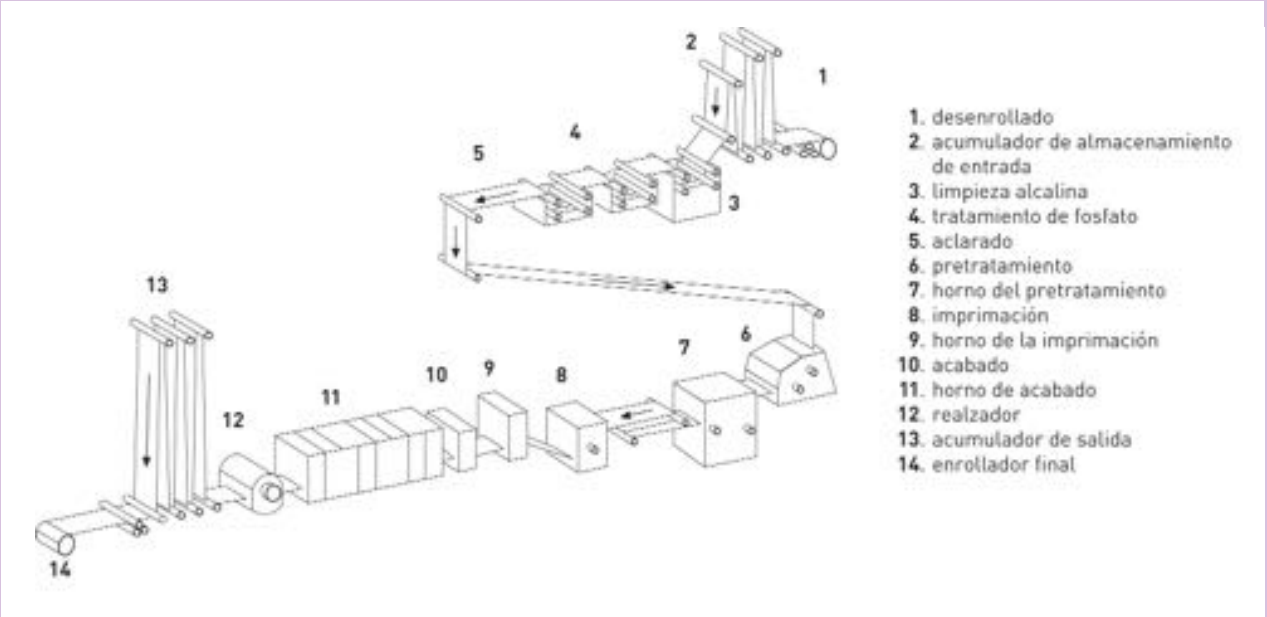
ANODIZACIÓN DEL ALUMINIO

La anodización es un procedimiento que se aplica especialmente al aluminio y sus aleaciones. Todas las aleaciones de aluminio pueden ser anodizadas, pero aquellas con alto porcentaje de manganeso, sílice y cobre producen opacamientos.

Se trata de recubrirlo de una película de óxido, adherente y continua, que se obtiene al actuar el metal como ánodo en la electrólisis de una solución ácida. La película resultante es muy absorbente y, además, puede ser teñida de varios colores, entre los que se recomiendan los rojos, dorados, marrones, negros y algunos verdes oscuros.

El objetivo principal de este procedimiento es acelerar y uniformar la capa de óxido protectora de la corrosión e incluso aumentar su dureza. Como la alúmina resulta más dura que el aluminio, se incrementa también su resistencia a la abrasión.

No obstante, el aluminio anodizado debe ser correctamente protegido en obra y ser colocado sólo después de finalizados los acabados que requieren humedad, ya que el cemento Pórtland y la cal de morteros y hormigones se adhieren y pueden manchar.



Operación de tratamiento de planchas de metal bovinadas.

Asimismo, se debe proteger del contacto con la humedad o condensación de materiales leñosos mediante barreras bituminosas. La madera puede ser pintada con dos manos de pintura al aluminio, o recubierta con un fieltro embebido en asfalto.

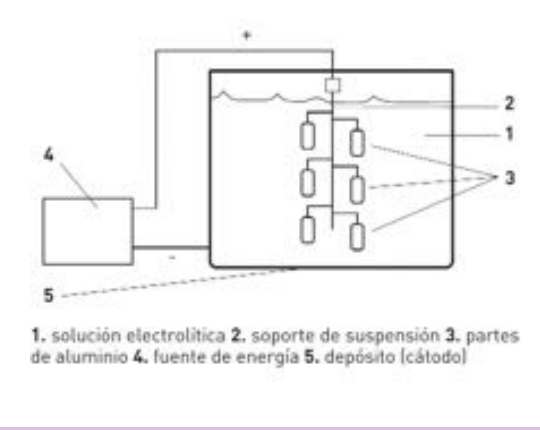
Con un adecuado mantenimiento, los recubrimientos anódicos sobre el aluminio al exterior pueden mantener un aspecto satisfactorio durante mucho tiempo.

Para las atmósferas rurales, se recomienda una limpieza anual; para las atmósferas industriales, una limpieza mensual con agua y detergente y la eliminación del polvo y suciedad que se puedan acumular en los lugares húmedos.

Durante el proceso de anodización la capa superior del aluminio –las primeras 25 μ– se convierten en Al_2O_3. Esta capa de óxido debería tener entre 0,0057 y 0,0178 mm de espesor, ya que espesores superiores a 0,076 mm se descascaran con mayor facilidad.

La etapa final del proceso es el endurecimiento y el sellado de la superficie con agua desionizada hirviendo o sales sellantes de metal, esencial para cerrar los poros y dar uniformidad a la superficie.

Existen dos métodos para llevar a cabo el proceso de anodización: la anodización por pieza y la anodización en rollo



1. solución electrolítica **2.** soporte de suspensión **3.** partes de aluminio **4.** fuente de energía **5.** depósito (cátodo)

Proceso básico de anodizado.

ANODIZACIÓN POR PIEZA: requiere suspender las piezas y luego sumergirlas en el baño ácido (único método posible para el aluminio extrusionado o preformado).

ANODIZACIÓN EN ROLLO: por su parte, es un proceso electrolítico y se aplica a hojas o chapas delgadas de aluminio (es el más económico para tratar este tipo de piezas).

El acabado por anodización es químicamente estable y no tóxico y el anodizado más corriente es el claro o transparente, que deja una capa de óxido uniforme y de textura suave, satinada y de color plateado.

Uno de los beneficios del aluminio anodizado y pintado se observa cuando la pintura se raya; cuando esto ocurre, enseguida surge la capa de óxido que protege la base e impide que avance el proceso de corrosión.

Hay que preparar al aluminio antes de pintarlo, por ejemplo mediante el decapado químico. Otros, como los tratamientos con fosfato de cromo y cromato de cromo, otorgan una preparación muy buena para la aplicación de pintura en polvo y pinturas al solvente.



Aluminio anodizado.

LIMITACIONES DEL ALUMINIO

Este metal, sin embargo, es atacado por algunos corrosivos químicos y corrientes galvánicas, siendo el fenómeno de deterioro más común el contacto con otros metales. En la superficie aparece una especie de deslustrado, surgen pequeños hoyos, escarchamientos y manchas, a menudo con puntos gris oscuro y claro o blanquecinos. No obstante, este despulido de la superficie protege al aluminio base de daños posteriores.

El picado del aluminio suele ser una consecuencia de discontinuidades en los procesos de anodización. Consiste en un ataque intergranular del aluminio, sólo detectado por rayos X o ultrasonido, que si bien débil, persiste durante bastante tiempo. La exfoliación es otra forma de ataque por corrosión intergranular que se manifiesta como pequeñas ampollas, que pueden romperse y descascarar al metal.

Como los procesos de soldadura producen mucho calor, pueden aparecer zonas anódicas y catódicas en la periferia de estas soldaduras que generan células de corrosión.

Con respecto a la posibilidad de corrosiones galvánicas, debemos señalar que el contacto del aluminio con piezas de acero produce pares galvánicos y la corrosión del acero. Este fenómeno se hace visible en forma de aureolas blancas o rojas alrededor de las piezas de acero.

Por otra parte, el cobre puede manchar el aluminio y originar pequeños hoyos, foco de corrosión intergranular. En estos casos, se debe aislar ambos metales con pinturas bituminosas y no permitir que escurrimientos o condensaciones del cobre lleguen al aluminio.

Al contrario, es muy poco frecuente que el acero inoxidable ataque al aluminio, razón por la cual se lo utiliza para ambientes urbanos en piezas de ajuste o cierre en sistemas de muro cortina.

Para proteger al aluminio de la corrosión galvánica hay que separarlo mediante bandas de neopreno u otro material no higroscópico. Los materiales impregnados en asfalto –fieltros o papeles encerados– son muy efectivos.

Las pinturas también sirven para aislar, pero se ha de recordar que no se puede utilizar las que son a base de plomo porque atacan al aluminio.

La corrosión filiforme es un tipo de corrosión superficial del aluminio pintado que no lo afecta estructuralmente. Las partículas corrosivas entran a través de la pintura y viajan a lo largo de la interfase aluminio-pintura; una vez desarrollada la célula de corrosión, el hidróxido de aluminio circula de forma aleatoria por debajo de la pintura.

Las formas más severas de corrosión del aluminio son:

- **CORROSIÓN BAJO TENSIÓN**: muy poco frecuente en elementos arquitectónicos ya que es difícil que se alcancen tensiones extremas.
- **EROSIÓN-CORROSIÓN**: por ejemplo, cuando dos piezas friccionan entre sí quitando la capa protectora de óxido y permitiendo el avance del ataque.
- **CORROSIÓN POR FATIGA**: lenta e irreversible, se produce al someter al aluminio a ciclos constantes de tensión y relajación. Por ejemplo, cuando en un acabado no se permite la libre dilatación de las partes, se termina debilitando el metal.

Bajo el microscopio, el aluminio anodizado presenta pequeñas fisuras –fisuras de retracción– provenientes de los diferentes movimientos térmicos entre el aluminio base y la capa de anodizado, y que no se consideran perjudiciales.

Procedimientos básicos de limpieza del aluminio

En condiciones normales:

- **UTILIZAR JABONES Y DETERGENTES** con un trapo húmedo y agua caliente.
- **ENJUAGAR BIEN Y ESCURRIR.**
- **QUITAR LAS PARTÍCULAS ADHERIDAS**, con cepillos de cerdas de nylon, sobre todo en soleras y voladizos.

En condiciones duras:

- **EMPLEAR SOLVENTES COMERCIALES Y LIMPIADORES CON EMULSIÓN DE DETERGENTE** para quitar la grasa y el aceite.
- **PASAR UN TRAPO CALIENTE HUMEDECIDO EN DETERGENTE.**
- **ENJUAGAR BIEN Y ESCURRIR.**

DESOXIDANTE LIBERON. Solución ácida eficaz para eliminar la oxidación de los metales cobrizos y de los estaños.

CORTEC ESPUMA IMPREGNADA. Inhibidor de corrosión en fase de vapor que protege metales ferrosos y no ferrosos contra la corrosión en recintos cerrados o embalajes.

DESOXIDANTE DE RUSTINS. Potente disolvente para superficies oxidadas, indicado también para la limpieza del cobre.

ERCALENE. Laca de celulosa transparente de secado al aire y plastificante que deja un recubrimiento de protección con ligero aumento de brillo.

GOLDFINGER. Pasta metálica en cinco tonos. Ideal para retoques.

INCRALAC. Laca especial que contiene benzotriazol y permite la protección del cobre, otorgando una gran resistencia a la luz ultravioleta y a los ambientes salinos de una duración de, al menos, cinco años.

FILM DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD CORTEC. Protege al cobre de todo tipo de corrosión, incluyendo la herrumbre, deslustración, manchas, manchas de agua, la herrumbre blanca y la oxidación.

CREMA PARA COBRES. Producto que limpia y abrillanta el cobre.

BARNIZ METAL TRANSPARENTE. Barniz incoloro que protege de la oxidación en interiores.

LIQUIDO BIOX. Producto "biológico" que elimina la corrosión del cobre.

PRODUCTOS PARA MANTENIMIENTO Y PROTECCIÓN DEL COBRE

En condiciones muy duras:

- **LIMPIAR CON UN SOLVENTE NO ABRASIVO**. Se puede agregar un poco de un limpiador moderadamente abrasivo.
- **PASAR UN TRAPO HÚMEDO CON DETERGENTE CALIENTE Y LIMPIADOR SEMIABRASIVO** en la dirección aparente de los granos del aluminio.
- **UTILIZAR CHORRO DE AGUA A PRESIÓN** para quitar suciedades muy adheridas, si es necesario.
- **ENJUAGAR BIEN Y ESCURRIR.**

Para quitar manchas leves de agua de la superficie del aluminio, se puede usar lana de acero inoxidable y aceite y una solución acuosa con 10 % de ácido sulfúrico y 3 % de ácido crómico a 82 °C. Se trata de una técnica apenas abrasiva que requiere experiencia en el manejo de corrosivos para evitar posibles daños.

VIDRIOS METÁLICOS

La resistencia a la corrosión de estas aleaciones, que presentan grano fino y homogéneo, se encuentra fundamentalmente en aleaciones de aluminio de la serie 7.000 que contiene principalmente, Al-Zn-Mg-Cu y a las que se añaden, para aumentar su resistencia, pequeñas cantidades de cobalto.

Estas aleaciones pulvimetalúrgicas mostraron muy buena resistencia a las corrosiones afectadas por la estructura (corrosión bajo tensión, por ejemplo), siempre que el proceso de consolidación se realice cuidadosamente.

Con una elevada velocidad de enfriamiento es posible obtener aleaciones con estructura amorfa –vidrios metálicos– que gozan de la resistencia mecánica e inercia química de los vidrios y de la ductilidad y conductividad de los metales.

Estas aleaciones constan de una única fase, carecen de orden cristalino de largo alcance pero, no obstante, su composición está formada por elementos metálicos.

Sin embargo, los vidrios metálicos presentan serias limitaciones. Por un lado, ocurre que al tratarse de materiales «metaestables», pueden cristalizar al ser sometidas a altas temperaturas y perder así sus propiedades más interesantes. La segunda limitación tiene que ver con las dimensiones físicas del material producido: al requerirse una velocidad de enfriamiento alta, al menos una de las dimensiones de la aleación resulta muy delgada.

Por último, se recuerda que los procesos de fabricación y consolidación de las aleaciones vítreas en general son lentos y costosos.

LIMITACIONES DEL COBRE TRATAMIENTOS Y PREVENCIÓN

MATERIALES QUE MANCHA EL COBRE

El cobre puede, en contacto con la atmósfera, desarrollar ciertos óxidos solubles en agua que, debido a las condensaciones, escurrimientos o al simple rocío, pueden alcanzar a otros materiales.

Si absorben esta humedad las piedras calizas, el estuco, el hormigón y otros materiales porosos y claros, pueden mancharse y tomar el característico color verde de los sulfatos de cobre.

Es posible disminuir el escurrimiento del agua que transporta restos de óxido y hollín gracias a la prolongación de aleros y a la correcta aplicación de goterones. Asimismo, se pueden sellar las superficies de las piedras y ladrillos, recordando realizar un mantenimiento periódico. Cualquiera de estas medidas cobran gran importancia ya que es muy difícil limpiar una superficie manchada con sulfato de cobre. Si bien se puede pintar y tapar así las manchas, la apariencia del material se modifica.

MATERIALES QUE MANCHAN AL COBRE

Los rieles de acero o metales galvanizados pueden manchar la pátina verde del cobre con marcas marrón oscuro, imposibles de quitar sin dañar la plancha de cobre.

El método menos nocivo, con buenos resultados en chapas o piezas de cierto espesor, consiste en un chorro a presión de cáscaras de nuez con el que se puede eliminar la capa exterior de óxido y dejar una superficie brillante (aunque un tanto golpeada).

Por otro lado, ciertas sustancias orgánicas que se depositan y permanecen en la superficie del cobre también pueden mancharlo. Si esto ocurre durante el desarrollo de la pátina de óxido del metal, probablemente las marcas sean duraderas.

Por ejemplo, podemos pensar en los ácidos contenidos en las hojas de roble y que éstas exudan al secarse. Las manchas que aparecen pueden tener un aspecto atractivo, ya que el cobre se torna púrpura a medida que interactúan el óxido y los ácidos.

El castaño dulce y el cedro rojo también producen soluciones ácidas. Hay que tener en cuenta que si se plantea un escurrimiento de la cubierta a base de tejuelas de cedro sobre canalones de cobre, se está impidiendo que se forme la pátina protectora.

Sin embargo, ésta comienza a desarrollarse normalmente ni bien las tejuelas terminan de perder sus restos ácidos; mientras tanto el cobre puede sufrir una pérdida de espesor, que por lo general no llega a perforarlo.

También las sales del yeso, el cemento y los morteros en general que quedan en contacto directo con el cobre pueden producir su decoloración. Por su parte, los materiales bituminosos empleados en la fabricación de cubiertas pueden corroerlo, ya que la oxidación del bitumen genera ácidos que disuelven el material cuproso.

En consecuencia, se debe evitar la aplicación de bitumen en caliente bajo las cubiertas de cobre y recurrir a láminas bituminosas forradas con películas plásticas, igual de efectivas para lograr una cubierta impermeable.

Continuando con la enumeración de los materiales con capacidad para manchar al cobre, hay que nombrar a las maderas tratadas con productos ignífugos que contengan amoníaco y a los materiales a base de aluminio y asfalto usados para reparar superficies cuprosas dañadas.

Estos últimos deben ser descartados porque pueden originar células de corrosión, y reemplazarlos por parches de cobre soldados al cobre base; en cualquier caso, es preferible replantear las juntas y uniones que utilizar masillas asfálticas.

Debido a la dilatabilidad del cobre y sus aleaciones, se deberían usar selladores que puedan acompañar estos movimientos. Los selladores, además, deben ser elegidos en función de sus compuestos base; muchas siliconas y uretanos no corroen al cobre pero aquellos a base de sustancias acrílicas, neopreno o nitrilos, sí.

Además, la acumulación de esfuerzos puede producir fatigas en los elementos de cobre y en aquellas planchas de poco espesor puede presentarse un ondulado.

A lo largo de la interfase cobre-sellador puede producirse alguna decoloración, debido a que los selladores absorben suciedad de la superficie del cobre, resultando en juntas oscuras y en apariencia más grandes. Para reparar estas juntas sólo se puede aplicar más sellador; en cambio, si se decide soldar las partes metálicas, primero se debe proceder a la eliminación del material sellante.

Como mencionamos al comienzo, la corrosión galvánica es una de las mayores fuentes de deterioro para los metales en contacto con el cobre –considerado un metal noble– y evitable si se consultan previamente las escalas de potencial electrolítico de los mismos.

Asimismo, hay que considerar el poder del agua de mar y de lluvia para producir sobre las superficies de cobre un electrolito ácido que ataca a los otros metales.

Se deben evitar las aplicaciones de grandes superficies de cobre mezcladas con superficies relativamente pequeñas de otros metales menos nobles.

El caso inverso no genera mayores inconvenientes; por ejemplo: se puede usar grapas de cobre para sujetar chapas de aluminio pero se deben evitar las grapas o ganchos de acero galvanizado en la sujeción de superficies de cobre.

El contacto entre el cobre y el plomo o acero inoxidable no suele traer problemas de corrosión galvánica, pero el contacto con aluminio anodizado puede dañar un poco a este último, sobre todo si no está protegido, caso en el que aparecen manchas y hoyos en la superficie.

El cobre no debe entrar en contacto con el acero –galvanizado o no–. Si es galvanizado se desarrollan células de corrosión en el zinc que atacan al acero subyacente; si no está galvanizado, el cobre puede perforar su superficie.

Una buena manera de prevenir el desarrollo de la corrosión galvánica consiste en pintar el cobre o los metales con los cuales entrará en contacto.

Se aconseja dar varias capas de abundante pintura en ambos metales. Finalmente, lo mejor es interponer un barrera eléctrica que posea propiedades dieléctricas y no acumule humedad (por ejemplo, Teflon o siliconas).

NOTA: Cuando por cuestiones de estética o uso se quiere remover la pátina natural de óxido que se forma sobre las superficies de cobre, conviene preparar una solución de seis partes de ácido fosfórico, una de ácido nítrico y siete de agua destilada que se pasa con esponja por toda la superficie de pátina a eliminar.

El pH debe estar entre 1 y 1,5 y se puede conseguir una pasta con un vinculante a la que se deja actuar durante un minuto sobre dicha superficie. Por último, se elimina todo con una esponja empapada en bicarbonato de sodio (pH 10) y se enjuaga con agua limpia.

LIMITACIONES DE LOS LATONES TRATAMIENTOS Y PREVENCIÓN

La descincificación suele localizarse en pequeñas áreas del latón, disuelto como aleado y desprovisto de su componente de zinc. En consecuencia, reaparece el cobre sobre la superficie del metal. A este fenómeno resisten mejor los latones con menos de 15 % de zinc.

Cuando la descincificación está muy avanzada es muy difícil reparar la superficie del metal, que presenta hoyos y decoloración. Además, el pulido y encerado, que podrían recuperar el aspecto original, tiene un costo muy elevado.

Otro problema bastante común es la corrosión-erosión, fenómeno explicado en apartados anteriores, que ataca a los latones utilizados en cañerías y conducciones. La corrosión intergranular, también frecuente, sólo se puede evitar fabricando correctamente la aleación.

PINTURAS DE SECADO FÍSICO

TIPO	PROPIEDADES	LIMITACIONES
Breas y asfaltos	Elevada permeabilidad Excelente resistencia al agua Utilizables en inmersión Resistencia química razonablemente buena Buena adherencia al sustrato Poco exigentes en la preparación de superficies Fáciles de aplicar Buena adherencia entre capas Sin intervalo máximo de repintado	Deterioro por radiación UV Poca resistencia a la intemperie Baja resistencia a los disolventes Sangrado en las capas posteriores. Las moléculas más pequeñas migran a la película de pintura aplicada encima, tiñéndola con una coloración oscura Termoplásticas. Se reblandecen con el calor No repintables con pinturas de mayor dureza Color negro o muy oscuro Película poco dura y tenaz, baja resistencia mecánica
Clorocaucho	Buena resistencia al agua Utilizables en inmersión Buena resistencia química Buena adherencia al sustrato Buena adherencia entre capas Sin intervalo máximo de repintado Buena resistencia a la intemperie Secaje rápido Aplicable en elevados espesores por capa, en formulaciones adecuadas Resistente a aceites y grasas minerales e hidrocarburos alifáticos	Precisa buena preparación de superficies Precisa plastificante. Muchas de las propiedades de la pintura dependen del tipo de plastificante empleado Baja resistencia a aceites y grasas animales y vegetales Se disuelve con los hidrocarburos aromáticos Temperatura límite de 70 ºC, en exposición continua Brillo inicial moderado Tendencia a perder brillo (calear) y amarillear a la intemperie No se recomienda aplicar a rodillo
Acrílicas	Buena resistencia al agua Utilizables en inmersión Buena resistencia química Buena adherencia al sustrato Buena adherencia entre capas Sin intervalo máximo de repintado Buena resistencia a la intemperie Secaje rápido Aplicable en elevados espesores por capa, en formulaciones adecuadas Resistente a aceites y grasas minerales e hidrocarburos alifáticos Buena retención de color y brillo Buena adherencia sobre pinturas de clorocaucho	Precisa buena preparación de superficies Precisa plastificante. Muchas de las propiedades de la pintura dependen del tipo de plastificante empleado Baja resistencia a aceites y grasas animales y vegetales Temperatura límite de 70 ºC, en exposición continua No se recomienda aplicar a rodillo Baja resistencia a los hidrocarburos aromáticos y otros disolventes
Vinílicas	Buena resistencia al agua. Muy buena impermeabilidad Combinables con breas, muy impermeables Utilizables en inmersión (especialmente breas vinílicas) Muy buena resistencia química Buena adherencia al sustrato Buena adherencia entre capas Sin intervalo máximo de repintado Muy buena resistencia a la intemperie Excelente conservación de color y brillo Aplicable en espesores moderadamente elevados por capa, en formulaciones adecuadas Resistente a aceites y grasas minerales, vegetales y animales, así como a disolventes suaves	Precisa muy buena preparación de superficies Precisa plastificante. Muchas de las propiedades de la pintura dependen del tipo de plastificante empleado Baja resistencia a aceites y grasas animales y vegetales Temperatura límite de 70 ºC, en exposición continua No se recomienda aplicar a rodillo Sólo son solubles en disolventes fuertes, del tipo cetónico Formulaciones de bajo contenido en resina sólida, que proporcionan capas finas

PROPIEDADES GENERALES DE LAS PINTURAS DE SECADO FÍSICO

(Fuente: Asociación Española de Técnicos en Pinturas y Afines. Cuadernos de Tecnología de Pinturas.

Para que se mantenga el característico color marrón oscuro de los latones y poder limitar algo la formación de la pátina de óxido se pueden utilizar capas protectoras incoloras. No obstante, factores como el polvo, la manipulación, la humedad y la abrasión, entre otros, pueden hacer que estas capas se debiliten.

Para evitarlo y lograr una verdadera función antioxidante, es fundamental que la pátina o barniz protector reúnan ciertas condiciones.

Ante todo, el barniz debe incluir inhibidores de oxidación del cobre como el Benzotriazole, una marca comercial registrada insoluble en agua, que puede ser agregado a lacas y ceras.

Para aplicar este inhibidor, se disuelven 40 gramos en 3,785 litros (un galón EUA) de agua y se pasa la solución sobre las superficies cuprosas a tratar. Para un efecto más duradero, calentar hasta 60 °C y dejar que se esparza durante dos minutos. Repetir el procedimiento periódicamente.

LIMITACIONES DEL PLOMO TRATAMIENTOS Y PREVENCIÓN

El plomo puede ser atacado por los ácidos clorhídrico y nítrico y por la cal del hormigón y los morteros. En el segundo caso, se puede evitar si se recubre al plomo de fieltros asfálticos.

Los productos de la corrosión del acero también manchan al plomo con unas marcas muy difíciles de limpiar a no ser que se recurra a una solución de fosfato trisódico. En condiciones más complicadas, emplear una solución de ácido nítrico y proceder con lentitud porque produce una erosión de la superficie del plomo.

En ocasiones se pueden encontrar, sobre las superficies del metal, unas manchas blanquecinas en planos verticales o un rayado de color rojizo. Este rojizo es el óxido de plomo que se forma con el contacto con álcalis como la cal o fertilizantes aéreos.

Por su parte, los escurrimientos de plomo corroen el aluminio y depositan una pátina blanquecina sobre el acero inoxidable; puede manchar también al vidrio, al que se debe limpiar con *mineral spirit* o alcohol desnaturalizado.

La mejor aplicación del plomo se hace sobre las superficies horizontales, bien apoyadas; de lo contrario, pueden producirse bucles o arrugas en tanto el metal se expande o contrae. Asimismo, al ser uno de los metales con mayor coeficiente de dilatación, es fundamental que no se restrinja su movimiento (lo que puede ocurrir cuando se aplica en grandes superficies).

LIMITACIONES DEL ZINC TRATAMIENTOS Y PREVENCIÓN

En condiciones adecuadas, el zinc desarrolla una capa de óxido protectora. En cambio, cuando se trata de una atmósfera industrial o de ambientes urbanos con mucha polución o humedad elevada, el dióxido de sulfuro inhibe la formación de esta capa de carbonatos.

En el caso de una cubierta, la capa se forma sobre la superficies de zinc en ambas caras, superior e inferior. La cara inferior debe ser muy bien ventilada para que se seque y no se pique por exceso de humedad.

Usado junto al aluminio, plomo y acero inoxidable, el zinc es el metal débil que decae, a ritmo lento, a medida que se desarrolla la capa de óxido. Pero como el cobre lo corroe rápidamente, se deben evitar los escurrimientos de agua de superficies cuprosas hacia superficies de zinc o acero galvanizado.

El zinc también se ve afectado por restos ácidos del secado del bitumen y por algunos productos ignífugos empleados en la madera.

Por último, hay que señalar que no se recomienda trabajar el zinc ni elaborar juntas en una temperatura ambiente inferior a 10 °C, porque favorece los resquebrajamientos.

PINTURAS DE SECADO QUIMICO

TIPO	PROPIEDADES	LIMITACIONES
Alquídicas Estirenadas Uretanadas Siliconadas	Buena adherencia al sustrato Buena resistencia a la intemperie Buena conservación de color y brillo (según tipo y longitud de aceite) Secaje bastante rápido (según contenido en aceite) Fáciles de aplicar, a brocha, rodillo o pistola. Buena nivelación Tolerantes respecto a la preparación de superficies, especialmente las largas y medias en aceite	Baja impermeabilidad y resistencia al agua Ni utilizables en inmersión o en condiciones de frecuente condensación Baja resistencia química, especialmente a los álcalis (saponificación) Baja resistencia a los disolventes No aplicables en capas de elevado espesor
Epoxy	Excelente resistencia al agua Combinadas con breas dan recubrimientos de brea-epoxy, de muy elevada impermeabilidad Utilizables en inmersión, especialmente las breas-epoxy Excelente resistencia química Buena resistencia a la intemperie Aplicables en espesores por capa muy elevados, en formulaciones adecuadas Excelente resistencia a los disolventes Gran tenacidad, dureza y resistencia a la abrasión y al impacto Resisten temperaturas de hasta 125-150 ºC de exposición continua, según formulaciones Permiten la fabricación de pinturas sin disolventes o con muy bajo contenido de los mismos Permiten la fabricación de pinturas diluibles en agua	Precisan buena preparación de superficie Temperatura mínima de curado: 10 ºC para la mayoría, pero hasta 0 ºC con formulaciones especiales Tienen intervalo máximo de repintado, aunque existen formulaciones especiales “no max” Tendencia a perder el brillo (calear) a la intemperie Tendencia a amarillear Una vida de mezcla limitada Necesidad de dosificar y mezclar correctamente los dos componentes
Poliuretano de dos componentes	Buena resistencia al agua Combinadas con breas dan recubrimientos de brea-poliuretano, de elevada impermeabilidad, utilizables en inmersión Excelente resistencia química Buena adherencia al sustrato Buena adherencia sobre pinturas epoxy Excelente resistencia a la intemperie Excelente conservación de color y brillo (sólo alifáticos) Aplicables en espesores por capa elevados, en formulaciones adecuadas Excelente resistencia a los disolventes Gran dureza y resistencia a la abrasión Resisten temperaturas de hasta 125-150 ºC de exposición continua, según formulaciones Permiten la fabricación de pinturas sin disolventes o con muy bajo contenido de los mismos Curables a partir de los 0 ºC (temperatura mínima de polimerización) o incluso menos Últimamente se están desarrollando tipos emulsionados en agua	Precisan buena preparación de superficie Tienen intervalo máximo de repintado, aunque existen formulaciones especiales “nomax” Dos componentes, con una vida de mezcla limitada Sensibles a la humedad ambiental elevada
Siliconas	Resistencia a temperaturas elevadas, de hasta 600 ºC si se pigmentan con aluminio Buena resistencia al agua Buena resistencia química Buena resistencia a la intemperie Buena retención de brillo y color Resistencia a las salpicaduras de aceites y grasas vegetales, animales y minerales	Aunque secan inicialmente a temperatura ambiente por evaporación del disolvente, requieren elevadas temperaturas (200 ºC o más) durante una o dos horas para curar completamente y conseguir desarrollar todas sus propiedades Pobre resistencia mecánica (abrasión, impacto, etc.) Pobre resistencia a los disolventes antes del curado completo

PROPIEDADES GENERALES DE LAS PINTURAS DE SECADO QUÍMICO

(Fuente: Asociación Española de Técnicos en Pinturas y Afines. Cuadernos de Tecnología de Pinturas.

EL TITANIO Y SU CUIDADO

El titanio, con gran afinidad por el oxígeno, cuenta con una capa de óxido muy resistente que se forma sobre su superficie y lo protege.

Esta capa tiene menos de 10 μ de espesor.

Los ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico diluidos afectan poco al titanio, pero el ácido fluorhídrico lo corroe inmediatamente.

Desde el punto de vista del diseño, debe prestarse atención a la corrosión galvánica por contacto con otros metales.

De esta manera hay que aislar al titanio, que puede corroer al acero y al aluminio, mediante barreras y recubrimientos (varias capas de pintura, siliconas, caucho).

C. LA APLICACIÓN DE PINTURAS

Tal como indicáramos para el tema de soldadura, el tema que aquí tratamos sobre pintura se restringe, principalmente, al ámbito de los metales ferrosos.

Por las mismas razones antes expuestas, son estas piezas las que se pintan, se mantienen y se reparan in situ, ya que la aplicación de pinturas sobre los otros metales se suele realizar en el taller bajo condiciones muy controladas, y por lo tanto, muy previsibles.

En este punto estudiaremos la composición, el funcionamiento y los requerimientos para que un sistema de pintura alcance su finalidad protectora.

Éste es el sistema más utilizado en la protección del acero estructural. Ha sido investigado y desarrollado en profundidad, con lo cual, existen metodologías muy precisas en su uso y aplicación.

1. DEFINICIONES

Un sistema de pintura suele estar formado por pinturas de una misma química (alquídicas y epoxis, por ejemplo), con distinta estructura o composición de fórmula en función de lo que se espera de cada capa para que el conjunto sea lo más eficaz y duradero posible.

El sistema también puede ser mixto, para combinar las mejores propiedades de cada tipo de ligante en unas capas u otras. Sin embargo, por lo general está compuesto por:

- **IMPRIMACIONES.**
- **CAPAS INTERMEDIAS**
- **CAPAS GRUESAS.**
- **ACABADOS.**

Debido a que la formación de óxido depende, en gran parte, de la humedad relativa y las sustancias agresivas de la atmósfera, la protección pasiva (simples acabados) debe hacerse mediante un recubrimiento uniforme que impida el contacto del oxígeno con el metal. La más mínima fisura permite la oxidación que se irá esparciendo. Por lo tanto, esta única protección no es suficiente.

La protección activa se consigue cuando el recubrimiento contiene metales que son atacados por el oxígeno más lentamente que el hierro.

Más impermeables	Breas Epoxy
	Epoxy
	Brea Vinílica
	Vinílicas
	Clorocaucho
	Bituminosas
	Acrílicas
	Alquídicas
Menos impermeables	Aceites

CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS SEGÚN SU IMPERMEABILIDAD

Se trata del plomo en forma de óxido de alta toxicidad, el zinc en forma de cromado o el cadmio en forma de revestimientos metálicos. A largo plazo, sin embargo, esta capacidad protectora del metal se agota.

Un sistema durable, entonces, implica una o más capas de fuentes de protección activa y una o más capas de recubrimiento, que constituyen el último acabado.

Las pinturas de fondo sobre piezas de exterior deben tener un grueso mínimo de 80 μ; se aplican en una o dos capas con especial atención en cantos y esquinas. Al interior basta con un grueso de 40 μ.

Tras el montaje se reparan los daños producidos durante el transporte y la manipulación y se pintan los tornillos que no tengan protección anticorrosiva.

Las pinturas de recubrimiento deben tener componentes compatibles con aquellos de las capas de fondo y se aplican sobre la obra acabada en una o dos capas, con gruesos de 30 a 50 μ cada una, en tiempo seco y a temperaturas entre 5 y 50 ºC.

Los revestimientos de pintura suelen encontrarse, en la práctica, intactos y perfectamente adheridos, intactos pero ampollados o bien dañados mecánicamente.

Finalmente se aconseja, dentro de un sistema de pintura, recurrir a las imprimaciones anticorrosivas a fin de:

- **PREVENIR LA CORROSIÓN** bajo la película de pintura, compensando su permeabilidad.
- **PROTEGER AL SUBSTRATO** en los puntos donde se hayan producido roturas en la película de pintura.
- **IMPEDIR LA EXTENSIÓN DE LA CORROSIÓN** a partir de las zonas dañadas.

2. COMPONENTES DE LAS PINTURAS

Las pinturas que se aplican sobre acero se suelen dividir en dos clases. Por un lado están las **PINTURAS NO PIGMENTADAS** o vehículos (barnices, lacas y aceites secantes) y por el otro los **rECUBRIMIENTOS PIGMENTADOS** (imprimadores y capas de acabado).

Las pinturas pigmentadas se emplean en sistemas de secado al aire o estufa a temperaturas moderadas. Las lacas son mezclas de nitrocelulosa con otro tipo de resinas, plastificantes y disolventes volátiles. Los vehículos, empleados para proteger el acero estructural, consisten en aceites secantes y barnices (combinación de una resina y un aceite secante).

TIPO DE PINTURA	AMBIENTES			
	C2 Suaves	C3 Medios	C4 Agresivos	C5 Muy agresivos
Alquídicas	Adecuado	Adecuado	Adecuado	No recomendable
Bituminosas	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Epoxiéster	Adecuado	Adecuado	Adecuado	No recomendable
Clorocaucho	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Acrílicas	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Vinílicas	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Epoxy	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Brea-Epoxy	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Poliuretanos	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Silicatos de zinc sin recubrir	Adecuado	Adecuado	Adecuado	No recomendable
Silicatos de zinc recubiertos	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado

IDONEIDAD DE DIFERENTES TIPOS DE PINTURAS A LOS AMBIENTES AGRESIVOS

(Fuente: Asociación Española de Técnicos de Pintura).

Desde el punto de vista de su uso en el campo de las pinturas, los aceites más importantes son:

- **ACEITE DE LINAZA.**
- **ACEITE DE TUNG.**
- **ACEITE DE PESCADO.**
- **ACEITE DE OITÍCICA.**
- **ACEITE DE RICINO.**
- **ACEITE DE SOJA.**
- **«TALL OIL».**
- **ACEITE DE CÁRTAMO.**
- **ACEITE DE COCO.**

Las resinas, por su parte, son aquellas sustancias orgánicas –sólidas o semisólidas– insolubles en agua y con escasa o nula tendencia a cristalizar. Naturales o artificiales, las de mayor utilización en la industria de pinturas son las siguientes:

- **ALQUÍDICAS.**
- **FENÓLICAS.**
- **VINÍLICAS.**
- **EPOXI.**
- **CLOROCAUCHO.**
- **SILICATOS.**
- **RESINAS BITUMINOSAS.**

Con respecto a los pigmentos, hay que señalar que ofrecen numerosas propiedades por las que se los añade a las pinturas. Entre otras, pueden disminuir la permeabilidad de la película, protegerla de los rayos UV y de la humedad, controlar el caleo, aumentar el brillo o la consistencia de la pintura y mejorar sus propiedades de almacenamiento.

Además, tienen un gran poder cubriente y buenas características anticorrosivas.

Se han hecho varias clasificaciones de los pigmentos. Podemos separarlos en naturales o sintéticos, en orgánicos o inorgánicos y en pigmentos con poder cubriente o sin él.

Entre los pigmentos con poder cubriente se encuentran el aluminio, los negros de humo, los verdes de cromo, el óxido de cromo, grafito, óxidos de hierro, el cromato, minio y blanco de plomo, el dióxido de titanio, los compuestos de zinc y el plumbato cálcico.

Y, de los pigmentos sin poder cubriente, los más corrientes son el sulfato de bario, el carbonato de calcio, el silicato magnésico, la mica y el sílice.

Finalmente, se pueden añadir disolventes a una pintura. Estos suelen emplearse porque permiten una fácil aplicación y disuelven las resinas que la componen.

Los disolventes más empleados pueden ser alifáticos o aromáticos, siendo los más conocidos los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, los terpenos, alcoholes, ésteres y cetonas.

3. EL «EFECTO BARRERA»

Los recubrimientos orgánicos se basan en la acción ligante y adherente de las resinas o polímeros, que les permite adherirse a los substratos y retener a los pigmentos que les ofrecen propiedades de color, opacidad, grosor y dureza, así como efectos anticorrosivos.

Las resinas o ligantes puros, sin pigmentos, contienen disolventes para facilitar su aplicación que se evaporan al formarse la película seca.

SISTEMA DE PINTURA	APLICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Sistemas de pintura al aceite	Este tipo de sistema es particularmente apropiado para la protección de estructuras metálicas que hayan de estar expuestas a la intemperie. Sus limitaciones principales radican en su poca resistencia a ambientes químicos, inmersión en agua, condensaciones, atmósferas salinas o muy corrosivas, humedad elevada, temperaturas altas, abrasión y condiciones enterradas. En general se recomienda su utilización en ambientes rurales, urbanos, marinos e industriales medios y en zonas de humedad moderada.
Sistemas de pinturas alquídicas	El sistema se aplica, principalmente, a aceros estructurales expuestos a condiciones atmosféricas industriales, rurales o marinas, así como en zonas de alta humedad. No son adecuadas para ambientes químicos fuertemente corrosivos, inmersión en agua, abrasión severa y estructuras que hayan de permanecer enterradas.
Sistemas de pinturas fenólicas	El sistema de pinturas, es particularmente apropiado para aceros estructurales que hayan de permanecer sumergidos en agua de manera permanente o alternativa; zonas de alta humedad en las que se prevén condensaciones y , para exposición a la intemperie en ambientes químicos de corrosión moderada.
Sistemas de pinturas vinílicas	Es aconsejable para condiciones ambientales muy severas, inmersión en agua dulce e incluso salada, alta humedad y condensaciones. Resisten al fuego y a los ambientes químicos corrosivos, tales como ácidos inorgánicos y sus sales, disolventes alifáticos, alcoholes, aceites y grasas. En cambio son atacadas por disolventes orgánicos aromáticos, cetonas, éteres, ésteres, así como por ácido nítrico fumante, ácido sulfúrico del 98 % y ácido acético.
Sistemas de pinturas ricos en zinc.	Las pinturas de elevado contenido en zinc, representan un gran avance en la protección de superficies metálicas contra la corrosión; vienen a ser un suplemento de la protección galvánica; presentan buena adherencia, resistencia al impacto, aceites, etc. Asimismo, son adecuadas para zonas de humedad elevada, marina y químicas corrosivas. Pueden utilizarse en estructuras que han de permanecer sumergidas en agua dulce y con una capa de acabado adecuada, también resisten cuando se las sumerge en agua salada.

EMPLEO DE LOS SISTEMAS DE PINTURA PARA ACERO

Mientras tanto, van creando o manteniendo pequeños canales o huecos, desde el fondo hacia la superficie, que se van cerrando en la última parte del secado. Se trata de huecos que no permiten el paso de pigmentos o líquidos, pero sí de gases y vapores.

Como la formación de una película seca de resina o ligante depende de su proceso de formación (por evaporación, oxidación, curado químico, radiación o temperatura) y del tamaño de las cadenas de polímeros o prepolímeros, el espacio libre de las redes que se forman depende también de estos factores, lo que puede dar lugar a membranas o redes muy poco permeables a los gases, poco permeables o bastante permeables.

PERMEABILIDAD A LOS GASES

Ningún polímero deja un espacio tan pequeño como para impedir el paso de los gases, por lo que el oxígeno, el vapor de agua y los vapores ácidos siempre acaban por llegar a la interfase entre el metal y un recubrimiento orgánico.

No obstante, sí lo puede frenar –y retrasar considerablemente la corrosión– si permite la llegada a la interfase de menos oxígeno del que se necesita para que las reacciones avancen.

PERMEABILIDAD AL AGUA

Todos los revestimientos orgánicos son permeables al vapor de agua en una medida que depende del grado de reticulación del sistema, el cual varía mucho de unos ligantes a otros.

En consecuencia, si bien los revestimientos orgánicos pueden impedir el acceso de agua líquida a la interfase substrato-revestimiento, no pueden evitar el acceso de vapor que luego se condensa en forma de agua líquida.

PERMEABILIDAD A LOS IONES

Si los iones no pueden circular por la interfase substrato-revestimiento, o lo hacen con dificultad, el circuito eléctrico queda interrumpido o debilitado, ralentizando al flujo de electrones en el seno del metal. De esta forma, la corriente resultante es tan débil que el avance de la corrosión es mínimo.

Por otro lado, cuando en el medio acuoso hay electrolitos (cloruro sódico o sulfato), las reacciones de corrosión se ven reforzadas debido a que:

- **EL ELECTROLITO** facilita el transporte iónico.
- **LA SALINIDAD** favorece la absorción de agua.
- En vez de hidróxido ferroso, se forman **HIDROXICLORUROS** o **SULFATOS COMPLEJOS** (bastante solubles).
- **LA CONCENTRACIÓN UMBRAL** para que un anión oxidante se convierta en pasivante aumenta con la concentración de aniones en el electrolito.
- **LA FORMACIÓN DE NAOH** puede atacar a la capa de óxido de hierro que recubre el acero.

4. LAS CAPAS

A. CAPA INICIAL: IMPRIMACIONES ANTICORROSIVAS

Como ya indicamos anteriormente, se puede complementar el efecto barrera dado por las pinturas de las capas más externas con el uso de imprimaciones anticorrosivas, pensadas para combatir la presencia de agua y oxígeno junto al acero.

En el campo de la industria existen dos tipos:

- **IMPRIMACIONES A BASE DE PIGMENTOS INHIBIDORES DE LAS REACCIONES DE CORROSIÓN:**
  - Pigmentos de plomo.
  - Pigmentos a base de cromatos.
  - Pigmentos a base de molibdatos.
  - Pigmentos a base de boratos.
  - Pigmentos a base de fosfatos.
- **IMPRIMACIONES A BASE DE PIGMENTOS METÁLICOS ADECUADOS PARA LA PROTECCIÓN CATÓDICA DEL ACERO:**
  - Minio de plomo.
  - Cromato de zinc.
  - Tetraoxicromato de zinc.
  - Cromato de estroncio.
  - Sílico-cromato básico de plomo.
  - Molibdatos de calcio, estroncio y zinc.

PRETRATAMIENTO	IMPRIMACIÓN	CAPA INTERMEDIA	CAPA DE ACABADO
Fosfatado en frío	Pintura anticorrosiva de resina 100 % acrílica en vehículo acuoso		Pintura anticorrosiva de resina 100 % acrílica en vehículo acuoso
	Pintura anticorrosiva de óxido de hierro micáceo en vehículo acuoso		Pintura anticorrosiva de óxido de hierro micáceo en vehículo acuoso
	Etch-primer de PVB / cromato de zinc	Pintura 100 % acrílica en vehículo acuoso	Pintura 100 % acrílica en vehículo acuoso
	Imprimación cementífera de base aceite	Pintura alquídica	Pintura alquídica
	Imprimación de ortoplumbato cálcico en base aceite	Pintura oleorresinosa de óxido de hierro micáceo	Pintura oleorresinosa de óxido de hierro micáceo
	Imprimación de epoxi poliamida / cromato	Pintura de acabado de poliuretano	Pintura de acabado de poliuretano
	Capa gruesa de pintura epoxi / óxido de hierro micáceo		Capa gruesa de pintura epoxi / óxido de hierro micáceo
	Pintura de acabado de solución vinílica	Pintura de acabado de solución vinílica	Pintura de acabado de solución vinílica
	Pintura de base epoxi bituminosa	Pintura alquídica	Pintura de base epoxi bituminosa

PINTADO DE ACERO ESTRUCTURAL EN AMBIENTE RURAL, URBANO, INDUSTRIAL Y MARÍTIMO MODERADO

(Fuente: Prontuario del acero galvanizado).

- Plumbato cálcico.
- Fosfatos de zinc.
- Metaborato de bario.

Cada uno de estos pigmentos varía su comportamiento en función de la combinación de cargas, del tipo de resina empleado y del nivel de pigmentación, entre otros factores.

Por esta razón, es difícil afirmar cuál de ellos es el mejor o el más recomendado a menos que se realice una evaluación de las propiedades del producto acabado.

B. CAPAS INTERMEDIAS: LAS GRUESAS

Las capas intermedias, por lo general de aspecto mate o satinado, se aplican luego de la imprimación y antes de las capas de acabado.

No suelen contener pigmentos anticorrosivos y, aunque su función puede variar, en lo que respecta a la protección anticorrosiva se emplean para aumentar el grosor del sistema y dejarlo más impermeable.

Además, al equilibrar las fuerzas de cohesión interna de las películas con las de adherencia a la capa inferior, se pueden evitar las exfoliaciones.

En lugar de los pigmentos anticorrosivos se suelen utilizar pigmentos y extendedores con forma de partícula laminar (óxidos de micáceo y otros), además de los pigmentos y extendedores de forma cúbica que pueden frenar el paso de agua, oxígeno y contaminantes. Por lo demás, las materias primas empleadas en estas capas no difieren tanto de aquellas de las imprimaciones.

C. CAPAS FINALES O DE ACABADO

Es posible clasificarlas en dos grandes grupos, en función del proceso de formación de película del ligante en que se basan:

- **PINTURAS DE SECAJE FÍSICO**: son aquellas pinturas que forman película por un proceso puramente físico: la evaporación de los disolventes y el entrelazado de las macromoléculas del polímero.

  En ellas, las grandes cadenas individuales del polímero mantienen su composición, propiedades y estructura tanto en el estado de materia como en el seno de la pintura líquida o seca.

- **PINTURAS DE SECAJE QUÍMICO**: son aquellas pinturas en las que la formación de película tiene lugar por reacciones químicas de unión entre las macromoléculas de la resina o resinas constituyentes.

  Las reacciones más importantes pueden ser: reacción con el oxígeno presente en el aire y reacción química entre dos componentes.

TIPO DE GALVANIZADO	PREPARACIÓN Y PINTADO			
Galvanizado reciente	Lavar, secar y desengrasar. El acero recientemente galvanizado no tiene grasa, pero es necesario elimina cualquier mancha de grasa que tome durante el transporte, montaje o uso. El método más sencillo es frotar con un paño bien empapado en trementina mineral.	Aplicar un pretratamiento de conversión, normalmente de base fosfato o cromato. Para aplicación en taller se prefiere normalmente el fosfatado. En este caso debe pintarse enseguida.		
Galvanizado con tratamiento de cromatado	El cromatado se aplica preferentemente a la chapa y alambre galvanizados en continuo y, algunas veces, también a los artículos galvanizados después de fabricación, para evitar las manchas por almacenamiento en húmedo.	Consultar con el proveedor del cromatado el sistema de pintado más adecuado o eliminar la capa de cromato y proceder como galvanizado nuevo. El método de eliminar el cromatado varía con el tipo de tratamiento, debiendo consultar al proveedor. Pueden utilizarse mecánicos superficiales.	Aplicar un *etch-primer* a base de polivinil butiral. Favorece la adherencia, y tiene propiedades inhibidoras. No da buen resultado cuando sobre el galvanizado existe ya una capa de cierto grosor de óxido de zinc o cuando la superficie está cromatada. Se comporta bien con la mayoría de las pinturas intermedias y pinturas para la última mano.	
Galvanizado seminuevo	Acero galvanizado expuesto a la intemperie entre 6 y 12 meses.	Lavar, secar y desengrasar.	Aplicar una imprimación de ortoplumbato cálcico, polvo de zinc, óxido de zinc, o plomo metálico. Debe tenerse en cuenta que las pinturas alquídicas no se adhieren bien al orto plumbato cálcico en ambiente marino o simplemente húmedo.	Utilizar pinturas para la capa intermedia de acuerdo con las recomendaciones del proveedor de la imprimación. En algunos casos puede ser necesario utilizar pinturas sintéticas, tales como resinas epoxi, clorocaucho, etc. Estas pinturas se aplican preferentemente sobre superficies fosfatadas o con imprimación de polivinil butiral.
Galvanizado completamente pasivo	Lavar, secar y desengrasar.	Sobre el acero completamente mate no es necesario aplicar tratamientos previos, imprimaciones o pinturas anticorrosivas.		

ESQUEMA GENERAL DE PINTADO DEL ACERO ESTRUCTURAL GALVANIZADO

(Fuente: Prontuario del acero galvanizado).

5. CAMPO DE EMPLEO DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE PINTURAS

El extraordinario uso que se hace del acero ha logrado que se desarrollen ampliamente las posibilidades de protegerlo con pinturas.

En atmósferas rurales el problema de pintado de una estructura de acero es bastante menor, ya que la preparación de superficies es sencilla y por lo general no se precisan pretratamientos.

Lo importante es, ante todo, que la ausencia de una atmósfera contaminante hace posible la utilización de cualquier tipo de pigmentos, incluidos los de plomo.

La diferencia entre ambientes es notable; mientras una pintura aplicada en una atmósfera rural puede durar 12 años, en una industrial no suele superar los 6.

En las atmósferas de tipo industrial es necesario realizar una profunda preparación de la superficie y aplicar anticorrosivos y capas de acabado con resistencia química.

Para concluir con esta clasificación, si se trata de atmósferas marinas el problema de la corrosión es importante. Esto se debe fundamentalmente al agua, que contiene alrededor del 3 % de sal (sobre todo cloruro sódico).

En consecuencia, es imprescindible la protección con pintura, que evitará que se produzca una corrosión electrolítica con efectos desastrosos para la estructura.

En el caso de las estructuras enterradas (por ejemplo tuberías), la corrosión puede deberse a fenómenos galvánicos o a factores como el pH del suelo o la presencia de bacterias. Para evitarla, se suelen escoger sistemas a base de alquitrán, alquitrán-epoxi o epoxi.

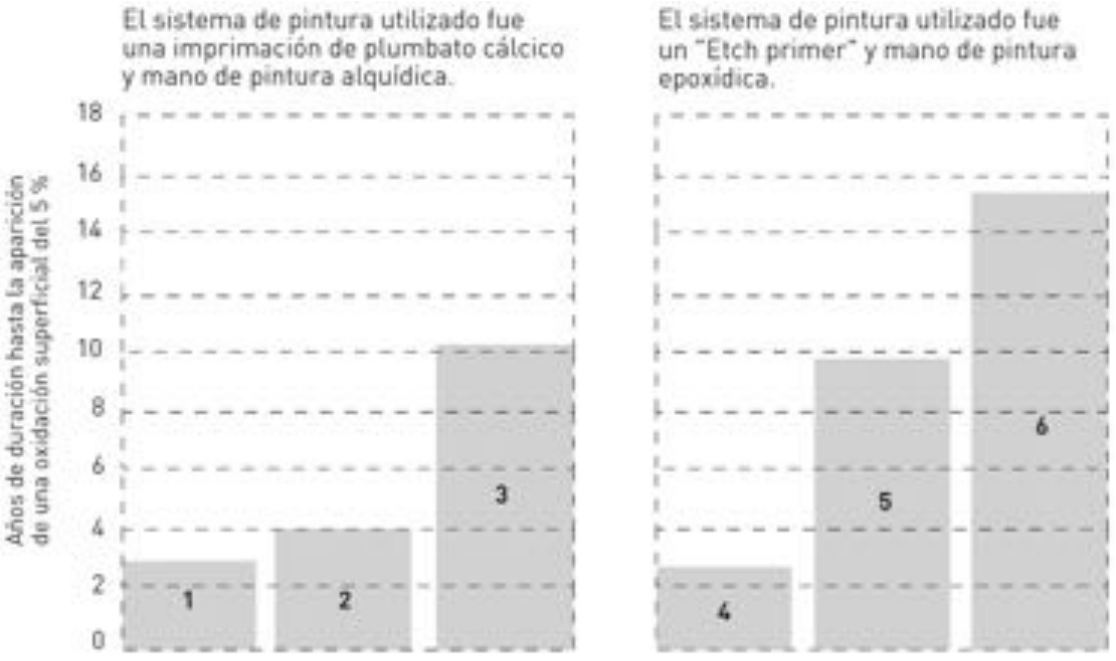
6. ESPECIFICACIONES DE PINTADO

En este apartado hacemos una revisión de los puntos más importantes a tener en cuenta en la selección de un sistema de pintura y las exigencias del mismo. Al seleccionar un sistema de pintado se deben considerar los siguientes factores:

- **MATERIAL A PINTAR Y SU PREPARACIÓN.**
- **AMBIENTE QUE RODEARÁ A LA SUPERFICIE PINTADA.**
- **FUNCIONES Y DURABILIDAD QUE SE ESPERAN DEL RECUBRIMIENTO.**
- **MEDIOS DE APLICACIÓN.**
- **INTERVALOS EN LA APLICACIÓN DE LAS SUCESIVAS CAPAS.**
- **COSTO GLOBAL.**
- **POSIBILIDADES DE MANTENIMIENTO POSTERIOR.**

Tras seleccionar el tipo de pintura, se debe realizar un esquema o especificación de pintado donde se señala:

- **GRADO DE LIMPIEZA Y REPARACIÓN** de la superficie a pintar**.**
- **NÚMERO DE CAPAS** a aplicar**.**
- **TIPO DE PINTURA Y COLOR** para cada una de las capas.
- **ESPESOR DE PELÍCULA SECA** de cada capa.



1. pintura sobre acero en negro **2.** chapa galvanizada en continuo (150 g/m²) **3.** chapa galvanizada más dos manos de pintura **4.** pintura sobre acero negro **5.** acero galvanizado (750 g/m²) **6.** acero galvanizado más dos manos de pintura

Resistencia a la corrosión del acero galvanizado, acero pintado y acero galvanizado y pintado.

- **EL ESPESOR TOTAL DEL SISTEMA**, indicando las tolerancias. Una regla bastante usada es la «80-20»: el 20 % como máximo de las mediciones puede estar por debajo del espesor seco especificado, pero ninguna por debajo del 80 %.

- **INTERVALOS DE REPINTADO** para cada capa en referencia a una determinada temperatura.

- **DILUYENTES** para cada pintura y porcentaje máximo de dilución admitido.

- **TIEMPO DE SECADO** necesario para que la pintura desarrolle todas sus propiedades. En el caso de pinturas que forman película por reacción química es importante indicar el tiempo de curado necesario y la temperatura mínima.

Para la aplicación de pinturas se ha de especificar:

- **EQUIPOS A EMPLEA**r (por ejemplo brocha, rodillo, equipos aerográficos y electrostáticos).

- En determinados tipos de pinturas con pigmentos de gran densidad, **INDICAR SI EL RECIPIENTE QUE LA CONTIENE DEBE ESTAR EQUIPADO CON UN AGITADOR ALTERNATIVO** (oscilante), para mantener el pigmento en suspensión y evitar su centrifugación.

- **TRATAMIENTO DE LA PINTURA ANTES DE LA APLICACIÓN**: verificar que no tenga defectos (pieles, grumos, sedimentos), homogeneizar con agitador neumático o eléctrico y, si se trata de pinturas con dos o más componentes, mezclar como indica el fabricante.

- **MICROCLIMA EXIGIDO PARA LA APLICACIÓN**: temperatura y humedad relativa máxima y mínima del substrato, el ambiente y la pintura.

- **CAUDAL DE VENTILACIÓN** necesario para mantener los vapores de disolventes dentro de los límites aceptados.

7. IMPRIMACIONES ESPECIALES PARA EL ACERO GALVANIZADO

Actualmente existen varios tipos de imprimaciones que pueden ser aplicadas sobre el acero galvanizado sin más tratamiento previo que la limpieza y desengrase de la superficie. Los tipos más empleados son:

- **AUTOIMPRIMACIONES DE VEHÍCULO ACUOSO.**

- **«ETCH PRIMERS».**

- **IMPRIMACIONES CEMENTÍFERAS.**

- **IMPRIMACIONES DE POLVO DE ZINC-ÓXIDO DE ZINC.**

- **IMPRIMACIONES DE PLUMBATO CÁLCICO.**

Después de su fabricación y antes de imprimar, los elementos galvanizados suelen requerir un tratamiento de fosfatación. Esto es así salvo cuando se aplican recubrimientos apropiados de vehículo acuoso.

Por último, se considera que en ningún caso deben aplicarse esmaltes de resinas alquídicas no modificadas (utilizadas para pintura de exteriores) directamente sobre el acero galvanizado sin imprimación.

PREVENCIÓN

Las medidas preventivas, podemos decir, se fueron desarrollando a lo largo de todo el capítulo, con lo cual, este apartado sólo propone un listado breve de precauciones fundamentales.

Estas medidas preventivas, si bien se pueden enumerar, casi todas son deducibles de los tratamientos aplicados a los metales como del proceso de fabricación de cada uno de ellos.

PRECAUCIONES CONTRA LA CORROSIÓN

- **SELECCIONAR LOS METALES** teniendo en cuenta las características del entorno.
- **EVITAR LAS HUMEDADES** y no dejar a los metales en contacto con materiales absorbentes.
- **EVITAR CONTACTOS ENTRE METALES DIFERENTES** con los adecuados aislantes.
- **EVITAR TEMPERATURAS, VELOCIDAD EXCESIVA Y CAMBIOS DE LA FORMA Y TRAZADO DE LAS TUBERÍAS Y CONDUCTOS DE AGUA**. El agua debe ir desde la zona de metales catódicos a la de anódicos. Si se han utilizar dos metales en un mismo sistema, el catódico se coloca contra la corriente y, mientras no se haya formado la capa protectora, dispone de ánodos de sacrificio.

PREVENCIÓN DE FALLOS: CONTROLES DE FABRICACIÓN O RECEPCIÓN

A continuación se presentan algunos de los ensayos más habituales para estimar la resistencia a la corrosión de los recubrimientos protectores.

MEDIDA DE ESPESOR DE LOS REVESTIMIENTOS METÁLICOS Y ORGÁNICOS: Se trata de un parámetro que condiciona el valor protector de los sistemas que, como las pinturas, aíslan el material del ambiente y tienen una durabilidad aproximadamente proporcional a su espesor.

Esta medida puede tomarse por diferentes medios, por ejemplo por corte micrográfico, por la cantidad de corriente empleada en la disolución de un área dada y por métodos magnéticos o eléctricos.

CONTROL DE LA CONTINUIDAD: Es una variable que condiciona la eficacia protectora de pinturas y recubrimientos catódicos, ya que el metal es atacado en las discontinuidades.

Los ensayos más típicos son el de papel poroscópico impregnado de solución de ferro-ferricianuro (para detectar los fallos sobre base férrea) y el que se realiza con gotas de una solución de sulfato de cobre y ácido clorhídrico (para el aluminio anodizado).

CONTROL DE LA ADHERENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS: La adherencia puede determinarse, por ejemplo, mediante ensayos de despegue, limado, rayado de un retículo y ensayos de plegado y choque térmico.

ANEXO: INTRODUCCIÓN A LA PATOLOGÍA DE LAS PINTURAS

La patología de una pintura puede definirse como el deterioro de un sistema de pintura o de un recubrimiento antes de lo esperado en iguales condiciones de servicio.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS FALLOS DE UN RECUBRIMIENTO

Ante todo, recordar que un sistema de pintura no se comporta de la misma manera en un ambiente rural, marino o industrial.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA PINTAR es tal vez la operación de mayor importancia cuando se busca proteger al acero estructural.

Hay que controlar que no se produzcan ***FALLOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO***, que pueden deteriorar a la pintura, sobre todo en períodos de heladas.

Asimismo, ***CUIDAR LA APLICACIÓN PARA EVITAR DEFECTOS***. A modo de ejemplo, basta señalar que una aplicación deficiente puede generar descolgamientos y flujo de pintura y que el uso de brocha puede dar lugar a estrías y a una falta de continuidad y uniformidad en el recubrimiento.

TIPOS DE FALLO

CORROSIÓN Y DISCONTINUIDAD DE LA PELÍCULA: el principal objetivo de un sistema de pintura es impedir la corrosión, que puede ser originada por una discontinuidad que pone en contacto el soporte con la atmósfera (humedad, lluvia, etc.).

FALTA DE ADHERENCIA: permite la aparición de focos de corrosión.

FORMACIÓN DE AMPOLLAS: algunas ampollas se deben al vapor de agua o al disolvente que queda retenido y que al evaporarse levanta la pintura; otras son originadas por productos de la corrosión metálica generados bajo la capa de pintura.

CUARTEAMIENTO: aparición de grietas o fisuras que interrumpen la continuidad de la película de pintura seca sin atravesarla.

AGRIETAMIENTO: grietas o fisuras que dejan al descubierto las capas interiores y hasta el mismo soporte. Puede ser irregular, lineal y sinuoso.

ENYESADO: formación de un polvo proveniente de la descomposición de los vehículos de la pintura. Suele ser el caso de los acabados a base de resinas epoxi.

CORROSIÓN PROVOCADA POR MICROORGANISMOS: conocida también como «corrosión por debajo de la película», se produce en sitios con bastante humedad por organismos tipo micelyum.

DESCONCHADO: se refiere al desprendimiento de pequeños trozos de película de pintura de su soporte. Suele producirse por cuarteamiento y pérdida de adherencia.

BIBLIOGRAFÍA

Architectural Metals. *L. William Zahmer. John Wiley & Sons, Inc. EE.UU., 1995.*

Coneixement bàsic de metalls. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía. Barcelona, 1995.*

Control de la corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas. *González Fernández, J. A. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1989.*

Corrosión y degradación de materiales. *Enrique Otero Huertas. Ed. Síntesis. Madrid, 1997.*

Cuadernos de tecnología de pinturas. Cuaderno IV. Protección anticorrosiva del acero. *Bigú del Blanco-García Castán-Ginestá Baldebey. Asociación Española de Técnicos en Pinturas y Afines. Madrid, 1997.*

Curso de patología. Tomo 2. *AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Defectos de las capas de pintura. *Manfred Hess. Blume. Barcelona, 1973.*

Introducció a la ciència dels materials de construcció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8,31. Barcelona, 1995.*

La protección con pintura del acero estructural. *Ortega López de Prado-Blanco Fernández-Cuevas González. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid, 1996.*

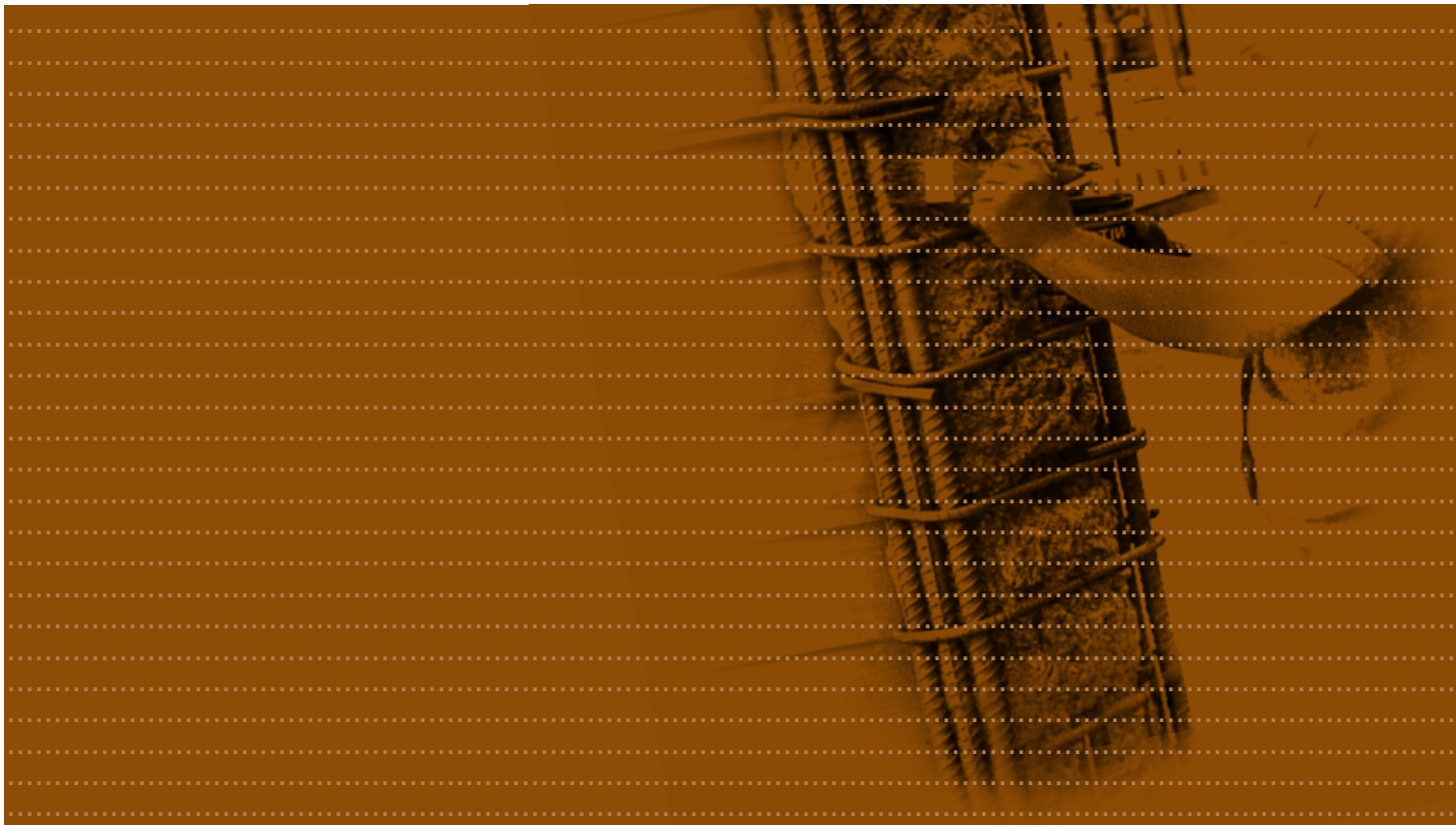
La seguridad de las estructuras de acero ante el incendio. *Jesús Ortiz Herrera-Julia Villa Celino-Elías Llamazares de la Puente. ENSIDESA. Oviedo, 1989.*

Manual de la pintura en la construcción (3º Ed.). *Juan García Castán. ANSPI. Federación Nacional de Empresarios Pintores. Barcelona, 1996.*

Manual de soldadura. *Koellhoffer y otros. LIMUSA. México.*

Prontuario del acero galvanizado. *AA.VV. Asociación Técnica Española de Galvanización. Madrid.*

Recomanacions per al reconeixement , la diagnosi i la terapia de sostres unidireccionals construits amb viguetes metal.liques. *Coord. Rafael Bellmunt i Ribas-María Pía Mónaco. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1993.*



PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

CAUSAS DE ALTERACIÓN.....117
INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSIS.....167
TRATAMIENTO DE LOS ELEMENTOS
DEL HORMIGÓN 183

PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN 117

PATOLOGÍAS DERIVADAS DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN 117
(el cemento, los áridos, el agua, los aditivos)

DEFECTOS DERIVADOS DE LA FABRICACIÓN Y EJECUCIÓN DEL HORMIGÓN 130

INFLUENCIA DEL AMBIENTE EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN 141

DESTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN POR AGENTES EXTERNOS 143
(agentes físicos de degradación, agentes químicos de degradación)

PATOLOGÍAS DERIVADAS DE LOS DEFECTOS DEL ACERO 152

INVESTIGACIÓN Y DIAGNOSIS 167

OBSERVACIÓN 168

ESTUDIOS PREVIOS A LA DIAGNOSIS 169

ELABORACIÓN DEL INFORME DIAGNÓSTICO 180

TRATAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN 183

PROTECCIÓN SUPERFICIAL Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN 183

REPARACIÓN DEL HORMIGÓN 190
(reparación de zonas dañadas, materiales de reparación, reparaciones bajo el agua, detener o reducir la corrosión de la armadura)

BIBLIOGRAFÍA 203

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN

Las causas de las alteraciones y las patologías que pueden generarse en el hormigón tienen su origen en una gran diversidad de factores. El conocimiento de estas es fundamental en cualquiera de las etapas de una construcción que emplee hormigón como material. Durante la etapa de proyecto se tendrán en cuenta factores que tengan que ver con criterios generales de diseño, así como con la adecuación a las condiciones del sitio y su ubicación específica. Durante la construcción, el conocimiento de las causas de las alteraciones determinará tanto la ejecución como la elección de los materiales correctos y su dosificación.

Por ultimo, para construcciones existentes, en casos en que se supone el deterioro o que este ya es manifiesto, la deducción y elaboración de un correcto diagnostico y de su consecuente reparación, requerirá un conocimiento exhaustivo de los posibles orígenes y causas de dichas alteraciones. Es posible realizar una clasificación de las causas según su origen:

- **PATOLOGÍAS DERIVADAS DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN.**
- **PATOLOGÍAS DERIVADAS DE LA FABRICACIÓN Y EJECUCIÓN.**
- **INFLUENCIA DEL AMBIENTE.**
- **DETERIORO DEL HORMIGÓN POR AGENTES EXTERNOS:**
  - **QUÍMICOS**
  - **FÍSICOS**
- **PATOLOGÍAS ORIGINADAS POR DEFECTOS Y DETERIORO DEL ACERO**.

Se suele considerar al hormigón como un sistema homogéneo en su composición macroscópica, compacto e inerte con el medio en que se sitúa.

Pero en realidad se trata de un sistema heterogéneo y poroso sometido, en algunas situaciones, a un medio capaz de reaccionar con sus componentes.

En el caso del hormigón armado, juega también como factor fundamental no solo su protección física sino también su composición química, que es la que permite la correcta protección y pasivación de la armadura.

LESIONES DERIVADAS DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

El hormigón se compone de una mezcla íntima de cemento, áridos, agua y eventualmente aditivos. La incorporación del acero le brinda la fibra resistente a la tracción que necesita para ser usado de forma estructural.

Una gran parte de los defectos en las obras de hormigón armado se deben a la poca calidad de los materiales empleados en ella, a los diferentes ambientes a los que pueden estar expuestos o al uso indebido de estos materiales en función del fin buscado.

Los defectos del hormigón están ligados a los defectos de sus componentes, por tanto estos deben cumplir una serie de características, que veremos a continuación, que eviten que se produzcan en él defectos mas o menos graves, a corto o largo plazo.

A. EL CEMENTO

El cemento es el material fundamental del hormigón, ya que condiciona muchos aspectos básicos del mismo. Es el factor que incide directamente en la resistencia, que está en función de la relación agua/cemento. Pero a la vez, su contenido es fundamental para proveer de la protección alcalina que requieren las armaduras incorporadas a los elementos de hormigón armado.

Por tanto, la relación agua/cemento como el contenido en cemento condicionan la resistencia y durabilidad de los elementos de hormigón.

Existen diversos tipos de cemento y es necesario tener en cuenta el nivel de agresividad ambiental en la selección del tipo adecuado. Por ejemplo, se han producido daños en construcciones de hormigón por ataques de sulfatos disueltos en agua. Si bien la mejor condición que puede tener un hormigón para resistir ataques es su compacidad, la no utilización de cementos del tipo adecuado se ha asignado como causa básica de tales daños.

También debemos recalcar la enorme incidencia que tuvo en épocas pasadas la siniestrabilidad de forjados pretensados fabricados a base de hormigones con cementos aluminosos. En la actualidad existen normas que reglamentan el uso de este tipo de cemento de manera muy restrictiva.

Pero es bastante común que en edificaciones de la década de 1940 y 1950, encontremos estructuras fabricadas con ese tipo de cemento, en general en condiciones climáticas o medio ambientales que inciden desfavorablemente en la modificación y deterioro de sus características resistentes.

COMPOSICIÓN Y TIPOS DE CEMENTO

Los cementos empleados en estructuras de hormigón armado son conglomerantes hidráulicos que al mezclarlos con agua fraguan y endurecen. Los cementos se pueden clasificar en:

1. CEMENTOS PÓRTLAND.

2. CEMENTOS PÓRTLAND CON ADICIONES ACTIVAS.

3. CEMENTOS SIDERÚRGICOS.

4. CEMENTOS PUZOLÁNICOS.

5. CEMENTOS COMPUESTOS.

6. CEMENTOS NATURALES.

7. CEMENTO ALUMINOSO.

8. CEMENTO CON PROPIEDADES ADICIONALES.

1. CEMENTO PÓRTLAND

De todos los tipos de cementos es el más utilizado en sus diferentes categorías en estructuras de hormigón armado.

Si bien en situaciones especiales sea conveniente utilizar otros tipos de cementos, como sucede en cimentaciones en terrenos ricos en sulfatos o en estructuras de hormigón armado sometidas a la acción de determinados agentes agresivos.

Estudiaremos los factores que inciden en su patología y por consiguiente que pueden ejercer una acción negativa en los hormigones que se vayan a fabricar con él.

Los defectos en la dosificación, cocción y molienda, las adulteraciones durante su fabricación o posterior a ella, son algunos de los factores que pueden incidir negativamente tanto en la resistencia como en la estabilidad del cemento y los hormigones con él fabricados.

La mala conservación o un mal empleo del cemento en la fabricación del hormigón se presentan como otros de los factores que inciden en sus defectos.

La fabricación del cemento Pórtland se basa en una mezcla íntima de calizas y arcillas u otros materiales por medio de la calcinación de dicha mezcla hasta la sintetización. Luego se procede a la molienda del producto resultante con una pequeña adición de yeso con un grado de finura elevado.

Podemos dividir su composición en componentes principales o activos y componentes secundarios. Los primeros son los que contribuyen favorablemente a obtener las cualidades necesarias para los fines buscados, y los secundarios los que se busca limitar por los efectos desfavorables que producen en los hormigones y morteros.

COMPONENTES PRINCIPALES son los siguientes:

- **SILICATO TRICÁLCICO.**
- **SILICATO BICÁLCICO.**
- **ALUMINATO TRICÁLCICO.**
- **FERRITO ALUMINATO TETRACÁLCICO.**

COMPONENTES SECUNDARIOS son:

- **CAL LIBRE**
- **MAGNESIA LIBRE**
- **SULFATO**
- **ÁLCALIS**

Los componentes principales son los que le otorgan al cemento sus cualidades técnicas características. A los silicatos se le puede atribuir la resistencia mecánica del cemento.

Es al silicato tricálcico al que se le atribuye la resistencia inicial. Si bien ambos silicatos adquieren con el tiempo al hidratarse las mismas resistencias, poseen sin embargo curvas de endurecimiento distintas.

Los otros dos componentes principales (aluminato tricálcico y ferrito aluminato tetracálcico) no participan de manera importante en la resistencia del cemento.

El aluminato acelera el endurecimiento del cemento en las primeras horas, pero su presencia es muy negativa para la durabilidad del hormigón, debido a que es fácilmente atacable por los sulfatos.

FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO **DEL CEMENTO:** y por lo tanto del hormigón guarda una relación directa con su composición. Los primeros que reaccionan con el agua durante la fase de fraguado son los aluminatos y posteriormente los silicatos.

«***FALSO FRAGUADO***»: es un efecto patológico que se puede presentar en esta fase y consiste en un apelotonamiento de la pasta durante los primeros cinco minutos una vez comenzado el amasado.

La causa mas común para que se produzca este efecto es la deshidratación parcial del yeso, producto de un exceso de temperatura durante la molienda del cemento. El falso fraguado suele inducir a incrementar la proporción de agua, lo que generará problemas de baja resistencia y retracción.

ENDURECIMIENTO: es una fase diferente a la del fraguado y se caracteriza por el progresivo desarrollo de las resistencias mecánicas. Cada componente actúa en tiempos y proporciones diferentes, así el aluminato tricálcico tiene un desarrollo rápido pero de corta duración (entre los primeros 7 a 28 días). El silicato tricálcico provee resistencias iniciales muy importantes y duraderas durante bastante tiempo.

El silicato bicálcico tiene una contribución también fundamental a las resistencias, débil al principio pero con la misma importancia que el tricálcico a partir de los veintiocho días.

Por ultimo el ferrito aluminato tetracálcico tiene una incidencia débil y poco definida en relación al desarrollo de las resistencias.

Cada componente tiene una proporción de incidencia en la cantidad de temperatura que desarrolle el «***CALOR DE HIDRATACIÓN***».

Para una cantidad de calor determinada a liberar por el aluminato tricálcico, el silicato tricálcico libera la mitad, mientras que el silicato bicálcico un cuarto, el ferrito aluminato tetracálcico estaría entre ambos silicatos.

Es importante conocer las proporciones relativas y así poder saber la temperatura que puede alcanzar la masa de hormigón a fin de evitar una retracción de importancia tal que pueda generar fisuración.

La resistencia a los ciclos hielo-deshielo depende en gran medida de la proporción de aluminato tricálcico, disminuyendo al aumentar la proporción de este componente.

Los componentes secundarios, a diferencia de los principales, son inestables después de hidratados. Esto quiere decir que al hidratarse dan productos pulverulentos con marcada expansión y con los consiguientes efectos destructivos sobre el hormigón.

La cal libre al hidratarse es expansiva, dando lugar a la formación de fisuras superficiales en el hormigón o incluso al debilitamiento y destrucción del mismo. A la vez la cal liberada en la hidratación es atacable por aguas puras, ácidas y carbonatadas. En consecuencia, los cementos ricos en cal no solo son inestables, también son poco durables.

La magnesia también es expansiva, pero más a largo plazo, y la cantidad máxima tolerada en un cemento Portland es del 5 por 100.

Los álcalis del cemento pueden tener reacciones con algunos áridos de naturaleza silícea afectando la durabilidad. La expansión de los mismos produce baja adherencia entre los áridos y la pasta, pudiendo debilitar e incluso destruir al hormigón. Contando con áridos de naturaleza silícea hay que usar cementos con bajo contenido en álcalis.

Aparte de los efectos dañinos producto de la expansión, los álcalis pueden ser peligrosos por producir eflorescencias, acelerar el fraguado del cemento, aumentar la retracción hidráulica y poder corroer determinados vidrios puestos en contacto con el hormigón.

La clasificación del cemento Pórtland se realiza según su resistencia a la compresión mínima en kg/cm² a 28 días, determinado en probetas.

Se clasifican en las siguientes categorías:

- P-350
- P-450
- P-550

2. CEMENTO PÓRTLAND CON ADICIONES ACTIVAS

Están compuestos por clinker de cemento Pórtland y regulador de fraguado en un 80 % del peso, como mínimo, y un máximo de 20 % de escoria o puzolana. Según su resistencia a la compresión mínima en kg/cm² a 28 días, determinado en probetas, se clasifican en las siguientes categorías:

- PA-350
- PA-450
- PA-550

Las adiciones son productos que aportan alguna cualidad positiva adicional. Algunas escorias siderúrgicas poseen propiedades hidráulicas, así como las puzolanas son productos naturales que al fijar la cal en presencia de agua forman compuestos con propiedades hidráulicas.

3. CEMENTOS SIDERÚRGICOS

Igual a los anteriores pero formados por clinker de cemento Pórtland y regulador de fraguado entre un 20 y 80 % y escoria siderúrgica en la proporción restante, con un 20 % como minimo.

4. CEMENTOS PUZOLÁNICOS

Formados por clinker de cemento Pórtland y regulador de fraguado máximo en un 80 % y puzolana en una proporción mínima del 20 %. Se distinguen las clases PUZ-I con contenido de puzolana natural sin cenizas volantes y PUZ-II con contenido de cenizas volantes.

5. CEMENTOS COMPUESTOS

Compuestos por clinker Pórtland y regulador de fraguado en una proporción mínima del 65 % de peso y adiciones inerte en proporción restante. Este tipo de cemento no es apto para estructuras resistentes de hormigón.

6. CEMENTOS NATURALES

Se obtienen de la molturación de clinker de cemento natural. Se clasifican según su resistencia a los 28 días determinada en probetas normalizadas en cementos naturales lentos NL-30 y NL-80 y el cemento natural rápido NR-20.



Colores hormigón.

TIPO	CLASE	CATEGORIA	DESIGNACIÓN
Pórtland		350	P-350
		450	P-450
		550	P-550
Pórtland con adiciones activas		350	PA-350
		450	PA-450
		550	PA-550
Siderúrgico	I	350	S-I-350
		450	S-I-450
	II	350	S-II-350
	III	250	S-III-250
		350	S-III-350
Puzolánico	I	250	PUZ-I-250
		350	PUZ-I-350
		450	PUZ-I-450
	II	250	PUZ-II-250
		350	PUZ-II-350
		450	PUZ-II-450
Compuesto		200	C-200
Aluminoso		550	A-550
Natural	Lento	30	NL-30
		80	NL-80
	Rápido	20	NR-20

CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS
(Fuente: "Patologías y terapéuticas del hormigón armado").

7. CEMENTO ALUMINOSO

Se obtiene de la molturación de clinker aluminoso y por lo tanto es un cemento totalmente distinto a los obtenidos a base de clinker Pórtland en lo que se refiere a materias primas, fabricación y propiedades.

8. CEMENTO CON PROPIEDADES ADICIONALES

Son cementos que además de cumplir con las cualidades exigidas a los de su tipo y categoría poseen propiedades adicionales:

CEMENTO PÓRTLAND DE ALTA RESISTENCIA INICIAL. Como mínimo se considera una resistencia de 250 kg/cm^2 a las 48 horas.Se clasifican en:

- P-350 ARI
- P-450 ARI
- P-550 ARI

CEMENTO PÓRTLAND RESISTENTE A LOS YESOS. Poseen gran resistencia al yeso aun cuando no resistan a otros sulfatos.

Se clasifican en:

- P-350 Y
- P-450 Y
- P-550 Y

CEMENTOS DE BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN. Son los que dan un calor de hidratación a los 7 días de 65 cal/g y a los 28 de 75 cal/g.

Su nomenclatura es P-350 BC

CEMENTOS BLANCOS. Como mínimo un 70 % de blancura, medida en su reflectancia luminosa direccional, tomando como factor de referencia el que corresponde al óxido de magnesio en polvo.

Se clasifican en:

- P-350 B

- P-450 B

- P-550 B

La dosificación de referencia es necesaria pero no siempre nos indica cuál es la dosificación óptima que dependerá de las condiciones y cualidades que se le vaya a exigir al hormigón.

En general estas cualidades están ligadas en gran medida de la dosificación del cemento.

El aumento de esta sobre la dosificación de referencia conlleva un aumento proporcional sobre la protección de la armadura. Así como mayor adherencia y un ligero aumento de la retracción hidráulica.

También, si aumentamos la dosificación del cemento en relación a la referencia obtendremos mayores resistencias mecánicas.

Esta mejora no será lineal sino en función de una curva decreciente hasta alcanzar los 420 kg/m^3 a partir del cual deja de aumentar la resistencia.

Un correcto almacenamiento es fundamental para que el cemento conserve sus cualidades y evitar así alteraciones en los hormigones con ellos fabricados.

Un local adecuado para la conservación del cemento debe estar completamente seco y con pavimento de madera. Deben evitarse las corrientes de aire especialmente si este es húmedo.

B. LOS ÁRIDOS

Los áridos empleados en la fabricación de hormigón condicionan su durabilidad y resistencia. Los aspectos fundamentales a tener en cuenta son ciertas cualidades de composición de los finos, la granulometría y la compacidad.

Los áridos utilizados en el hormigón no deben ser activos en contacto con el cemento. A la vez deben mantenerse estables a la acción de los agentes externos con los que va a estar relacionado.

El contenido de sustancias como limos, arcillas, materia orgánica, entre otros, puede ser nocivo ya que limitan su adherencia a la pasta de cemento y debilitan las reacciones de fraguado y endurecimiento del hormigón.

En la fabricación de hormigón pueden utilizarse arenas y gravas procedentes de yacimientos naturales, así como rocas machacadas, escorias siderúrgicas u otros materiales si su empleo se encuentra avalado por la práctica o si se han realizado los correspondientes ensayos en laboratorio.

Las escorias siderúrgicas como árido fino son aptas para su uso si se comprueba previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. No deben emplearse áridos procedentes de rocas blandas, friables o porosas, ni aquellos otros que contengan nódulos de pirita, yeso o compuestos ferrosos.

Algunos áridos pueden reaccionar con el cemento generando productos expansivos que crean tensiones internas en la masa del hormigón y que afectan su resistencia mecánica y durabilidad.

Entre los áridos que provocan estos efectos nocivos encontramos algunas variables de ***CUARZO AMORFO***, tales como ópalos, cristobalitas, andesitas, tridimitas, que al combinarse con los álcalis del cemento producen compuestos de mayor volumen que destruyen al hormigón.

Los compuestos de ***AZUFRE COMBINADOS*** con agua pueden dar lugar también a la formación de sulfoaluminatos expansivos. No es exclusivamente necesario que el agua sea líquida, basta con el agua de interposición, o incluso con una humedad ambiental abundante.

La presencia de arcilla en los áridos es un factor frecuente en los defectos de los hormigones. Al no tratarse de una lesión que tarde en manifestarse se suelen adoptar medidas inmediatas para su resolución, que la hacen pasar más desapercibida.

Su presencia se debe, en general, a la falta de limpieza en explotaciones de mina o rio. Su efecto más inmediato es la irregularidad que introduce en la calidad de los hormigones y que genera, también, problemas de reconocimiento en los ensayos de control.

LAS PIRITAS Y OTROS SULFUROS EN CONTACTO CON LA ATMÓSFERA pueden oxidarse dando sulfatos que reaccionarán con el aluminato tricálcico del cemento, produciendo ettringita expansiva. En la fabricación del cemento, se adiciona yeso al clinker en el molino. Este yeso añadido reacciona antes de las 24 horas con parte del aluminato tricálcico dando ettringita.

La otra parte del aluminato queda libre para reaccionar, si posteriormente encuentra sulfatos.

Estos pueden aparecer en los áridos, o bien en las aguas con las que va a estar en contacto el hormigón, dando lugar a la producción de más ettringita, que es expansiva.

Esto se traducirá en grietas, fisuras y en definitiva desintegración del hormigón, ya que se dá en una fase en que el hormigón está endurecido.

Las tres variedades de piritas del hierro son:

- **MARCASITA**: de color amarillo verdoso y no debe emplearse como árido debido a que es muy atacable por los agentes atmosféricos.

- **PIRROTITA**: se diferencia de las otras variedades en que es magnética y es inaceptable como árido por ser poco estable frente a los agentes atmosféricos.

- **PIRITA AMARILLA**: es conveniente no emplearla. Si bien podría ser buen árido posee defectos en su estructura y suele venir acompañada de impurezas.

En muchas construcciones se ha empleado piritas como árido, dando en general muy mal resultado. Toda la bibliografía existente coincide en que las piritas no deben emplearse como áridos en hormigones.

La resistencia de un hormigón tiene una relación directa con la ***COMPACIDAD*** del árido utilizado en su fabricación. Esta es la relación entre el volumen real y el aparente del mismo.

A mayor compacidad menor será el volumen de huecos y por consiguiente menor será también la cantidad de pasta de cemento a emplear, con lo cual el hormigón resultará más económico. Por otra parte, a mayor compacidad de los áridos mayor será la durabilidad o salud del hormigón a lo largo del tiempo. Por lo tanto esta propiedad es fundamental en los hormigones y en los áridos que entran en su composición.

GRANULOMETRÍA de los áridos con los que se fabrica el hormigón: es una variable muy importante. Una granulometría incorrecta puede generar falta de compacidad en el hormigón.

En la practica esto se suele resolver de dos formas. La primera es completando la granulometría con cemento. Este uso del cemento implica que se estaría utilizando el conglomerante para una mera misión de relleno. Al no ser este el uso adecuado del cemento, esta practica lo que hace es aumentar los costos del hormigón y producir temperaturas de hidratación mas elevadas, con los consiguientes problemas que esto puede acarrear.

La otra forma que se suele usar para tratar de solucionar la incorrecta granulometría de los áridos es aplicando una compactación más enérgica. De esta manera lo que se consigue es una superficie vista lisa, dando aspecto de mayor compacidad.

Esta superficie no es otra cosa que una delgada capa de mortero que se ha obtenido del interior del hormigón, donde se agudiza la falta de compacidad y que genera a la vez deshomogeneización en la masa del hormigón.

La forma del árido grueso tiene una incidencia muy marcada en la calidad del hormigón. A la relación entre el volumen de un grano y el volumen de la esfera en la que se circunscribe se le llama ***COEFICIENTE DE FORMA***. Este no debe ser inferior a 0,15. Si el árido tuviese un coeficiente de forma inferior a este valor habrá que realizar ensayos antes de decidirse por su aceptación. Así como la forma del árido es importante, también lo es su densidad.

De forma general puede decirse que la densidad de un árido tiene relación directa con su calidad. Una densidad baja indica áridos porosos y poco resistentes.

Los áridos tienen una influencia muy grande en las propiedades del hormigón, ya que en proporción ocupan entre el 70 y el 80 por 100 del volumen del mismo. Un problema importante en los áridos es el que se relaciona con los finos. Las fracciones de tamaño inferior a 0,08 mm son perniciosas para el hormigón, (especialmente las que tienen una finura comparable a la del cemento).



Dos áridos no convencionales (cenizas de combustión de lodos y pellets de secado térmico de lodos) y un árido común bajo el microscopio (10 y 100 micras).

Estos gránulos al interponerse entre los del cemento debilitan la pasta hidratada creando discontinuidades y perjudicando la adherencia entre la pasta cementante por un lado y los áridos gruesos y las armaduras por otro.

Al tener una superficie especifica grande, necesitan mucha agua para su mojado, provocando que el cemento se hidrate incompletamente y en consecuencia, debilitando al hormigón.

Para evitar que se debilite el hormigón, se suele recurrir a aumentar la relación agua/cemento a fin de conseguir la misma docilidad.

De esta manera, debido al exceso de agua,se disminuyen las resistencias mecánicas y se producen efectos patológicos debidos a la mayor retracción y mayor porosidad de estos hormigones que puede acelerar la destrucción de los mismos en ambientes agresivos.

Por otro lado el exceso de agua que no se ha combinado químicamente con el cemento tiene que salir de la masa que fragua.

Al hacerlo va dejando poros y capilares que hacen al hormigón tanto más permeable cuanto mayor sea la cantidad de agua que tenga que eliminar.

C. EL AGUA

Los defectos relacionados con el agua como componente del hormigón pueden ser originados por dos causas diferentes.

La primera causa es la utilización de aguas no potables o que contengan impurezas, que pueden originar problemas a corto y largo plazo, la segunda tiene que ver con la dosificación y es el empleo de altas relaciones agua/cemento en el amasado.

Dentro de la primer causa mencionada cabe diferenciar si el hormigón es en masa o armado. Los efectos patológicos producidos en el hormigón en masa por aguas que contienen impurezas, dentro de ciertos límites, no son relevantes, y puede que no aparezcan.

No sucede lo mismo con el hormigón armado, donde la existencia de cloruros puede dar lugar a importantes corrosiones de armaduras aparte de manchas y eflorescencias superficiales. El empleo de aguas no adecuadas en el curado de los hormigones resulta más perjudicial todavía que en el amasado.

Las aguas deben analizarse cuando existan dudas sobre su buen comportamiento y en el caso de que no se tengan antecedentes de su utilización. Las normas establecen una serie de condiciones exigibles al agua, limitando por ejemplo su pH, las sustancias disueltas, contenidos en sulfatos, ión cloro, hidratos de carbono y sustancias solubles.

AGUAS DE MAR: pueden emplearse para el amasado de hormigones en masa, pero se ha de considerar su efecto negativo en la disminución de la resistencia, que puede llegar a ser del 15 % aproximadamente. La utilización de aguas de mar puede producir manchas y eflorescencias en las superficies vistas del hormigón. El agua de mar no debe emplearse jamás en hormigón pretensado ni con cemento aluminoso.

El límite para el contenido de ión cloro en el agua se estipula en hasta 6 gramos por litro como máximo. Para el hormigón en masa no habría inconveniente en aumentar esta cifra hasta 20 g/l, para el hormigón pretensado se debe rebajar a 0,25 g/l debido al mayor riesgo de corrosión que plantean las armaduras pretensadas.

La utilización en hormigón armado de aguas con ión cloro en cantidad superior a los 6 g/l puede dar lugar a corrosiones importantes en las armaduras. Esto hace que disminuya la resistencia de las armaduras, pero también, al ser el óxido formado expansivo, creará en el hormigón fisuras, grietas y pérdidas de la capa de recubrimiento.

SULFATOS: pueden tener un efecto doble afectando por un lado al propio hormigón, y por otra, a las armaduras. Los sulfatos contenidos en el agua reaccionan con el aluminato tricálcico del cemento dando lugar a ettringita expansiva (sulfoaluminato tetracálcico hidratado, también conocido como «sal de Candlot» o bacilo Michaelis).

La expansión de la ettringita produce fisuración, hinchazón y desprendimiento progresivo del hormigón.

En el caso de que el cemento a emplear sea pobre en aluminato, por ejemplo un cemento Pórtland resistente al yeso, la limitación dada para el contenido máximo de ión sulfato puede elevarse a 5 gramos por litro. El ataque que producen los sulfatos a las armaduras supone la destrucción de su caja de pasivación seguida de una rápida corrosión también expansiva.

HIDRATOS DE CARBONO: pueden impedir el fraguado del hormigón aún en pequeñas cantidades. No deberán emplearse las aguas procedentes de azucareras o que hayan estado en contacto con azúcares, glucosas u otros hidratos de carbono.

Es poco frecuente en la actualidad la utilización de ***AGUAS SELENITOSAS*** en el amasado del hormigón. Los ataques por aguas selenitosas suelen provenir de subsuelos en contacto con cimentaciones.

Pigmentos inapropiados. la coloración pedida e intensidad de tono no son los deseados

Pigmentación no uniforme: pigmentos mal conservados o humedecidos

Mezcla de pigmentos diferentes no compatibles

Introducción equívoca del pigmento en el hormigón

Variación de los componentes del hormigón

Relación agua/cemento inadecuada

Variaciones en el proceso de ejecución

Juntas de hormigonado no controladas

Variaciones de color por encofrado inadecuado

Uso de desencofrante no apropiado

Eflorescencias no controladas

Ausencia de tratamientos superficiales posteriores

INCONVENIENTES MÁS HABITUALES RELACIONADOS CON EL USO DE COLORANTES EN EL HORMIGÓN

D. LOS ADITIVOS

Los aditivos, considerados el cuarto componente del hormigón, son productos añadidos en el momento de su elaboración. Su finalidad es modificar ciertas propiedades del mismo de forma positiva, tanto en estado fresco como una vez fraguado y endurecido.

A diferencia de los otros componentes del hormigón, para los aditivos no existen normas o especificaciones que prescriban las cualidades que deben poseer estos materiales, por lo que depende en gran medida de la confianza en la calidad que garantice cada fabricante.

Los controles durante su fabricación y la uniformidad en su composición son esenciales, ya que los efectos de los aditivos deben ser los mismos en la totalidad de la masa del hormigón.

Es fundamental utilizar los mismos en las proporciones indicadas, ya que en general no modifican las cualidades del hormigón de manera proporcional a la cantidad empleada. Los aditivos precisan por tanto, un uso no indiscriminado.

El empleo de aditivos debe hacerse cuando realmente sea preciso y después de haber realizado ensayos previos con las dosis recomendadas para el caso concreto del hormigón que se vaya a utilizar.

Podemos concluir entonces que los defectos del hormigón atribuibles a los aditivos pueden provenir de:

- **DEFICIENCIA EN LA FABRICACIÓN.**
- **EMPLEO INADECUADO.**
- **SOBREDOSIFICACION O DOSIFICACIÓN INSUFICIENTE.**

Para la primera opción sólo cabe advertir sobre la elección del fabricante y la constatación de que se hayan realizado los estudios y las investigaciones que garanticen la calidad anunciada.

El empleo adecuado dependerá primeramente de la elección correcta del aditivo. La variedad existente en el mercado es muy grande y varia según cada indicación. Por lo tanto es importante conocer cual es el fin buscado en la utilización del mismo.

Pero también es preciso conocer cuales son las contraindicaciones y los efectos secundarios, ya que estos pueden tener una relevancia tal que finalmente sea conveniente no usar el aditivo.

Es ese el caso por ejemplo de los acelerantes, si en su composición contienen cloruro cálcico, al usarlo en hormigón armado o pretensado creará problemas de corrosión en las armaduras.

Los acelerantes también dan lugar a mayor retracción hidráulica, con lo que cabe la posibilidad de que se produzcan fisuras, no admitidas en paramentos vistos de una pieza de hormigón.

Hay aditivos como los plastificantes-fluidificantes que pueden en algunos casos retardar el comienzo del fraguado y en otros pueden provocar un fraguado acelerado si el cemento tiene poco yeso o el porcentaje de aditivo es grande.

Otros, como algunos acelerantes, pueden disminuir las resistencias mecánicas, aumentando como hemos indicado la retracción hidráulica y produciendo corrosión de armaduras.

La dosificación del aditivo debe ser muy precisa y por tanto su utilización es únicamente recomendable en obras bien cuidadas y vigiladas en cuanto a control en los materiales, dosificación y ejecución se refiere.

El empleo de aditivos en el caso de hormigones preamasados en central u hormigones fabricados en talleres de prefabricación no presenta problemas ya que es posible realizar un control de calidad sistemático.

Como normas generales en el empleo de aditivos podemos señalar las siguientes:

- **DEBE EVITARSE EL EMPLEO DE ADITIVOS**, siempre que sea posible, recurriendo al uso de materiales, dosificación, fabricación, puesta en obra y curado correctos para conseguir hormigones con las propiedades deseadas.

- **SE DEBERÁN REALIZAR ENSAYOS PREVIOS Y UN CONTROL RIGUROSO DE SU DOSIFICACIÓN**, cuando haya que emplear aditivos por circunstancias particulares.

- **EMPLEAR ADITIVOS QUE SEAN DE CALIDAD Y DE LOS CUALES SE TENGA EXPERIENCIA**, es decir, que estén avalados por la práctica. Los aditivos suelen presentar efectos secundarios que hay que conocer y controlar para que no se dé el caso que el perjuicio que éstos ocasionen sea mayor que los beneficios que aportan.

- **LOS ADITIVOS ELEGIDOS DEBEN CONSERVARSE ADECUADAMENTE**. Así, si están en estado líquido deben protegerse del calor, agitándolos antes de su empleo para evitar que las sedimentaciones que se hayan producido resten uniformidad al aditivo. Si son en polvo deben conservarse en lugares secos evitando la posible formación de terrones por efecto de la humedad, a la vez que la alteración de sus propiedades.

- **VERIFICAR SU FECHA DE VENCIMIENTO.**

- **LA DISTRIBUCIÓN DEL ADITIVO EN TODA LA MASA DEL HORMIGÓN DEBE SER HOMOGÉNEA Y UNIFORME** para evitar efectos indeseables.

- **PUEDE EXISTIR INCOMPATIBILIDAD ENTRE ALGUNOS TIPOS DE ADITIVOS ENTRE SÍ O CON EL CONGLOMERANTE EMPLEADO**. Un aditivo puede reaccionar bien a un tipo de cemento pero mal con otro. Por lo que es necesario realizar ensayos previos en laboratorio antes de optar por el empleo de un determinado aditivo.

- **ES RECOMENDABLE AÑADIR EL ADITIVO** (menos los agentes de retención de agua y los colorantes) al agua de amasado previo a la mezcla con los compuestos sólidos, para conseguir la distribución homogénea del mismo.

- **UN ADITIVO MAL DISTRIBUIDO PUEDE OCASIONAR DAÑOS GRAVES**. Como ejemplo se puede dar el de un retardador más concentrado en algunas zonas que en otras, al desencofrarlo puede haber un serio riesgo de rotura.

- **SI EL ÁRIDO EMPLEADO ES ABSORBENTE** (por ejemplo, los áridos ligeros) es necesario mojarlos previamente antes de la mezcla con el agua que lleva el aditivo. De no ser así, parte de éste sería absorbido perdiendo eficacia.

- **LOS AGENTES DE RETENCIÓN DE AGUA Y LOS COLORANTES DEBEN SER MEZCLADOS EN SECO CON EL CEMENTO**. La mezcla debe ser enérgica, sobre todo en los colorantes si se desea una correcta homogeneidad de tono.

- **AL UTILIZAR ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE DEBE VIGILARSE LA COMPACTACIÓN** de modo que no se elimine un exceso de aire, especialmente si se están usando como antiheladizos.

DEFECTOS DERIVADOS DE LA FABRICACIÓN Y EJECUCIÓN DEL HORMIGÓN

La ejecución puede afectar seriamente la calidad de un hormigón básicamente en los aspectos que conciernen a la durabilidad y la seguridad.

La lesión que puede deducirse de esta se manifiesta generalmente en forma de disminución resistente del material y con la prestancia del mal aspecto tanto más grave cuanto más acusado sea.

Su solución pasa por la prevención de esta circunstancia, a través de un correcto conocimiento de los principios de dosificación y fabricación por parte de los directores de obra, y de una adecuada cualificación de los operarios.

Los factores que influyen en la variación de las características del hormigón y que pueden asignarse propiamente a la ejecución son:

- **DOSIFICACIÓN MAL REALIZADA**, por deficiencias en los sistemas y equipos de medida. Se destacan la dosificación del cemento y la incorrecta relación agua-cemento.

- **TRANSPORTE Y VERTIDO**, que produciendo segregación, no aseguran la homogeneidad de la masa y en consecuencia producen zonas poco compactas, coqueras o nidos de grava.

- **COMPACTACIÓN DEFICIENTE**, que conduce a una mala compacidad en el hormigón.

- **LA FORMA DEL MOLDE (EFECTO PARED) Y LA DISPOSICIÓN Y SEPARACIÓN DE ARMADURAS** para lo que se deberá tener en cuenta una correcta docilidad para evitar oquedades. La construcción correcta del encofrado que evite fugas de lechada. Esto produce la perdida de una parte del cemento, y produce zonas poco compactas o con bajos contenidos de cementos en zonas de recubrimientos, restando protección a la armadura.

Las dos características fundamentales del hormigón que se ven afectadas por estos defectos en la ejecución son la ***COMPACIDAD*** y la ***HOMOGENEIDAD***.

Un hormigón será homogéneo cuando su composición en cualquier parte del mismo sea equiparable a la de otra parte diferente. Un hormigón no homogéneo es posible que tampoco sea compacto con las consecuencias negativas que esto puede tener sobre la vida del mismo.

La separación o segregación de los materiales más gruesos hacia las capas inferiores y la exudación o elevación de la pasta hacia la superficie, hacen que los hormigones no sean homogéneos.

Ambos fenómenos se producen cuando la naturaleza, dosificación de cemento, cantidad de agua de amasado, y aditivos empleados no son los idóneos. Todas estas causas que influyen negativamente en la homogeneidad, pertenecen a la fase del proyecto de la mezcla.

Pero se debe tener en cuenta que existen otras causas que también van a dar lugar a la falta de compacidad y heterogeneidad y que dependen de ciertas operaciones realizadas con el hormigón fresco, tales como el transporte, vertido, compactado, armado, e incluso, encofrado, ya que estos dos últimos, armado y encofrado, pueden crear un efecto pared importante que haga que la mezcla que estamos empleando resulte pobre en elementos finos.

Además, la homogeneidad del hormigón dependerá de la correcta puesta en obra y del método de compactación utilizado. Estas operaciones, que forman parte de la tecnología del hormigón, tienen una gran influencia en su homogeneidad y sus fallos se encuentran en el momento de la ejecución.

La compacidad de un hormigón depende en gran medida de la correcta dosificación de sus componentes.



Las coqueras o nidos que se forman en el hormigón son producto de la vibración insuficiente en el momento de su puesta en obra.

REQUISITOS	TIPOLOGIA DEL ADITIVO								PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
	Reductores de agua / plastificantes (2)	Reductores de agua de alta afinidad / superplasti-ficantes (2) | (3)	Retenedores de agua (2)	Inclusores de aire	Aceleradores de fraguado (2)	Aceleradores de endureci-miento (2)	Retarda-dores de fraguado (2)	Hidrófugos de masa (2) o (3)	
Homogeneidad	Homogéneo y sin disgregación, salvo notificación del fabricante en ficha tecnica								Examen visual
Color	Uniforme y según la descripción del fabricante								Examen visual
Componente activo	Analogía con el espectro infrarrojo proporcionado por el fabricante								EN 480-6
Densidad relativa, D (g/cm^3)	Desviación admitida respecto al dato del fabricante: 60,03 para D > 1,10 y 60,02 para D < 1,10								ISO 758
Extracto seco, E (%)	Desviación admitida respecto al dato del fabricante: 65 % para E > 20 % y 6 10 % para e < 20 %								EN 480-8
PH	Desviación admitida respecto al dato del fabricante: 61ud. de pH								ISO 4316
Cloruros totales (%)	Menor o igual al dato del fabricante ó < 0,10 %								ISO 1158
Cloruros solubles en agua (%)	Menor o igual al dato del fabricante ó < 0,10 %								EN 480-10
Alcalinos (NaO eq.) (%)				Menor o igual al dato del fabricante					EN 480-12
Comportamiento a la corrosión				Inocuo					En elaboración
Reducción de agua (4)	/5 %	/12 %	-	-	-	-	-	-	-	Pr EN 12382 - 12358
Resistencia a compresión (4)										Pr EN 12394
• A 24 horas	-	/140 %	-	-	-	-	/120 %	-	-	
• A 48 horas	-	-	-	-	-	-	/130 %(5 %)	-	-	
• A 7 días	/110 %	-	-	-	-	-	-	/80 %	-	
• A 28 días	/110 %	/115 %	/90 %	/80 %	/75%	/80 %	/90 %	/90 %	/85 %	
• A 90 días	-	-	-	-	-	/100 %	-	-	-	

Notas: (1) La instrucción EHE solo indica los requisitos exigidos a los aditivos que modifiquen el comportamiento reológico o el tiempo de fraguado del hormigón. (2) A igual consistencia. (3) A igual relación agua/cemento. (4) Respecto a la del hormigon testigo. (5) Respecto al mortero testigo. (6) Únicamente para el ensayo de tiempo de fraguado. (7) Únicamente para el ensayo de absorción capilar

EXIGENCIAS Y CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE 934-2

REQUISITOS	TIPOLOGIA DEL ADITIVO									PROCEDIMIENTO DE ENSAYO
	Reductores de agua / plastificantes (2)	Reductores de agua de alta afinidad / superplastificantes (2)	(3)	Retenedores de agua (2)	Inclusores de aire	Aceleradores de fraguado (2)	Aceleradores de endurecimiento (2)	Retardadores de fraguado (2)	Hidrófugos de masa (2) o (3)	
Contenido de aire en hormigón fresco • Sobre hormigón testigo • Contenido total (CT)	□ 2 % -	□ 2 % -	□ 2 % -	□ 2 % -	□ 2,5 % 4 □ CT □ 6 %	□ 2 % -	□ 2 % -	□ 2 % -	□ 2 % -	Pr EN 12395
Aumento de consistencia en relación al: • Asiento (30 +- 10mm inic.) • Escurrimiento (350 +-20 mm inic.)	-	-	/120mm /160mm	-	-	-	-	-	-	Pr EN 12382 Pr EN 12358
Mantenimiento de consistencia (4) • A los 30 min. respecto a la inicial del testigo	-	-	/H testigo	-	-	-	-	-	-	Pr EN 12382 Pr EN 12358
Exudación (4)	-	-	-	□ 50 %	-	-	-	-	-	EN 480-4
Huecos en el hormigón endurecido (factor de espaciado) (4)	-	-	-	-	□ 0,200mm	-	-	-	Pr EN 480-11	
Tiempos de fraguado • Principio • Principio (5) • Final (5)	-	-	-	-	-	/30min (200C) □ 60 % -	-	/90 min (5) - □ 360 min	-	EN 480-2
Absorción capilar (5) • A 7 días de conservación + 7 días de ensayo • A 90 días de conservación + 28 días de ensayo	-	-	-	-	-	-	-	-	□ 50 % □ 60 %	EN 480-5
Hormigón de referencia para los ensayos	Hormigón I	Hormigón I	Hormigón IV	Hormigón II	Hormigón III	Mortero (6) Hormigón I	Hormigón I	Mortero (6) Hormigón I	Mortero (7) Hormigón I	EN 480-1

Notas: (1) La instrucción EHE solo indica los requisitos exigidos a los aditivos que modifiquen el comportamiento reológico o el tiempo de fraguado del hormigón. (2) A igual consistencia. (3) A igual relación agua/cemento. (4) Respecto a la del hormigon testigo. (5) Respecto al mortero testigo. (6) Únicamente para el ensayo de tiempo de fraguado. (7) Únicamente para el ensayo de absorción capilar

EXIGENCIAS Y CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE 934-2

Fundamentalmente de la relación agua/cemento y de la relación árido/cemento y por tanto de la dosificación de cemento. Los tres componentes que juegan en estas relaciones son los áridos, el cemento y el agua, existiendo otro, subordinado a ellos, que va a ser el aire y cuya presencia va a dar lugar a oquedades en el hormigón.

Estudiaremos ahora la influencia que desde el punto de vista de la compacidad ejercen cada uno de los componentes del hormigón según su dosificación y uso.

DOSIFICACIÓN

La dosificación de cemento puede crear problemas en el hormigón. Para una determinada resistencia siempre hay que tratar de emplear la menor cantidad posible de cemento. Altas dosificaciones aumentan el riesgo de retracción hidráulica que se traducirá en fisuración.

También dosificaciones elevadas, traen como consecuencia fuerte calor de hidratación con las consiguientes elevaciones de temperatura, especialmente en épocas calurosas, que se traducirán en fuertes retracciones de origen térmico y en peligro de fisuración.

Los cementos con adiciones inertes molidas a la misma finura que ellos (fillers) se caracterizan por tener un endurecimiento más lento que los cementos puros, debiendo tener en cuenta esta circunstancia a la hora de dosificar el hormigón, por la repercusión que pueda tener tanto en la cantidad de cemento a emplear, como en la cantidad de agua a utilizar.

Se aconseje limitar la dosificación de cemento en hormigón armado en 400 kilogramos por metro cúbico y en hormigón pretensado en 550 kilogramos por metro cúbico.

Las aguas de amasado tienen una importancia fundamental en cuanto a su cantidad relacionada con la del cemento empleado. Para la hidratación de los componentes activos del cemento bastaría con una relación agua/cemento teórica aproximada de 0,18. El exceso de agua se utiliza para dotar de ***DOCILIDAD*** al hormigón.

La cantidad de agua requerida para la hidratación del conglomerante es muy inferior a la utilizada, ya que lo que se busca también es conseguir la plasticidad adecuada a los medios de compactación y a la geometría de la pieza a hormigonar.

Una relación agua/cemento (a/c) del orden de 0,6 a 0,8 es lo que suelen tener los hormigones tradicionales, sin aditivos reductores de agua y compactados en obra. La cantidad de agua necesaria a los efectos de hidratación es del orden del 30 % del peso del cemento, con lo cual el resto del agua se convierte en porosidad de pequeños diámetros una vez evaporada. Un hormigón endurecido que presente una porosidad inferior al 10 % se considera de baja porosidad.

Pero si la porosidad superara el 15 %, es probable que tenga problemas de durabilidad.

La red capilar que conforman los poros es la que permite el transporte de líquidos y gases por el interior de la masa del hormigón.

Por tanto, los poros son el vehículo que posibilita los distintos ataques que posteriormente se estudiarán. Un exceso de agua en la fabricación del hormigón genera también un incremento de la retracción y una disminución de la resistencia mecánica.

Los hormigones correspondientes a estructuras construidas en épocas precedentes, y que potencialmente podrían ser objeto de remodelación, en general adolecen de exceso de contenidos de agua. Esto podría deberse a la necesidad de conseguir una consistencia adecuada a los medios de compactación utilizados en tales épocas.

Como ejemplo para un hormigón con una dosificación de cemento de 350 kilogramos por metro cúbico y relación agua/ cemento de 0,5, se necesitan 175 litros de agua de amasado. Para la hidratación teórica del cemento sólo se precisan 63 litros, por tanto 112 litros de agua han de salir de la masa del hormigón fresco.

Por tanto en un metro cúbico habrá, 112.000 centímetros cúbicos de poros que formarán en la masa de la pasta de cemento una red capilar a través de la cual podrá penetrar posteriormente el agua y los agentes agresivos que destruirán al hormigón, no sólo en la superficie, sino también en su propio núcleo.

Esto nos da una idea de la importancia del agua de amasado en la durabilidad del hormigón debido al enorme volumen de poros accesibles a que puede dar lugar.

El aire, propiamente dicho, no constituye un componente del hormigón, sin embargo, forma parte de su constitución en una proporción que dependerá de la función que vaya a desarrollar el mismo, de su correcta dosificación y de su adecuada compactación.

En algunos casos es un elemento esencial, como ocurre en los hormigones ligeros, y en otros es un elemento secundario, e incluso indeseable, como ocurre en los hormigones de altas resistencias. El aire, elemento sin resistencias mecánicas y sin masa en relación con el hormigón, va a presentarse en forma de huecos accesibles o inaccesibles.

Los huecos, tanto abiertos como cerrados, dan lugar a disminuciones de las resistencias mecánicas del hormigón precisamente por sustituir una parte de la masa del mismo por un elemento sin resistencia.

Los huecos abiertos, o accesibles, dan lugar a que la superficie por unidad de volumen que está en contacto con el ambiente, o con el exterior, sea mucho más elevada que en un hormigón sin huecos, ni poros, es decir, que en un hormigón compacto y cerrado. De esta manera los agentes agresivos tienen una mayor superficie de ataque, con lo cual se puede ver afectada tanto la estabilidad como la durabilidad del hormigón.

En definitiva, cuanto más compactos son los hormigones, más densos y más resistentes son desde todos los puntos de vista. El aire, sin embargo, puede ser incluido en la masa del hormigón a propósito, buscando un fin determinado, como puede ser conseguir mayor resistencia frente a los ciclos hielo-deshielo.

Los aditivos aireantes proporcionan al hormigón aire en forma de minúsculas burbujas que rompen la continuidad de los poros capilares, con lo cual éstos resultan menos absorbentes.

De esta forma la cantidad de agua que entra en el hormigón es muy pequeña y aunque ésta llegue a entrar al helarse dispondrá de espacio suficiente para expansionarse sin producir presiones internas que degraden al mismo.

Los aditivos aireantes tienen además un papel secundario de lubricante sobre el hormigón fresco, es decir, ejercen una función de fluidificante que permite reducir la relación agua/cemento y una determinada cantidad de finos. Todo esto se traduce en un aumento de resistencias mecánicas que compensa en cierta medida la disminución a que da lugar la inclusión del aire.

LA FISURACIÓN DEL HORMIGÓN

Distinguimos en este apartado las fisuras cuyo origen cabe atribuirlo a las tensiones generadas por alguna acción o circunstancia ambiental producida durante la fase de elaboración, puesta en obra, fraguado o endurecimiento del hormigón.

Son las fisuras relacionadas con el contenido de humedad del material, y se las denomina como lesiones debidas a las acciones de origen higrotérmico.

Dentro de esta clasificación encontramos las fisuras de refracción hidráulica, afogarado, las de origen térmico, y todas las que se forman durante la fase plástica del material.

Para su análisis se lo ha ordenado en función del momento en que se produce su aparición, distinguiendo las fases anterior y posterior al inicio del endurecimiento del hormigón.

A. FISURAS DE FORMACIÓN ANTERIOR A LA FASE DE ENDURECIMIENTO DEL HORMIGÓN

Son las fisuras que tienen origen desde pocos minutos después de la puesta en obra hasta el inicio de la fase de fraguado del material, mientras éste se halla aún en estado plástico.

Se distinguen dos tipos de fisuras con características distintas, las llamadas fisuras de ***ASENTAMIENTO PLÁSTICO*** y fisuras de ***RETRACCIÓN PLÁSTICA***.

La mayor parte de las fisuras de retracción plástica aparecen en soleras o losas planas expuestas a altos índices de evaporación, a diferencia de las de asentamiento plástico, que son más frecuentes en secciones gruesas.

El fenómeno de la ***EXUDACIÓN*** interviene en la formación de ambos tipos de fisuras. Este es el nombre que recibe la acción del agua que asciende hacia la superficie superior del hormigón al poco tiempo de su amasado.

Las partículas sólidas endurecidas del material tienden a descender por gravedad hacia la parte inferior del elemento, expulsando el agua no combinada hacia la superficie.

Este fenómeno puede ser eliminado mejorando la compactación.

Todos los hormigones generan exudación, pero el agua exudada sólo es visible en la superficie cuando no se evapora inmediatamente.

Cuando no sucede esto, se visualiza una fina película de agua limpia sobre la superficie del hormigón, que no debe confundirse con la lechada.

Algunos de los factores que producen el fenómeno de exudación son:

- **ALTAS RELACIONES AGUA/CEMENTO:** exudan más que las relaciones bajas.

- **CUANDO LA EVAPORACIÓN SUPERFICIAL ES ALTA** durante el periodo inmediatamente posterior al vertido y compactación del hormigón, la exudación se incrementa.

- **LA EXUDACIÓN ES TANTO MÁS PROLONGADA CUANTO MAYOR ES EL ESPESOR DEL ELEMENTO**.

- **EL USO DE RETARDADORES DE FRAGUADO** incrementan generalmente la exudación.

Las fisuras de asentamiento plástico coinciden siempre con una elevada exudación del material y se forman generalmente durante las tres primeras horas después del vertido del hormigón y, en algunas ocasiones, hasta las seis e incluso ocho horas posteriores. Aparecen en los lugares donde el movimiento de asentamiento derivado del descenso de la masa del hormigón se halla limitado.

En función de la forma concreta de dicha restricción, se pueden distinguir los siguientes tipos:

- **FISURAS MARCADAS INMEDIATAMENTE ENCIMA DE LAS ARMADURAS HORIZONTALES**, ya sean éstas las armaduras principales o los estribos.

- **FISURAS HORIZONTALES EN ELEMENTOS VERTICALES** (como pilares, etc.) cuando los estribos limitan el movimiento del hormigón al descender.

- **FISURAS COINCIDIENDO CON CAMBIOS BRUSCOS DE SECCIÓN**. Son muy frecuentes en forjados reticulares. Se forman a causa de la diferencia de asentamiento del hormigón según los diferentes grosores.

- **FISURAS COINCIDIENDO CON SECCIONES DELGADAS DE HORMIGÓN**. Cuando el plano de las armaduras no permite el descenso del recubrimiento y lo desolidariza del resto de la pieza.

Habitualmente estas fisuras no afectan estructuralmente aunque pueden tener incidencia en los efectos de corrosión de las armaduras al quedar desprotegidas.

Las fisuras de retracción plástica aparecen en las primeras 8 horas después del vertido del hormigón, aunque a veces pueden incluso aparecer al día siguiente.

Estas fisuras pueden ser muy anchas en la superficie de la pieza (2 ó 3 mm o incluso más) pero disminuyen rápidamente su anchura con la profundidad. También es habitual que lleguen a atravesar el espesor de las losas, a diferencia de las fisuras de asentamiento plástico. Son especialmente frecuentes en losas planas y soleras, y adoptan diversas formas.

Pueden seguir líneas diagonales, aproximadamente a 45º con las esquinas, con separaciones entre los 20 cm y los 2 m, presentarse a modo de crestas onduladas, o siguiendo un patrón indeterminado formando generalmente una especie de malla.

También es común que sigan el recorrido de las armaduras o de alguna cualidad física de la pieza, como por ejemplo un cambio de sección o una interrupción en el hormigonado.

La causa que genera estos tipos de fisuras, en general, es el rápido secado del agua exudada. Las fisuras se forman cuando el índice de evaporación supera al índice de exudación, comúnmente esto se da cuando la cantidad de agua evaporada es alrededor de 1 kg/m^2.h.

Un ejemplo de esta situación se puede dar con vientos de 32 km/h a una temperatura de 5 ºC, con 80 % de humedad ambiente y una temperatura del hormigón de 20 ºC. El proceso de curado juega un papel de gran importancia para evitar este tipo de fisuras, puesto que será el aporte complementario de agua lo que suplirá los efectos de la evaporación excesiva, especialmente en condiciones climáticas calurosas.

B. FISURAS DE FORMACIÓN POSTERIOR AL INICIO DE LA FASE DE ENDURECIMIENTO DEL HORMIGÓN

LAS FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA INICIAL Y LAS FISURAS DE AFOGARADO (también llamadas fisuras en mapa) pueden aparecer durante la fase de endurecimiento, que es la que se inicia una vez que finalizan las reacciones de hidratación o fase de fraguado.

A partir del tramo final de dicha fase y hasta los dos o tres años posteriores, y en ocasiones aún más tarde, pueden aparecer las fisuras llamadas de ***RETRACCIÓN HIDRÁULICA***, denominadas también de retracción de secado.

Las fisuras por contracción térmica inicial suelen aparecer entre el primer y el quinto día después del vertido, cuando el hormigón ha finalizado ya su fraguado.

Se producen como consecuencia del calor generado en el núcleo del hormigón por las reacciones de hidratación del cemento.

La expansión que produce dicho calor genera tensiones en las zonas a temperaturas más frías del mismo elemento, por estar en contacto con el ambiente, o con volúmenes de hormigón puestos en obra con anterioridad que ven impedido su libre movimiento de retracción inicial.

El máximo salto térmico se presenta entre el primer y el quinto día después del hormígonado y, en general, entre los 7 y los 14 días la temperatura ambiente alcanza ya al núcleo de la pieza.

Este dato, es precisamente el que permite diferenciar el origen de estas fisuras de las debidas a retracción hidráulica, a las que nos referiremos más adelante. Entre los factores que influyen sobre la magnitud de dicho salto térmico podemos mencionar:

- **LA TEMPERATURA INICIAL DE LOS MATERIALES Y LA TEMPERATURA AMBIENTE**. Existe mayor salto térmico en los periodos de temperaturas bajas.

- **LAS PIEZAS DE GRAN ESPESOR PRODUCEN MÁS CALOR**, pero a partir de unos valores determinados el problema no empeora.

- **EL HORMIGÓN NO DEBE SER CURADO REGÁNDOLO CON AGUA** (presumiblemente fría) inmediatamente después de retirar el encofrado, puesto que ello puede incrementar la diferencia de temperaturas, generando el fenómeno conocido como choque térmico. Se debe tratar de mantenerlo lo más cálido posible, durante este periodo de tiempo inicial, posterior al desencofrado.

- **A MAYOR CANTIDAD DE CEMENTO, MAYOR ES EL CALOR PRODUCIDO**. El calor de hidratación puede variar en función del cemento utilizado.

- **LOS AGREGADOS CALIZOS Y EN MENOR GRADO LOS GRANÍTICOS TIENEN UN COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA MÁS BAJO QUE LOS DE OTROS MATERIALES**. Los áridos ligeros tienen una capacidad de deformación por tracción mayor que los normales.

- **LOS ADITIVOS ACELERADORES DE FRAGUADO PRODUCEN CALOR MÁS RÁPIDAMENTE**. Los retardadores pueden aplazar el inicio de la hidratación, lo cual no reduce el calor total generado por la hidratación del cemento.

- **LA ANCHURA DE LAS FISURAS PUEDE REDUCIRSE INCREMENTANDO LA CANTIDAD DE ARMADURAS**, usando barras de pequeño diámetro y reduciendo el recubrimiento al mínimo permitido.

- **LOS ENCOFRADOS DE MADERA MANTIENEN MÁS CÁLIDO AL HORMIGÓN QUE LOS METÁLICOS**, pero reducen la diferencia de temperaturas en su masa, al aislarlo del exterior.

- **LOS DESENCOFRADOS TEMPRANOS** normalmente incrementarán la diferencia de temperaturas.

- **LAS FISURAS SE SUELEN INICIAR EN DONDE SE PRODUCE UNA DISCONTINUIDAD DE LOS ESFUERZOS**, en los cambios de sección bruscos, en las esquinas de las aberturas e, incluso en los agujeros de los latiguillos del encofrado.

Las fisuras por contracción térmica inicial abundan especialmente en los muros de contención, en las losas y, en general, en aquellos elementos de espesor considerable, en especial cuando la disipación de calor del núcleo se halla impedido por alguna de sus superficies. Suelen confundirse con las de retracción hidráulica ya que hay una elevada coincidencia con los lugares habituales de aparición y con algunos de los factores que influyen en su formación.

FISURAS DE AFOGARADO: son fisuras superficiales, generalmente de menos de 1 cm de profundidad y de 0,05 a 0,5 mm de anchura aproximadamente, que aparecen habitualmente entre uno y quince días después del hormigonado, durante la fase de endurecimiento. Se manifiestan como un dibujo en forma de red o malla no regular de entre 5 y 10 cm de lado.

Su formación se debe fundamentalmente a la retracción causada por unas condiciones extremas de sequedad atmosférica, en unos momentos en que el material aun no ha adquirido toda su capacidad de deformabilidad a tracción. Dichas condiciones se dan en situaciones ventosas o de una humedad relativa baja.

Estas lesiones, a veces, tienen una finura tal que solo se las percibe después de cierto tiempo cuando se han llenado de suciedad o polvo. Otros factores asociables a este tipo de fisuras es la presencia en su composición de una discontinui-dad física cercana de la superficie expuesta al exterior y un alto gradiente de humedad en la sección del elemento.

La mejor manera de prevenir estas fisuras es evitar las mezclas con demasiado contenido de agua o ricas en cemento, realizar un buen compactado y evitar los acabados superficiales dema-siado pulidos que eleven en exceso el contenido de pasta de cemento junto a la superficie en contacto con el exterior.

FISURAS DE RETRACCIÓN HIDRÁULICA: (retracción de secado) se producen como consecuencia de la reducción de volumen que genera la retracción hidráulica. Esta es producto de la pérdida física y química de agua durante la fase final de su proceso de endurecimiento.

Al igual que en los casos anteriores, para que un elemento de hormigón llegue a fisurar, su movimiento debe hallarse restringido, de forma que las tensiones de tracción internas originadas en este caso por la retracción hidráulica, lleguen a superar la resistencia a la tracción del material.

Estas fisuras pueden aparecer a partir de las dos o tres semanas desde el vertido del hormigón, pero el riesgo de su aparición persiste en condiciones normales hasta un año, retardándose a veces hasta los dos y tres años, en función de las condiciones de sequedad atmosférica.

Las fisuras de retracción hidráulica se suelen confundir con las de contracción térmica inicial puesto que, especialmente en muros de contención, puede haber coincidencia tanto en los lugares donde aparecen como en las características de las propias fisuras. Se las reconoce por ser de anchura bastante homogénea, finas y de profundidad variable que incluso pueden llegar a partir la sección de la pieza.

Entre los factores que inciden sobre la posibilidad de formación de fisuras por retracción hidráulica podemos mencionar los siguientes:

- **LA PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPORACIÓN** es la causa principal de la retracción hidráulica, y una gran parte de dicha evaporación está directamente relacionada con la humedad relativa del ambiente, de tal forma que a mayor sequedad atmosférica, mayor será la retracción hidráulica y, por consiguiente, el riesgo de fisuración por esta causa.

- **EL RECURSO DEL CURADO**, si bien no reduce el valor absoluto de la retracción hidráulica, resulta favorable, al minimizar el riesgo de fisuración por esta causa, aumentando su capacidad de deformación por tracción en épocas tempranas después de la puesta en obra del material.

- **CUANTO MAYOR SEA LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO**, mayor será la retracción hidráulica, ya que mayor será la cantidad de agua a evaporar.

- **A MAYOR SUPERFICIE EXTERIOR DE LA PIEZA CON RELACIÓN AL VOLUMEN**, mayor será su tendencia a fisurar por retracción hidráulica, ya que ello facilita la pérdida de agua por evaporación.

- **LAS COMBINACIONES DE ÁRIDOS** que tienden a minimizar su superficie específica son las más adecuadas para reducir el riesgo de fisuración.

INFLUENCIA DEL AMBIENTE EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

Si mantenemos constantes las demás variables que entran en juego en la problemática de la durabilidad del hormigón, la correspondencia básica entre agresividad del medio ambiente y tipo de hormigón empleado para cada nivel de agresividad jugará un papel fundamental.

Entendiendo que en la fabricación del hormigón ciertas variables como dosificación y tipo de cemento, son determinantes en la elaboración del tipo de hormigón adecuado a cada ambiente.

Sin embargo, es posible utilizar un hormigón no recomendado, manteniendo la seguridad y sin comprometer la durabilidad de la estructura, desde que ese hecho sea compensado con otras medidas protectoras y preventivas. Ese es el caso de la gran mayoría de las obras ya construidas y en uso.

En esas obras difícilmente fue empleado el hormigón recomendado, no obstante, medidas posteriores de mantenimiento y protección pueden asegurar una vida útil compatible con las expectativas de los usuarios.

Cabe resaltar que desde el punto de vista económico todas las medidas direccionadas a la durabilidad, tomadas a nivel de proyecto son siempre más convenientes, más seguras y más económicas que medidas protectoras tomadas posteriormente.

Los costos de intervención en la estructura, para alcanzar un cierto nivel de durabilidad y protección, crecen progresivamente cuanto más tarde se haga dicha intervención.

La agresividad del entorno está relacionada con acciones físicas y químicas que actúan sobre las estructuras de hormigón, independientemente de las acciones mecánicas, de las variaciones volumétricas de origen térmico, de la retracción hidráulica y otras previstas en el dimensionamiento de las estructuras de hormigón.

Como primera aproximación se puede hacer una clasificación de los diferentes tipos de ambientes según su agresividad. Así, tenemos como débiles o poco agresivos los que corresponden a elementos interiores o semi interiores de edificios en ambiente fresco.



Tipos de fisuras en el hormigón.

Los de agresividad media a los exteriores en ambiente normal, en contacto con agua o con terrenos no agresivos. Los elementos exteriores en ambiente agresivo (industrial o marino) en contacto con aguas salinas o algo ácidas, o en contacto con terrenos agresivos se considera que sufren una agresividad fuerte.

Por último los ambientes químicamente agresivos (tanques industriales, blanqueados en industrias de celulosa y papel, almacenes de fertilizantes, industrias químicas, etc).

A medida que aumenta el nivel de agresividad del ambiente se considera que se debe utilizar un hormigón de mayor resistencia y más durable. El criterio recomendado para aumentar estas variables es hacer un hormigón lo más impermeable posible, tendiendo a aumentar la compacidad.

Lo que usualmente se recomienda es reducir la relación agua/cemento, pero esto muchas veces no es compatible con las necesidades arquitectónicas de puesta en obra.

En consecuencia se recurre en la practica al uso de plastificantes, los cuales presentan indeseados efectos secundarios, que pueden afectar a la durabilidad del hormigón y producir una disminución de su resistencia. Otro punto importante es el criterio de composición granulométrica del árido y el método de comprobar la impermeabilidad del material.

Como ejemplos de lesiones debidas a ambientes agresivos, podemos mencionar las causadas por ambientes marinos, las debidas a la acción de aguas agresivas y las producidas por la lluvia ácida.

Dentro de la primera, con independencia del ataque químico que el agua de mar ejerce sobre el hormigón amasado con ella, el vapor de agua contenido en la atmósfera de las zonas marinas esta cargado de cloruros y sulfatos.

Al evaporarse el agua, sobre o en el interior de los poros del hormigón, cristalizan las sales produciéndose criptoflorescencias con la consiguiente aparición de tensiones internas que meteorizan los hormigones pobres y disgregan los de tipo medio.

Por otro lado se producen zonas anódicas y catódicas, que sumado a la presencia de agua, generan corrientes internas que acabarán con la corrosión electroquímica de las armaduras.

Las lesiones debidas a la acción de aguas agresivas derivan de los efectos de las aguas sucias, las pantanosas y las subterráneas que contienen sulfatos procedentes del terreno, reaccionando con el hormigón formando aluminatos y yeso.

El gran tamaño de estos cristales crea fuertes tensiones internas que fisuran y disgregan el hormigón de las cimentaciones, especialmente en las partes más expuestas como son las aristas y los ángulos.

Los fenómenos de ataque por lluvias ácidas se generan por el carácter ácido de las aguas atacantes y son esencialmente superficiales. Las lluvias ácidas pueden alcanzar un pH de 4, e incluso inferior.

En ellas se llega a formar ácido sulfúrico muy higroscópico que condensa en gotas que además pueden contener óxidos de nitrógeno que pasan a ácido nítrico y eventualmente algunos metales pesados.

DESTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN POR AGENTES EXTERNOS

La destrucción del hormigón por factores externos a su constitución tiene sus causas en dos grandes grupos, por un lado los ataques exteriores por agentes físicos y por otro los causados por agentes químicos.

Dentro del primer grupo, los ataque pueden darse tanto sobre el hormigón fresco como sobre el endurecido. Podemos enumerar procesos destructivos como el lavado, la congelación, la heladicidad, la acción del fuego, etc. Los ataque provenientes de agentes químicos, pueden producirse tanto sobre el hormigón como sobre el acero.

A. AGENTES FÍSICOS DE DEGRADACIÓN

Los agentes físicos más frecuentes que suelen causar efectos negativos en el hormigón son el agua, el viento y las temperaturas ambientales altas o bajas. Estos fenómenos inciden sobre el hormigón fresco de diferentes modos.

Las bajas temperaturas pueden congelar el agua del hormigón fresco, impidiendo la hidratación de los componentes del cemento, y destruyendo la microestructura cristalina de los ya hidratados, al aumentar el volumen.

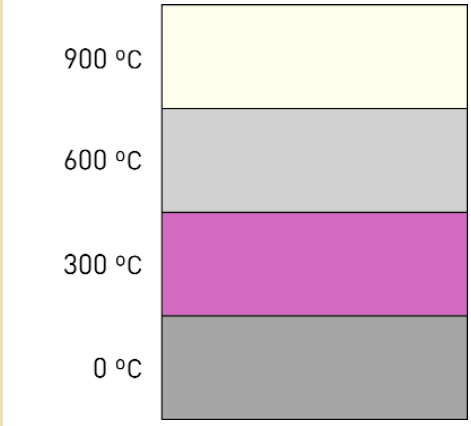
Por otro lado la temperatura ambiental excesiva se suma al efecto de calor desprendido en las reacciones de hidratación, incrementando las posibles reacciones térmicas posteriores. El efecto conjunto de la alta temperatura ambiental y el aire en movimiento genera la desecación de las superficies exteriores del hormigón.

De esta manera, las reacciones de hidratación en esas superficies se dan de manera incompleta, y el hormigón en tales zonas no consigue la resistencia suficiente. Esto se manifiesta, si ha llegado a producirse la hidratación en algún grado, en forma de fisuras.

Por ultimo, la lluvia fuerte, o el granizo, sobre superficies horizontales sin proteger pueden dar lugar al ***LAVADO*** de los elementos más finos de la superficie, llegando incluso a dejar sin el recubrimiento necesario a las armaduras.

Sobre un hormigón ya endurecido los mismos fenómenos atmosféricos inciden de manera diferente. La incidencia de las bajas temperaturas se manifiesta en forma de roturas por la heladicidad. Para que un hormigón sea heladizo, es necesario que presente cierta porosidad abierta, que permita el ingreso del agua.

Esta, al helarse aumenta de volumen, provocando tensiones dentro del hormigón que generalmente no resiste, rompiéndose. La lluvia en hormigones ya endurecido no genera el efecto de lavado que anteriormente mencionamos.



Es importante saber, luego de un incendio, a qué temperaturas fue sometido el hormigón ya que se pueden haber producido daños irreversibles en el núcleo del mismo.

La acción del hielo en el hormigón se caracteriza por el efecto de acuñamiento que ejerce el agua presente en los poros del material debido al aumento del volumen. Esta, cuando cambia de estado y se transforma en hielo alcanza aproximadamente el 9 % más de volumen con relación al del agua líquida.

El daño se produce en forma de descamación superficial de fragmentos más o menos grandes formados por el conglomerante y el árido más fino a los que a veces se agregan trozos del árido de mayor tamaño, también poroso.

Es difícil que hormigones normalmente dosificados se vean afectados de forma visible por el efecto de una sola helada. Por un lado, para dilatar los poros no capilares son necesarios varios ciclos de congelación y descongelación ya que a medida que el aire se elimina o se disuelve progresivamente se ve favorecida la saturación de agua.

Y por otra parte, el agua en los poros capilares tiene un punto de congelación más bajo. Las fisuras y las descamaciones por esta causa son muy frecuentes en las regiones en que la temperatura desciende frecuentemente por debajo de los -50 ºC.

Existen varios factores que inciden sobre la formación de daños por el efecto del hielo. Entre ellos la porosidad juega un papel importante, cuanto mayor sea esta, mayor riesgo de daño.

Una relación agua/cemento excesiva produce porosidad al evaporarse el agua, con lo cual se aconseja evitar si existe posibilidades de heladas. La dosificación de cemento es otro de los factores a tener en cuenta. A mayor contenido de cemento, menor factibilidad de deterioro.

Es importante estudiar la disposición de las superficies del hormigón en relación a las lluvias. Las superficies exteriores horizontales son las más afectadas por las heladas, puesto que facilitan enormemente la penetración y mantenimiento del agua en la masa del material.

También hay que tener en cuenta el número de ciclos hielo-deshielo ya que éste es un factor clave en el deterioro del material.

DAÑOS CAUSADOS POR EL FUEGO

En caso de incendio, el fuego afecta a las características resistentes y de deformación, tanto del hormigón como del acero. Se generan a su vez incrementos de tensión, causados por las dilataciones, que son transmitidos a través de los nudos rígidos de la estructura.

Así, el incremento de temperatura provoca en el hormigón disminución de resistencia mecánica tanto de compresión como de tracción, aumentos importantes de su deformación de rotura y disminuciones notables de su módulo de deformación.

En definitiva, dichos efectos lo que producen es que el hormigón sea cada vez menos resistente, al aumentar la temperatura, pero más capaz de experimentar deformaciones antes de romperse.

La variación de las características físico-mecánicas está en función de los materiales utilizados en su composición y de la temperatura a que se halla sometida la masa del hormigón. Los hormigones fabricados con áridos silíceos tienen una mayor conductividad térmica y son mucho más dilatables que los fabricados con áridos calizos, lo cual los hace más vulnerables en caso de incendio.

La resistencia al fuego se determina fundamentalmente, por la protección que experimente el acero contra un excesivo aumento de temperatura, a mayor recubrimiento mayor será el periodo de resistencia.

En lo que se refiere a la temperatura, el hormigón adquiere una tonalidad rosácea entre los 300 ºC y los 600 ºC, en cuyo caso puede haber perdido hasta un 60 % de su resistencia inicial a la compresión.

Al enfriarse, según los casos, puede perder aún más, o puede también recuperar hasta un máximo del 75 % de la inicial. Entre los 600 ºC y los 900 ºC su color deriva a gris claro, se vuelve poroso y friable, y la disminución de su resistencia puede alcanzar entre el 60 % y el 90 %, pudiendo ser aun mayor al enfriarse.

A una temperatura mayor a 900 ºC adquiere un tono blancuzco o amarillento, se destruye el conglomerante, y su resistencia residual queda anulada.

En general, las recomendaciones existentes en muchos países evitan considerar al hormigón como material estructural cuando éste sufre temperaturas de entre 500 ºC y 700 ºC.

En relación al acero se considera como «temperatura crítica del acero» alrededor de 550 ºC para el suave, y aproximadamente de 400 ºC para el acero tensible.

Un efecto secundario de gran importancia producido por el fuego es el desprendimiento de placas de superficie del hormigón, de tamaño variable, que recubren las armaduras. Este efecto se genera a causa de la acción combinada de las tensiones generadas por las dilataciones diferenciales entre acero y hormigón, por la pérdida brusca del agua intersticial del hormigón sometido a altas temperaturas y por la disminución de capacidad resistente del hormigón.

Dichos desprendimientos tienen una repercusión directa sobre la rapidez de calentamiento de la armadura y de las capas más profundas del propio hormigón, agudizando con ello el proceso de deterioro.

Las altas temperaturas reducen la capacidad resistente del acero, al superar su deformación máxima.

Sin embargo, al enfriarse, a diferencia del hormigón, recupera prácticamente la totalidad de su resistencia si la temperatura del material no ha alcanzado los 600 ºC.

Si sufren temperaturas más elevadas, habrá que distinguir entre los aceros deformados en frío, muy utilizados entre los años 1960 y 1975, que experimentan una disminución importante de su resistencia tras el enfriamiento, la cual puede llegar a ser de 30 % para temperaturas del orden de los 700 ºC, y los de dureza natural, que siguen manteniendo la propiedad de recuperar su capacidad resistente hasta temperaturas superiores a los 800 ºC.

Los aceros pretensados pueden sufrir grandes pérdidas de resistencia cuando su recubrimiento es escaso, como ocurre en las viguetas, puesto que en esta situación adquieren en poco tiempo altas temperaturas en caso de incendio.

El abundante aporte de agua en la fase de extinción del incendio y el consiguiente enfriamiento rápido produce frecuentemente el templado y fragilización del acero al descubierto.

Las altas temperaturas afectan también las condiciones de adherencia entre el acero y el hormigón, Estos dos materiales difieren significativamente en sus conductividades térmicas, a pesar de tener coeficientes de dilatación térmica muy parecidos, lo que provoca que el acero se caliente o se enfríe mucho antes que el hormigón.

De esta forma, se generan importantes diferencias de temperatura entre ambos materiales y, como consecuencia de ello, fuertes tensiones en su superficie de contacto, que debilitan y pueden incluso llegar a romper la vinculación.

Una situación que puede afectar al hormigón, incluso después del incendio, es la ***corrosión***, que puede llegar a producir su total destrucción incluyendo su armadura. Todo elemento de construcción de superficie porosa, absorbe fácilmente los gases.

En el incendio, los gases ácidos, por reacción química se neutralizan con los compuestos cálcicos que contiene el hormigón estructural, formándose cloruro de calcio.

Esta sustancia higroscópica combinada en el interior de la masa con el vapor de agua de extinción contenido en el aire confinado, es absorbido igualmente por el hormigón, en sus iones calcio y cloro.

De esta forma se corroe lentamente el hormigón que tras el incendio, continúa la migración o penetración alrededor de 0,25 a 2 cm por día, si las condiciones del medio, permanecen propicias. En este caso es más importante la corrosión del acero que la del hormigón.

Este conjunto de situaciones incide sobre los diversos elementos estructurales afectados por el fuego, disminuyendo su capacidad resistente, exigiendo esfuerzos mayores a sus secciones, o produciendo deformaciones permanentes.

Para la realización de los estudios acerca del nivel de afectación del hormigón es necesario tener en cuenta no sólo estos elementos sino la interacción entre ellos, tanto en el momento del incendio como en su fase de apagado y posterior enfriamiento. Esto permitirá realizar una correcta evaluación de la capacidad resistente residual de la estructura y la factibilidad de su aprovechamiento futuro.

B. AGENTES QUÍMICOS DE DEGRADACIÓN

El hormigón es considerado como un sistema homogéneo, compacto e inerte con el medio que lo rodea.

Cuando en realidad se trata de un sistema heterogéneo y poroso, rodeado, en algunos casos, de un medio capaz de reaccionar con algunos de sus componentes. El hormigón es inmune generalmente al ataque en seco de sustancias químicas, pero puede ser atacado por ácidos, agua pura, y por diversas sustancias en disolución.

También puede ser atacado por sustancias que se encuentran en el ambiente o en los elementos de hormigón, cuando se presentan condiciones de humedad ambiental.

Las disoluciones de sustancias agresivas atacan al hormigón con mayor energía, cuanto mayor es su concentración, su temperatura o su presión.

Generalmente, los ataques a través del agua líquida se dan en aquellos elementos que están en contacto con el suelo (muros, cimentaciones). Si las aguas agresivas están en movimiento, aumentará también el ataque.

En gran medida la durabilidad del material dependerá del grado de compacidad que posea. Y esto es así dado que la porosidad (red capilar) es la que permite la penetración de gases y humedad, con sus correspondientes sustancias disueltas, y por tanto es un factor acelerador de las agresiones externas. Sin embargo, la protección física no es la única.

Existe también una protección de tipo químico que depende, en general, del contenido de portlandita, como factor garantizador del pH suficientemente alcalino.

Las fisuras y la red capilar que forman los poros son los medios que permiten el transporte de líquidos y gases (y el intercambio de sustancias disueltas) por el interior de la masa del hormigón, y por lo tanto es el vehículo que posibilita los distintos ataques que estudiaremos a continuación.

Un hormigón endurecido presentará una porosidad variable constituida por poros de diferentes tamaños. Un hormigón que posea una porosidad de hasta el 10 % se puede clasificar como de baja porosidad y uno con más del 15 % se considera de alta porosidad y posiblemente sufra problemas de durabilidad.

EROSIÓN QUÍMICA

La alteración del hormigón que deriva de la erosión química se da cuando el compuesto químico externo está en condiciones de disolver alguno de los componentes de la pasta de cemento. Resulta entonces la lixiviación del componente disuelto: el hormigón se torna siempre más poroso y pierde materia disminuyendo su acción protectora respecto de la armadura.

Este proceso se inicia siempre sobre la superficie en contacto con el agente químico y se expande al núcleo del hormigón, habitualmente en forma lenta.

TÉCNICAS CONTROLADA EN EL HORMIGÓN

Esta técnica consiste, básicamente, en mezclar las muestras de hormigón triturado con algún solvente (agua destilada, alcohol etílico o ácido nítrico) y determinar, luego de un cierto tiempo de contacto, la cantidad de cloruros presentes en la solución. La técnica que emplea agua destilada es la que cuantifica con mayor exactitud el contenido de cloruros libres, mientras que las que utilizan alcohol etílico y ácido nítrico los subestiman y sobrestiman respectivamente.

Para las condiciones en las cuales se desarrolla el ensayo (tiempo de exposición, grado de trituración de la muestra y tipo de solvente empleado) esta técnica permite cuantificar fácilmente y con una adecuada exactitud, el nivel de cloruros existentes en el hormigón. Sin embargo, los resultados que se obtienen se encuentran afectados por el tiempo y forma de contacto del hormigón con el solvente.

LIXIVIACIÓN

Los poros, al estar conectados entre sí y con el exterior suman su superficie interna a la superficie atacable por agentes externos, con lo cual vuelven al hormigón mucho más vulnerable.

Cuanto más grandes sean los diámetros de las vías de transporte, mayores serán las velocidades de transporte. Los poros cerrados o bloqueados tendrán velocidad de transporte cero.

Al tratarse de un material higroscópico parte de la red capilar estará habitualmente ocupada por el agua o por vapor de agua. El espesor y la continuidad de este recubrimiento acuoso dependerá de la humedad relativa presente en los propios poros.

Para los poros más reducidos esta película de revestimiento acuoso por un lado tapona la circulación de gases y por otro facilita la difusión de iones.

La correlación que establece la porosidad de un hormigón con los mecanismos de transporte de los respectivos ataques químicos se puede esquematizar así:

- **EN EL ATAQUE ÁCIDO**, dependerá de la formación o no de una barrera de sustancias poco solubles y en consecuencia del coeficiente de difusión a través de la superficial de contacto.

- **EN LA REACCIÓN ALCALI-ÁRIDO**, al estar todas las sustancias que reaccionan en el interior del hormigón, la velocidad dependerá de la succión capilar de más cantidad de agua y de los coeficientes de difusión de iones alcalinos.

- **EN LOS ATAQUES POR SULFATOS O CLORUROS**, el transporte de iones a través del líquido de los poros.

- **EN LA LIXIVIACIÓN** por aguas blandas tendrá incidencia la permeabilidad y la difusión.

- **EN LA CARBONATACIÓN**, la difusión de moléculas gaseosas de CO_2 y de oxígeno a través de los poros vacíos.

ATAQUE DE ÁCIDOS

El hormigón es un material de carácter básico, con un pH de aproximadamente 13, por ello es atacable por ácidos cuyo PH es menor de 7 como soluciones concentradas (1 %) de ácido sulfúrico, nítrico, clorhídrico, fluorhídrico, bromhídrico, etc.

El ataque debido a las soluciones débiles es más lento, pero, a veces, no menos importante. Al ser el fluido agresor de tipo ácido reacciona con los hidratos del cemento, que son de tipo base, formando sal más agua. Este mecanismo se produce en las superficies de contacto entre el fluido y los hidratos del cemento, por lo cual la porosidad será fundamental para su desarrollo.

Podemos diferenciar dos casos, si la sal formada no es soluble ésta forma barrera y actúa como protección del desarrollo del propio ataque, mientras que si la sal que se forma es soluble, ésta no forma barrera y el ataque continúa. De esto se desprende que el peligro que entraña el ácido atacante depende de la solubilidad de sus sales cálcicas.

Así, por ejemplo el ácido clorhídrico sobre el hormigón produce cloruro cálcico y agua. La sal formada (cloruro cálcico) es soluble, no forma barrera y por tanto es un ataque peligroso. El ácido fosfórico sobre el hormigón genera fosfato cálcico y agua, la sal que se forma (fosfato cálcico) es insoluble, forma barrera y es en sí una protección frente al ataque.

Son agresiones ácidas típicas las aguas ácidas provenientes de medios industriales donde se dan ácidos fuertes orgánicos e inorgánicos, como la industria alimentaria (abonos, lácticos, aceites, vinagres, cítricos, etc.) y la industria química.

También, a efectos de consideración como aguas ácidas, hay que citar las aguas negras (el SH, disuelto en agua, no agresivo en principio, por acción bacteriana puede convertirse en ácido sulfúrico) y las aguas carbónicas, que pueden atacar los carbonatos cálcicos del cemento, si la dosificación de éste es baja y el hormigón permeable.

ATAQUE DE AGUAS PURAS

La lixiviación consiste en una forma de erosión de tipo químico por lavado más o menos continuo de sustancias propias del cemento hidratado. El caso más conocido es el del ataque por aguas más o menos puras. El principal efecto es la disolución de la portlandita, dado que su solubilidad es considerablemente elevada.

Se entiende por aguas puras aquellas que llevan muy pocas sales disueltas, como las que proceden de deshielo y fluyen a través de rocas poco solubles (granito, basalto). Conocido es el ataque de las aguas puras procedentes de deshielo cuya capacidad de disolución es muy elevada.

La lixiviación finalmente provoca la disolución del calcio, que es arrastrado y poco a poco se desmorona el sistema cohesionante. Afortunadamente, el proceso de carbonatación por el $C0_2$ del aire, que actúa en contacto con el agua como ácido débil, provoca la precipitación de carbonato cálcico que forma una barrera protectora y disminuye el peligro.

En aguas cargadas de $C0_2$ disuelto, tenemos además la reacción de bicarbonatación, convirtiendo el carbonato cálcico (poco soluble) en bicarbonato cálcico (soluble).



Carbonatación del hormigón armado.

El bicarbonato lixiviado desaparece, pero parte queda introducido con el agua y provoca la precipitación del carbonato cálcico en el interior del hormigón (o repartido de forma aleatoria) al reaccionar con la portlandita.

LA LLUVIA ÁCIDA

Los fenómenos de ataque por lluvia ácida vienen gobernados por el carácter ácido de las aguas atacantes y son esencialmente superficiales, con formación de barrera. Las lluvias ácidas atacan al hormigón ya que pueden alcanzar un pH de 4, e incluso inferior.

En ellas se llega a formar ácido sulfúrico muy higroscópico que condensa en gotas.

CARBONATACIÓN

La carbonatación es el proceso por el cual la alcalinidad de un hormigón se ve afectada por los efectos de las reacciones causadas por atmósferas contaminadas con anhídrido carbónico. Se trata de un caso especial de ataque ácido.

Las armaduras de un hormigón recién puesto en obra están protegidas frente a riesgos de oxidación por el recubrimiento y por la presencia del hidróxido de calcio. Y así continuarían, de forma estable si, a través de sus poros, no penetrase la humedad ambiental con anhídrido carbónico. Se produce entonces la reacción por la que el hidróxido cálcico se transforma en carbonato, disminuyendo la alcalinidad desde un pH de 12 ó 13 a otro pH de valor 9 ó 9,5.

Por consiguiente, la alcalinidad ya no es suficiente para proteger la armadura comenzando la oxidación. El mecanismo de reacción es relativamente complejo e intervienen en él la cantidad de sodio y potasio presentes en el cemento.

La capacidad de fijación del $C0_2$ depende directamente de la cantidad de estos presente. La velocidad del proceso depende a su vez de la facilidad con que el $C0_2$ se adentra en el interior de los poros del hormigón.

En el proceso de difusión la humedad relativa del aire de los poros juega un papel decisivo. El coeficiente de difusión del $C0_2$ es 10.000 veces superior en el aire que en el agua, por tanto, si los poros están saturados de agua la penetración del gas es muy débil y la reacción es inexistente.

El avance de la carbonatación está en función de la humedad relativa del aire, de la proporción de CO_2 y de la porosidad. A los efectos de evitar estos procesos es importante conseguir hormigones compactos y mantener los recubrimientos mínimos.

La zona carbonatada se determina aplicando al hormigón una solución alcohólica de fenoltaleína al 1,5 ó 2 % con adición de un 10 % de agua destilada. Las zonas con un pH menor a 10 dan una tonalidad roja oscura.

Un problema que plantean los hormigones fabricados en épocas recientes es el bajo contenido en cemento, al haberse dosificado por resistencia, permitiendo el avance de la carbonatación.

ATAQUE POR AGUAS RESIDUALES

En pocas ocasiones estas aguas atacan de forma directa al hormigón. Se pueden producir si bajo la acción bacteriana el gas sulfhídrico disuelto en agua se transforma en ácido sulfúrico. Incluso en este caso, la concentración de ácido debe sobrepasar las 150 ppm para que el ataque se produzca.

Esta concentración de ácidos no se alcanza con facilidad en aguas residuales domésticas.

ATAQUE DE SALES

Estas patologías se producen debido a las humedades de ambientes marinos. Con independencia del ataque químico que el agua de mar ejerce sobre el hormigón fabricado con ella, el vapor de agua contenido en la atmósfera de zonas marinas está cargado de cloruros y sulfatos.

Al evaporarse el agua, en el interior o sobre de los poros del hormigón, cristalizan las sales produciéndose por consiguiente la aparición de tensiones internas que, como ya se dijo, meteorizan los hormigones pobres y disgregan los de tipo medio.

La presencia de estas sales dentro del hormigón genera zonas anódicas y catódicas que sumadas a la presencia del agua como electrolito producen corrientes internas que conducirán a la corrosión electroquímica de las armaduras.

REACCIÓN ÁLCALIS-ÁRIDOS

La reacción alcali-árido es la que se genera al reaccionar determinados tipos de áridos con el cemento del hormigón, o con productos de hidratación del mismo, dando lugar a la aparición de importantes procesos degenerativos en su seno. Por álcalis entendemos el contenido de iones Na^+ y k^+ del cemento, estos reaccionan con los áridos reactivos.

Se conocen tres versiones distintas, que son la silícea, la álcali-dolomítica y la álcali-carbonato. Para la primera de ellas se precisa la presencia de un árido potencialmente reactivo (sílice inestable en medio alcalino) y concentraciones de Na^+ y K^+ elevadas en el líquido de los capilares, así como también aporte de agua importante.

Ciertas rocas de naturaleza ***SILÍCEA*** reaccionan con los álcalis del cemento dando lugar a la formación de geles de sílice que, generalmente, tienen una acción osmótica en presencia de agua. La absorción abundante de ésta produce aumento de volumen, provocando importantes presiones disruptivas para el hormigón del que forman parte.

Los minerales y rocas susceptibles de generar este proceso son las rocas opalinas, ciertas rocas volcánicas con un contenido medio o alto de sílice (andesita y riolita), algunas pizarras y filitas, con elevado contenido de hidrómicas y zeolitas del tipo heulandita, estando presentes algunas de ellas en cantidades apreciables.

En el caso de los áridos de naturaleza ***DOLOMÍTICA***, la desdolomitización de los mismos, por reacción con disoluciones alcalinas, produce la formación de brucita, y una regeneración de hidróxido alcalino.

La brucita puede aparecer en las zonas de contacto entre los áridos y la pasta o en el mismo árido, pudiendo reaccionar con el sílice alrededor del árido y formar un silicato de magnesio no conglomerante.

De esta manera, la zona porosa que se genera alrededor del árido, por extracción de iones, debilita la unión árido-pasta. El proceso de desdolomitización no produce en ningún momento geles expansivos.

La reacción entre el hidróxido de calcio (o portlandita del cemento) y determinados tipos de áridos con arcillas y feldespatos en su composición dan lugar a la formación de hidrogranates, silicatos cálcicos y alcalinos de Na^+ y K^+ libres.

Dichos ataques pueden considerarse como un tipo de reacción cemento-árido que también puede producir la destrucción de una estructura de hormigón.

Por último se puede producir una reacción entre el agua y el árido fino si este ultimo posee partículas de arcilla. Dichos minerales de arcilla considerados como muy finos, suelen pasar por el tamiz de 0,08 mm de luz de malla.

La reacción del agua con la arcilla se da cuando ésta, pudiendo incorporar en su seno moléculas polares como las del agua, genera variaciones de volumen importantes, dando lugar a importantes presiones disruptivas en el seno del hormigón del que forman parte.

ATAQUE POR PIRITAS

Es un ataque que puede coincidir con la reacción álcali-árido e interactuar con ella si las rocas en que aparezca la pirita (sulfuro de hierro) contienen formas de sílice inestables en medio alcalino.

Determinados áridos de tipo piritas contienen sulfuro que tras una primera fase de oxidación genera sulfato, que si se da en cantidad suficiente, puede convertirse en un caso de ataque sulfático particular.

Este proceso se da cuando el sulfato en medio alcalino y en presencia de aluminatos suficientes, forma etringita.

ATAQUE POR SULFATOS

Los sulfatos de sodio, calcio y magnesio son frecuentes en la naturaleza y todos ellos son solubles y perjudiciales para el hormigón. Estos pueden provenir de los propios áridos y otros componentes del hormigón, de los suelos con yesos y otros sulfatos, de suelos con abonos (sulfato amónico) y de las aguas que los atraviesen.

El ataque se produce como efecto de una expansión, debida a la formación de sustancias sólidas cuyo volumen resultante es mayor que el volumen de los elementos que entran en la reacción.

En el caso de que el sulfato atacante no sea el cálcico (yeso, anhidrita), el yeso secundario se forma al pasar primero por una reacción de cambio de catión y una vez formado suele cristalizar en los espacios interiores más libres.

La formación de sulfohidroaluminato tricálcico, más conocido por los nombres de ***ETTRINGITA, SAL DE CANDLOT O BACILO DE MICHAELIS*** se dá a partir del yeso, bien sea original o secundario y genera una gran presión expansiva como consecuencia del mayor volumen de los cristales de etringita respecto de los aluminatos iniciales.

Cuando la presión expansiva se produce con abundante cal se forma ettringita coloidal, tremendamente expansiva. Su volumen es un 22 % mayor que el de los componentes primitivos.

En cambio si cristaliza en presencia de poca cal, lo suele hacer en forma de agujas en los huecos que encuentra.

LESIONES DERIVADAS DE LOS DEFECTOS DEL ACERO

Los beneficios que brinda la unión entre hormigón y acero convierte al hormigón armado en el material estructural mas ampliamente utilizado en las construcciones.

En ese sentido es fundamental el papel que realizan las armaduras respecto de los esfuerzos a tracción en elementos estructurales de hormigón armado.

Se pueden enumerar tres causas fundamentales por las que el comportamiento de ambos materiales es compatible y adecuado a dicho uso.

- **MODULO DE DILATACIÓN TÉRMICA:** de ambos materiales es similar, (11.10^{-6} para el acero y 10.10^{-6} para el hormigón).

- **MÓDULO DE DEFORMACIÓN ELÁSTICO** del acero es mayor que el del hormigón ($2,1 \cdot 106$ kp/cm^2 para el acero y aproximadamente $2,5.10^5$ kp/cm^2 para el hormigón).

- **PH ALCALINO DEL HORMIGÓN:** que funciona como capa protectora frente a la corrosión del acero.

Sin embargo las fallos del hormigón derivados de la utilización del acero son diversos y tienen su origen en causas distintas. Para su estudio hemos propuesto la siguiente clasificación:

- **LAS ORIGINADAS EN DEFECTOS PROPIOS DEL ACERO.**

- **LAS QUE SE GENERAN A CONSECUENCIA DE LA *CORROSIÓN* DE LA ARMADURA DENTRO DEL HORMIGÓN.**

- **LAS QUE SE ORIGINAN COMO CONSECUENCIA DE *DEFICIENCIAS EN LA EJECUCIÓN DE LA ARMADURA.***

DEFECTOS DEL ACERO

El propio fabricante debe garantizar, mediante ensayos, la idoneidad de los aceros para hormigones armados. Los ensayos de comprobación del acero son exhaustivos y, en general, permiten su empleo con suficiente garantía. Las características suministradas por los proveedores en general son el diámetro, el peso por metro y el tipo de acero. Deberán detallarse también las características mecánicas y de adherencia y si fuera el caso de acero corrugado, sus características geométricas.

Los principales defectos que puede presentar un acero para hormigón armado, son fundamentalmente:

- **LAS IMPUREZAS.**
- **LOS DEFECTOS SUPERFICIALES.**
- **LA CORROSIÓN SUPERFICIAL.**

Se presentan como impurezas de la aleación, inclusiones de sustancias extrañas y gases retenidos. Las primeras están formadas por fósforo, azufre, manganeso y silicio. Estos dos últimos deben considerarse impurezas sólo si superan determinados porcentajes en la aleación.

El fósforo y azufre no deben rebasar respectivamente el 0,04 % pudiendo ser peligroso que supere dicha cantidad. Los porcentajes antes nombrados deben estar homogéneamente distribuidos para que tengan alguna incidencia significativa en el comportamiento del acero.

Las inclusiones de sustancias extrañas son elementos que quedan retenidos en la masa del acero y que poseen un alto punto de fusión (óxidos, silicatos, sulfuros).

Su efecto es la producción de una discontinuidad en el metal que lo debilita, no sólo por su presencia, sino porque provoca concentración de tensiones en él. La peligrosidad de dichas inclusiones depende de su abundancia, distribución, configuración y tamaño.

Los gases retenidos en el acero se pueden formar cuando éste está a alta temperatura, y especialmente en estado liquido. En dicho estado, el acero disuelve una proporción elevada de gases, que durante el enfriamiento no llega a desprender totalmente. En la mayoría de los casos se trata de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno provenientes de la atmósfera.

Los más comunes son los pliegues, producidos por una forja incorrecta. Las caras del acero, oxidado por estar caliente, no se sueldan totalmente, generando un peligroso principio de grietas.

Otro defecto generado durante la fabricación del acero suele ser los desgarramientos superficiales, producidos por una deformación demasiado rápida del mismo.

Los defectos anteriores se generan durante el proceso de fabricación, en cambio, la corrosión superficial del acero se produce, en general, como consecuencia de un inadecuado almacenamiento o por la exposición a un ambiente corrosivo.

Muchas veces las armaduras quedan en espera largo tiempo, expuestas a la intemperie, permitiendo que comience el proceso corrosivo. También los excesivos doblados a los que se someten las armaduras para facilitar su desplazamiento o almacenamiento son generadores de dicha corrosión.

CORROSIÓN DEL ACERO

Entre los fenómenos que afectan de forma negativa a las armaduras del hormigón armado, encontramos los que son producidos por los efectos de la humedad.

Estos fenómenos, como la corrosión y la acritud afectan a las barras de acero en contacto con el medio ambiente.

La acritud en las barras de acero no suele ser un fenómeno muy importante, pero en aceros de pretensados puede ser determinante.

Es un fenómeno que se produce por la introducción de hidrógeno en el cuerpo del acero. El hidrógeno puede introducirse y atacar al acero debido a un proceso de decapado del hierro en ácidos o bien por estar expuesto en un ambiente que contenga gases como el cianhídrico, sulfhídrico, etc.

Las barras de acero afectadas por la absorción de hidrógeno se vuelven frágiles y se rompen ante la mínima solicitud de tracción.

La corrosión se produce por la formación de oxido de tipo laminar que al ser expansivo puede generar la rotura del hormigón circundante.

El deterioro del acero, afecta el aspecto, la sección y por consiguiente la resistencia de dicho material.

Para que este fenómeno se produzca, es necesaria la presencia de agua o al menos de humedad, por lo tanto las condiciones del medio ambiente son decisivas debido a su influencia. Es necesario tener en cuenta que la acción de la humedad, combinada con las variaciones térmicas producen intensidades de corrosión diferentes.

El fenómeno de la corrosión puede clasificarse según dos tipos. Una posibilidad sería la corrosión del tipo químico y otra del tipo electroquímico.

De todas formas, no hay una división fija y clara entre uno y otro, pero en líneas generales la corrosión química se extiende a toda la superficie del acero y la electroquímica se manifiesta en puntos que actúan como ánodos.

Asimismo la corrosión electroquímica aparece principalmente cuando el acero posee características heterogéneas. Estas heterogeneidades son debidas a distintos factores, entre los que se encuentran las tensiones a las cuales está sometido el acero, sus componentes naturales o bien el medio en el que se encuentra.

DEFICIENCIAS EN LA EJECUCIÓN DE LA ARMADURA

De la misma manera que para el hormigón en su proceso de ejecución, la disposición de las armaduras también puede originar defectos. Las diferentes etapas en que se puede dividir dicha tarea son la del ***PROYECTO***, el trabajo de ***CORTE***, el ***DOBLADO*** y la ***COLOCACIÓN***. La ferralla, conjunto de armaduras del hormigón armado, se especifica en los planos de proyecto, tras el dimensionado de las secciones con base en el cálculo de esfuerzos de la estructura.



Dos casos de armaduras mal posicionadas: arriba la armadura de una voladizo se encuentra en la parte inferior, abajo las armaduras de la pantalla de hormigón casi no tienen recubrimiento.

EMPLEO / CEMENTO	P-350	P-450	P-550	PA-350	PA-450	PA-550	S-I-350	S-I-450	S-II-350	S-III-250	S-III-350	PUZ-I-250	PUZ-I-350	PUZ-I-450	PUZ-II-250	PUZ-II-350	PUZ-II-450	C-200	A-550	NL-30	NL-80	NR-20	P-350-ARI	P-450-ARI	P-550-ARI	P-350-Y	P-450-Y	P-550-Y	P-350-BC	P-350_B	P-450-B	P-550-B	C-200-B
Hormigón en masa																																	
Obras de hormigón en masa de pequeño o mediano volumen	o			o								o			o							x				o			o	o			
Obras de hormigón en masa de mediano o gran volumen												o			o				x				x	x	x				o				
Obras de hormigón en masa de gran volumen	x											o							x				x	x	x	x			o	x			
Obras de hormigón en masa mediano volumen, con endurecimiento rápido																							o	o									
Obras de hormigón en masa o armado, incluso de gran volumen, que requiera un calor de hidratación moderado				o			o		o																				o				
Obras de hormigón en masa o armado, incluso de gran volumen, que requiera un calor de hidratación bajo o muy bajo									o	o	o	o			o														o				
Hormigón armado																																	
Obras de hormigón armado	o	o		o	o					x		x						x		x	x	x				o	o		o	o	o		x
Piezas armadas de gran volumen con peligro de fisuración por retracción hidráulica y térmica		x	x		x	x							o	o		o	o	x					x	x	x		x	x	o		x	x	x
Obras de hormigón armado de mediano volumen, con endurecimiento rápido																							o	o									
Obras de homigón armado de alta resistencia			o			o																						o				o	
Obras de hormigón armado, de endurecimiento muy rápido y altas resistencias																								o	o								
Prefabricacion, especialmente por tratamientos higrotermicos sin presión	o			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x		x	x	x	o	o	o	o				o	o	o	x
Prefabricados sin tratamientos higrotérmicos			o		o	o																	o	o	o			o	x		o	o	

Referencias o: Indicado x: No indicado

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DEL USO DE LOS CEMENTOS

(Fuente: Patología y terapéutica del hormigón armado).

EMPLEO / CEMENTO	P-350	P-450	P-550	PA-350	PA-450	PA-550	S-I-350	S-I-450	S-II-350	S-III-250	S-III-350	PUZ-I-250	PUZ-I-350	PUZ-I-450	PUZ-II-250	PUZ-II-350	PUZ-II-450	C-200	A-550	NL-30	NL-80	NR-20	P-350-ARI	P-450-ARI	P-550-ARI	P-350-Y	P-450-Y	P-550-Y	P-350-BC	P-350_B	P-450-B	P-550-B	C-200-B
Obras de desencofrado rápido		o	o		o	o																		o	o		o	o			o	o	
Hormigones pretensados																																	
Obras de hormigón pretensado		o	o			o				x		x			x			x		x	x	x	o				o	o			o	o	x
Ciertas obras o elementos de hormigón pretensado	o			o					x	x		x						x		x	x	x	o							o			x
Obras de hormigón pretensado con endurecimiento rápido																								o									
Obras de hormigón pretensado con endurecimiento muy rápido y altas resistencias																									o								
Hormigón pretensado con alambres delgados, poco recubiertos o en ambientes salinos							x	x				x	x	x	x	x	x	x															
Morteros																																	
Morteros de agarre y recubiertos				o								o	o		o	o		o		o	o	o											
Morteros con dosificaciones altas	x											o			o			o		o	o	o				x				x			
Obras de fábrica de ladrillo																		o															
Refractarios																			o														
Durabilidad																																	
Obras en ambientes, aguas o terrenos agresivos	x	x	x	x	x	x												x		x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x
Obras de hormigón en masa o armado en contacto con aguas o terrenos yesíferos (según resistencias mecánicas)																			o							o	o	o					

Referencias o: Indicado x: No indicado

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DEL USO DE LOS CEMENTOS

(Fuente: Patología y terapéutica del hormigón armado).

EMPLEO / CEMENTO	P-350	P-450	P-550	PA-350	PA-450	PA-550	S-I-350	S-I-450	S-II-350	S-III-250	S-III-350	PUZ-I-250	PUZ-I-350	PUZ-I-450	PUZ-II-250	PUZ-II-350	PUZ-II-450	C-200	A-550	NL-30	NL-80	NR-20	P-350-ARI	P-450-ARI	P-550-ARI	P-350-Y	P-450-Y	P-550-Y	P-350-BC	P-350_B	P-450-B	P-550-B	C-200-B
Medios mediana y fuertemente agresivos							x	x	x									x															x
Obras de hormigón en masa o armado en ambientes ligeramente agresivos por salinidad (según grado de agresividad)							o	o	o	o	o									x													
Obras de hormigón en masa de mediana o baja resistencia, en ambientes agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral												o			o																		
Obras de hormigón en masa o armado, en ambientes agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral. (según resistencias mecánicas)												o	o	o	o	o	o																
Obras de hormigón en masa o armado, en las que existen áridos sospechosos de reactividad con los álcalis												o	o	o	o	o	o																
Obras en terrenos yesíferos y en ambientes ligeramente ácidos																			o							o	o	o					
Condiciones de puesta en obra																																	
Hormigonado en tiempo frío									x	x	x	x	x		x	x										x	x		x				
Hormigonado a bajas temperaturas (temperatura inferior a 20ºC)							x	x															o	o	o								
Hormigonado en tiempo muy frío																			o					o	o			x	x				
Hormigonado en ambiente muy seco		x				x	x	x	x	x	x								x				x	x	x			x				x	
Otras aplicaciones																																	
Firmes de carretera	o	o		o	o								o	o		o	o	x	x	x	x	x				o	o		o				x
Firmes de carretera pretensadas		o	o		o	o												x	x	x	x	x											x

Referencias o: Indicado x: No indicado

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DEL USO DE LOS CEMENTOS

(Fuente: Patología y terapéutica del hormigón armado).

EMPLEO / CEMENTO	P-350	P-450	P-550	PA-350	PA-450	PA-550	S-I-350	S-I-450	S-II-350	S-III-250	S-III-350	PUZ-I-250	PUZ-I-350	PUZ-I-450	PUZ-II-250	PUZ-II-350	PUZ-II-450	C-200	A-550	NL-30	NL-80	NR-20	P-350-ARI	P-450-ARI	P-550-ARI	P-350-Y	P-450-Y	P-550-Y	P-350-BC	P-350_B	P-450-B	P-550-B	C-200-B
Estabilidad de suelos	o			o			o		o	o	o															o			o				
Pavimentos según características	o	o		o	o		o		o	o	o	o	o		o	o		o								o	o			o	o		o
Cimentaciones											o	o	o		o	o																	
Obras subterráneas (según durabilidad y resistencia)							o		o	o	o	o	o		o	o																	
Obras marítimas							o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x		x	x	x											x
Obras hidráulicas (presas)												o	o		o	o																	
Obras de reparación y carácter temporal																			o														
Taponamiento de vías de agua (mezcla A-550 + P-350)																			o			o											
Solados																		o															
Solados blancos o claros																													o				o
Terrazos				o														o															
Terrazos blancos o coloreados																													o				o
Obras en las que importe el cambio de tonalidad (manchas)							x	x	x	x	x																						
Obras con hormigones blancos o de color claro																													o	o	o		
Hormigones coloreados																													o	o	o		
Hormigones refractarios																			o														
Mezcla con otros cementos salvo Pórtland y solo para taponamiento																			x														

Referencias o: Indicado x: No indicado

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DEL USO DE LOS CEMENTOS

(Fuente: Patología y terapéutica del hormigón armado).

Esta documentación, pasa al personal que ejecutará el trabajo, quien tras las operaciones de corte y doblado de las barras de armadura, conforma las mismas para ajustarse a lo especificado en los planos colocándola en el molde o encofrado.

En cada una de las operaciones enumeradas, se pueden producir errores, que en la mayoría de los casos denotan un desconocimiento técnico del papel que la armadura juega en los elementos estructurales de hormigón armado.

La documentación básica del proyecto para la elaboración de la ferralla tiene una importancia decisiva ya que una gran fuente de errores tiene su base en el propio proyecto. Los errores más comunes son que los planos de armadura vengan con la armadura sin despiezar, con falta de cotas para definir los desarrollos de las barras obligando a tomar medidas a escalas y sin indicación de los puntos correctos para realizar el solape.

Esto implica, en muchos casos, que tengan que tomar decisiones técnicas sobre tales puntos, que entrañan un riesgo potencial importante, personal no específicamente cualificado para estos fines.

Los errores de corte, no tienen, en general, una gran tras-cendencia estructural y podríamos indicar que rara vez han conducido a problemas serios.

En los casos en los cuales se han detectado tales errores, se han sobrepasado ampliamente las tolerancias, habiendo tenido que disponer armaduras adheridas o refuerzos para solucionar el problema.

Los errores que se cometen en las operaciones de doblado son creados, fundamentalmente, por adoptar radios de doblado muy inferiores a los que se exigen para la calidad de acero empleado.

Este problema afecta a barras de diámetros gruesos, mayores a 20 mm, por no disponer el mandril reglamentario, y a la generalidad de las barras que son puestas en posición ya en obra mediante conformaciones bruscas con grifa. El problema se detecta por fisuras en los codos, y frecuentemente por rotura incluso de la armadura. En la actualidad es más frecuentemente encontrado, por el empleo de aceros más duros.

La colocación de las armaduras puede ser causa de defectos en el hormigón, si se superan tolerancias lógicas. Por ejemplo, armaduras de momentos negativos corridas hacia un lado de los dos adyacentes, solapes insuficientes en unos puntos, obteniendo solapes excesivos en el lado contrario.

Es sistemático también encontrarse con valores de recubrimientos inferiores a los recomendados, lo cual hace a la estructura muy susceptible ante problemas de durabilidad. La omisión de tacos o fijaciones para mantener las separaciones a las paredes del encofrado es la causa básica.

Otro defecto de colocación es la falta de rectitud de barras tanto en tracción como en compresión.

Ligeras desviaciones en el eje de la armadura por un combado local, pueden tener una influencia negativa en la contribución de la armadura.

Dicho problema no se manifiesta, en general, en piezas comprimidas porque es normal que la contribución de la armadura sea pequeña frente a la capacidad del hormigón.

Los combados en tracción sí tienen influencia en el comportamiento de las piezas, aumentando su capacidad potencial de fisuración frente a cargas reducidas.

También es común encontrar zonas densas de armadura que no permiten el paso al hormigón generando oquedades en su masa. En algunos casos el problema ha sido motivado por un error de proyecto, al no haberse previsto los cruces de armadura, mientras en otros se ha motivado por conformaciones de la propia ferralla.

PROTECCIÓN

En los hormigones, la corrosión se produce en las barras de acero, por lo cual la protección de las mismas es de gran importancia. Esta se realiza por medio del recubrimiento y por la incorporación de productos industriales que impidan el paso de humedad por capilaridad al interior de la masa del hormigón.

Asimismo es de tener en cuenta que los aceros de pretensado que se encuentren sometidos a tensiones muy próximas a su limite elástico son propicios a ser afectados por el fenómeno de la corrosión electroquímica. Para que esta se produzca, es necesario que el medio posea determinadas características.

Deben encontrarse simultáneamente soluciones acuosas de sales, bases o ácidos y oxígeno. Si la presencia de alguno de estos elementos faltase, siendo el caso de un hormigón en un ambiente totalmente seco o por el contrario, cuando dicho hormigón se encuentre sumergido en agua por completo, la corrosión no existiría dado que faltaría alguno de estos dos elementos necesarios para que se produzca dicho fenómeno.

Dado que el medio ambiente posee características agresivas químicamente para los hormigones, la durabilidad de un hormigón armado expuesto a la intemperie, luego de unos años, comienza a ser afectado por un proceso de degradación en la armadura.

Cabe destacar que la duración de dicho hormigón en condiciones ideales seria bastante superior.

La disminución de la sección de las barras de acero del hormigón por el efecto de la corrosión afecta decisivamente su resistencia mecánica, por lo tanto las armaduras en el hormigón armado deben estar protegidas por el recubrimiento.

La alcalinidad del hormigón permite la formación sobre la superficie del acero, de una película pasivadora. Una vez que se ha formado esta delgada película de oxígeno y debido a su baja permeabilidad, evita el desarrollo del proceso electroquímico.

Esta película es muy sensible con lo cual puede destruirse fácilmente si el hormigón es permeable, ya que el CO del aire puede entrar y reaccionar con el Ca, reduciendo la alcalinidad del hormigón.

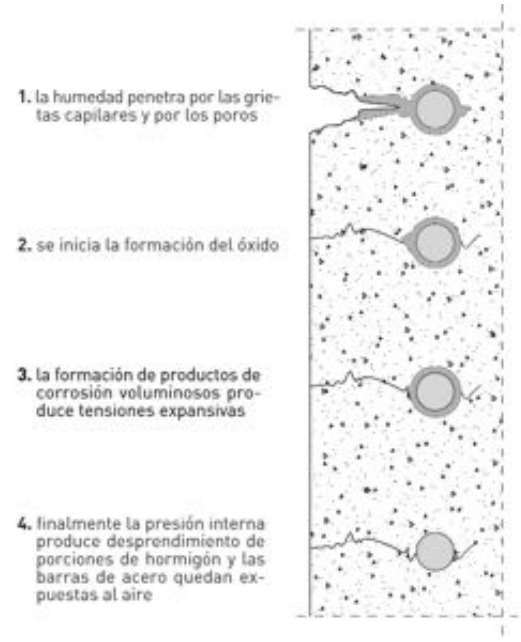


El uso de distanciadores es fundamental para lograr el recubrimiento mínimo protector de las armaduras. De izquierda a derecha: Universal, Ferropes Gancho y Ruver.

Asimismo la presencia de cloruros solubles en el hormigón actúan en decrecimiento de la estabilidad de la película pasivadora.

La velocidad del proceso corrosivo es difícil de estimar una vez que el acero ha sido incorporado a la masa del hormigón. Debido a esto, es necesario prestar mucha atención durante la composición y fabricación del hormigón ya que en este proceso de ejecución es cuando se determina la calidad de su composición y la del recubrimiento, que deben ser lo suficientemente buenas para que su duración sea larga y confiable.

Lo que protege la armadura de las agresiones externas que producen la corrosión es el recubrimiento de las mismas. Para que el recubrimiento pueda actuar de forma eficaz, ha de superar un espesor mínimo a los 2 centímetros.



Influencia de la corrosión sobre las barras de acero sin galvanizar. En un período de tiempo relativamente corto pueden producirse daños de importancia en el acero y pérdida de resistencia. Las armaduras galvanizadas no sufren esta corrosión y conservan intacta su adherencia al hormigón.

La fisuración que aparece en el hormigón como consecuencia de la corrosión del acero se suele presentar en líneas paralelas siguiendo la dirección de las armaduras principales e incluso de los estribos. La intensidad de la fisuración puede tener diferentes amplitudes, dependiendo del avance del fenómeno corrosivo.

Según la magnitud de este fenómeno, llegan a producirse grietas de importantes dimensiones y un considerable aumento de volumen del óxido, que podría llegar a ser de unas 10 veces al del acero original. Si la corrosión está muy avanzada las tensiones que se producen por este aumento de volumen interno, pueden ser muy notables.

FACTORES QUE FACILITAN LA CORROSIÓN

El deterioro se produce de forma acelerada si no son considerados algunos aspectos en la ejecución del hormigón. Si durante esta etapa, que incluye el amasado y fraguado, se producen fallas por no realizar los procesos correctamente, podrían producir una formación excesiva de poros o un tamaño de los mismos mayor al necesario.

Esto hace que la resistencia mecánica del hormigón sea menor a la necesaria, ya que si los poros son de grandes dimensiones probablemente se intercomuniquen formando cavidades, facilitando que la humedad del medio ambiente penetre hasta el interior de la masa.

Así las barras de acero entran en contacto con la humedad del medio ambiente. De esta manera el proceso de oxidación produce sus efectos de forma más acelerada.

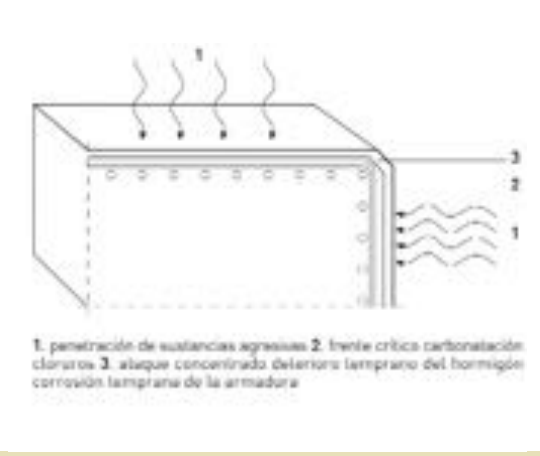
Cuando se realiza un hormigón, la existencia de poros es inevitable, pero la cantidad no debe ser excesiva y es importante considerar su diámetro para evitar que estos se intercomuniquen durante el fraguado.

La relación agua/cemento adecuada requiere un 40 % de agua en proporción al peso de cemento, de la cual un 25 % aproximadamente actúa como agua de cristalización y el otro 15 % es el agua de gelificación para el amasado.

Durante el secado del hormigón, este porcentaje es absorbido por el medio físico. Durante la evaporación de esta cantidad de agua, se dan lugar a la formación de poros.

La proporción a/c = 0,4, no debería superarse ya que si el agua sobrepasa el 40 %, este exceso generaría el aumento del tamaño y la cantidad de los poros por efecto de la evaporación. Con anterioridad hemos anticipado las condiciones negativas debidas a una alta porosidad. Esto favorece la penetración por capilaridad de agua y de gases.

Asimismo, en zonas expuestas a bajas temperaturas se da lugar a que se produzca el peligroso efecto de las heladas. Estos fenómenos deterioran considerablemente las características del hormigón.



1. penetración de sustancias agresivas 2. frente crítico carbonatación cloruros 3. ataque concentrado deterioro temprano del hormigón corrosión temprana de la armadura

Concentración de sustancias agresivas en esquinas y cantos salientes afilados (efecto de esquina).







Armaduras con corrosión.

Se ha comprobado que por medio de un incremento de la relación A/C de 0,4 a 0,75 se cuadruplica la velocidad de carbonatación ya que el número de poros en el hormigón aumenta en más de 100 veces.

Las fisuras en el hormigón prácticamente no pueden evitarse. La complejidad de estas reside en su ancho. Si el medio ambiente tiene condiciones muy agresivas para el hormigón, es necesario mantener controlado el ancho de estas fisuras. No es considerable el riesgo de oxidación en fisuras de anchos menores a 0,2 mm, siempre que el medio presente una atmósfera no agresiva. A su vez, el recubrimiento de hormigón de la armadura debe superar el espesor de carbonatado.

Si el ambiente donde se encuentra el hormigón tiene características especiales como una atmósfera marina o industrial, el riesgo de oxidación se considerará si aparecen fisuras de anchos aproximados a 0,1 mm.

Asimismo, si la situación es la de un depósito de agua o presas, para que se produzca la oxidación de la armadura bastaría con fisuras de anchos incluso inferiores a 0,1 mm.

El medio ambiente influye de forma decisiva en el proceso de corrosión que afecta las barras de acero.

Las variaciones climáticas inciden en la acción de la humedad, y ésta, combinada con sales como cloruros y sulfatos tienen gran influencia en los problemas de la corrosión.

En los ambientes industriales es frecuente la agresividad química debido a las impurezas que contiene el anhídrido sulfuroso que conjuntamente con la lluvia producen la formación de ácidos sulfurosos o sulfúricos. Esta conjunción, no sólo neutraliza la alcalinidad que se genera por medio de los hidróxidos, sino que asimismo reaccionan con el carbonato cálcico.

De esta manera se puede generar la formación de cristales de yeso o compuestos de aluminio, los cuales darán como resultado un aumento del volumen y luego provocará desprendimientos de la masa del hormigón.

LA CARBONATACIÓN

La carbonatación es el proceso por el cual el hormigón de recubrimiento pierde la alcalinidad que mantiene protegida la armadura. El mecanismo por el cual se produce es la reacción del dióxido de carbono de la atmósfera con las sustancias alcalinas de la solución de los poros y con los componentes hidratados del hormigón. Esto genera un descenso del pH del hormigón por debajo de un valor crítico situado alrededor de 9,5. A partir de dicho valor no se puede garantizar la protección de la armadura.

La carbonatación en el hormigón armado se produce avanzando desde el exterior. Las posibilidades de difusión de la carbonatación están en relación al tiempo y la profundidad. El espesor del recubrimiento inciden en la acción de estas variables.

Por lo tanto, un hormigón puede presentar varios niveles de penetración de la carbonatación que estarían relacionados con la calidad del hormigón en cuestión.

De esta manera se hace evidente que la velocidad de carbonatación está relacionada con la porosidad de la masa de hormigón. Cuanto más ricos en cal sean los cementos, más eficaces serán para proteger las armaduras de acero ya que poseen mayor alcalinidad.

Por esto los cementos que contienen productos menos básicos como las escorias y los puzolánicos son más recomendables. Por este motivo y dadas sus características, en general se utiliza el cemento Pórtland para que la calidad de los hormigones sea óptima.

PENETRACIÓN DE CLORUROS

Los cloruros pueden afectar al hormigón tanto desde el interior como desde el exterior. La masa del hormigón es un compuesto heterogéneo formado por distintos elementos. Los áridos son constitutivos de la masa y sin embargo pueden generar alguna lesión.

De esta manera se puede favorecer la corrosión desde el interior de la masa. Otro factor podría ser que se haya incorporado cloruro cálcico como aditivo para acelerar el proceso de fraguado. Si alguna de estas situaciones sucede, es posible que la barra de acero nunca esté pasivada establemente y la corrosión podrá desarrollarse rápidamente.

Si los cloruros proceden desde el exterior, la función protectora del recubrimiento sobre la armadura tendrá un valor determinado y finito. Asimismo, serán los mecanismos de transporte los que dominan el fenómeno de movimiento de los cloruros, por lo cual puede decirse que los valores bajos de succión capilar y de difusión aumentarán el tiempo de resistencia al comienzo de la corrosión. Estos se consiguen con una relación agua/cemento baja, un contenido de cemento elevado para favorecer su compacidad y un curado correcto.

En el caso de que el hormigón no esté fisurado, los cloruros libres son los únicos capaces de producir el ataque, y es importante destacar que los cloruros combinados pueden volver a liberarse por acción de los sulfatos y de la carbonatación.

INVESTIGACIÓN Y DIAGNOSIS

Antes de proceder a realizar una reparación, debe ser identificada tan claramente como sea posible la causa del daño. En ocasiones, ésta resulta obvia, pero a menudo es necesario llevar a cabo una minuciosa investigación que permita identificar el origen de las lesiones.

En general, cuanto más tiempo medie entre la construcción del edificio y la aparición de las lesiones, más complejo será su diagnóstico. Tras identificar la causa, el siguiente paso será definir el objetivo de la reparación. Estos en general buscan alcanzar o mejorar la seguridad en cuanto a la capacidad de carga, y sus expectativas de durabilidad en servicio.

Otros aspectos buscados son el incremento de la resistencia mecánica de la estructura, restaurar o mejorar el aspecto exterior, o reconstituir la función original de la estructura. Además, en toda reparación debe ser considerada la posibilidad de realizar reparaciones permanentes o bien temporales.

La seguridad de una estructura de hormigón, frente a las acciones a las que se encuentra sometida, sólo se puede garantizar si se dispone de un margen o coeficiente de seguridad suficiente. Para una durabilidad aceptable en relación a las expectativas, se deberá disponer de la protección física y química equilibrada con la vida útil prevista. Dicha protección es la que hemos estudiado en los capítulos referidos a los ataque por agentes físicos y químicos.

Las razones que nos conducen a hacer el diagnóstico de una estructura de hormigón pueden ser muy variadas y hay que tenerlas presentes en el momento de orientar nuestro trabajo. Los siguientes son algunos de los posibles motivos:

- **DEGRADACIÓN** por falta de protección contra las condiciones del entorno (fisuración, corrosión)
- **POSIBLE INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL** deducida por la aparición de síntomas o de lesiones (fisuras, flechas excesivas)
- **DUDAS SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA**, al haber estado sometida a unas condiciones extremas (incendios, terremotos, explosión, cargas excesivas).
- **PREVISIÓN DE UN AUMENTO DE LAS CARGAS ACTUALES** como consecuencia de un cambio de uso o por la realización de unas reformas.

En los tres primeros casos, será el estudio de las lesiones que presenten todos y cada uno de los componentes de la estructura el que nos permitirá conocer las causas que las han provocado y en consecuencia las deficiencias estructurales.

Una vez encontradas las primeras hipótesis surgidas de las lesiones aparentes, se podrá entrar en el análisis de los materiales y en la peritación estructural.

En el último caso, las dimensiones, el conocimiento de los materiales y el recálculo estructural serán las herramientas básicas de trabajo.

La diagnosis de una estructura exige seguir un proceso ordenado en su reconocimiento. Es conveniente trabajar con una metodología que nos permita ir avanzando por etapas sucesivas hasta llegar a las conclusiones finales.

Las tres etapas esenciales de todo proceso de diagnosis suelen ser las siguientes:

- **OBSERVACIÓN**
- **ESTUDIOS PREVIOS**
- **DIAGNÓSTICO**

OBSERVACIÓN

El objetivo de la observación será determinar la necesidad o no de pasar a la fase de diagnosis, que implica un conocimiento más amplío del edificio. Esta primera etapa del proceso, consiste en hacer un reconocimiento inicial del edificio y en particular de sus componentes estructurales de hormigón, con el objetivo de identificar sus características fundamentales y detectar la presencia de síntomas o lesiones.

Se procederá visualmente buscando defectos en los elementos estructurales, del tipo:

- **DEFORMACIONES EXCESIVAS** en elementos horizontales.
- **CAMBIOS DE ASPECTO SUPERFICIAL** del hormigón.
- **FISURACIONES O GRIETAS** en elementos estructurales.
- **FISURACIONES** en elementos no estructurales que puedan ser causados por fallos estructurales.

En la gran mayoría de los casos, la información necesaria para una diagnosis satisfactoria puede ser obtenida a través de una cuidadosa observación un tanto intuitiva, de la seguridad y durabilidad de la estructura, y determinar, si es el caso, medidas urgentes de prevención.

En general para esta primera fase, la cantidad de ensayos a realizar es usualmente pequeña. Las características de la prediagnosis, se la puede plantear como una inspección exclusivamente ocular. En esta se detectarán todos los defectos aparentes, al tiempo que se hará una primera estimación dimensional y tensional de los diferentes componentes estructurales.

En algunos casos esta inspección se puede apoyar con catas en puntos significativos y con el uso de algún instrumento de lectura sencillo. También, durante esta fase, se recogerán planos, documentación sobre el edificio y otras informaciones disponibles que puedan resultar útiles a los efectos del análisis y la valoración.

Algunos datos obtenidos en esta etapa de observación pueden conducirnos a determinar las causas del deterioro de la estructura. La propia textura de una superficie de hormigón y la detección de un reblandecimiento general y una disgregación del soporte pueden sugerir la existencia de ataques químicos.

En el caso del ataque por sulfatos, el emblanquecimiento del hormigón es un síntoma claro. Si aparecen grietas, éstas pueden aportar valiosa información. Su decoloración o la presencia de suciedad sugieren que llevan abiertas largo tiempo, a pesar de haberse manifestado en la superficie sólo recientemente.Las grietas en red indican retracciones plásticas, ataque de heladas o, en casos más raros, la existencia de una reacción álcalis-aditivos.

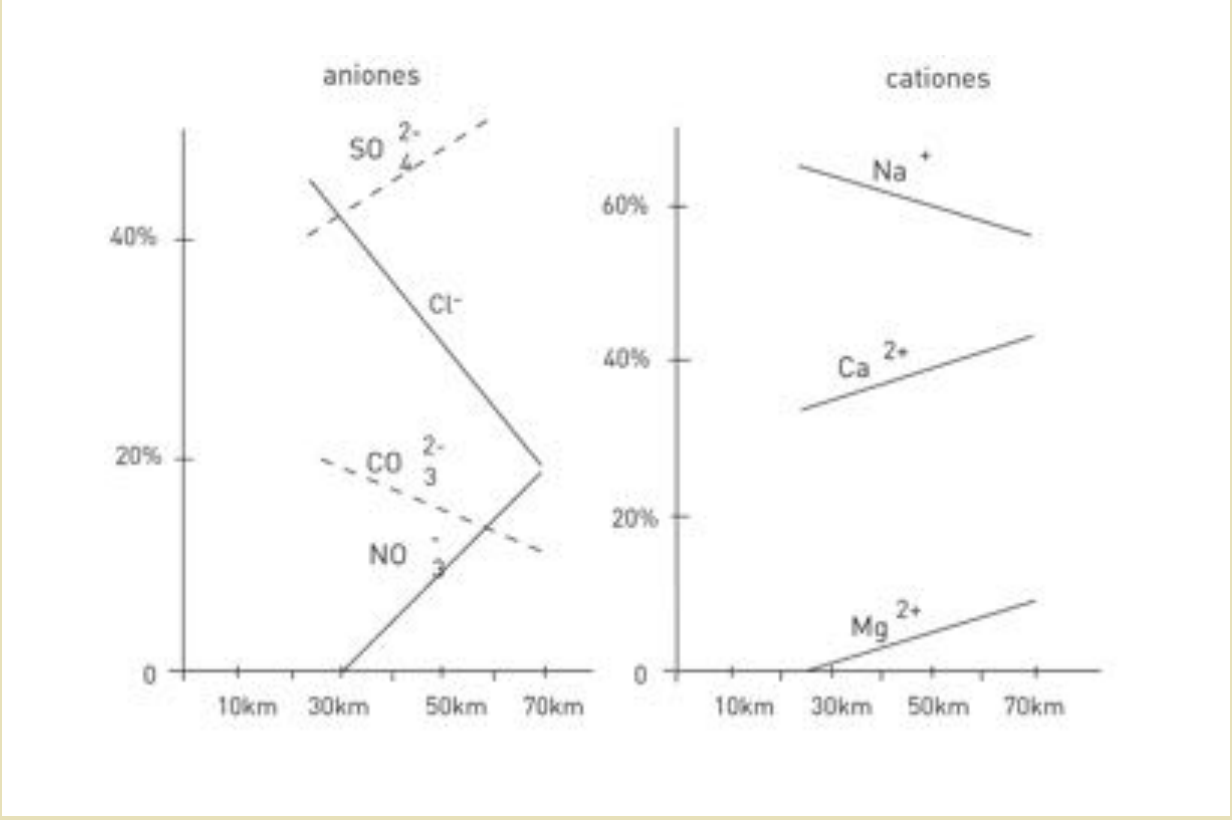
Las exudaciones son generalmente resultado del agua pasando a través de las grietas y extrayendo a la superficie sales de calcio o geles de reacciones álcalis-aditivos. Las grietas rectas indican la acción de tensiones excesivas pero uniformes. En estructuras dañadas por el fuego, el color del hormigón puede ayudarnos a determinar la temperatura máxima alcanzada.

Una de las conclusiones básicas que se puede obtener en esta etapa inicial es la necesidad o no de seguir el proceso de diagnosis. La determinación de no seguir puede surgir por dos razones totalmente contrapuestas; o bien por el buen estado de la estructura que simplemente requiere de trabajos puntuales y localizados o por un estado irrecuperable de la estructura por el cual no vale la pena malgastar esfuerzos ni recursos económicos.

Fuera de estos dos extremos, esta etapa servirá para orientar la próxima fase indicando las zonas donde debe dedicarse mayor atención en los estudios previos, asi mismo se podrá planificar la campaña de inspección y ensayos e incluso recomendar la adopción de refuerzos provisionales para evitar riesgos por colapso parcial del edificio

ESTUDIOS PREVIOS A LA DIAGNOSIS

Esta etapa, consiste en la recolección de la información en todos los aspectos que se considere necesario para llegar a conocer en profundidad la estructura.



Variación de la concentración de iones a medida que nos alejamos de la costa. Muestra realizada en Mc. Murdo, Antártida, por Keys y Williams, 1981.
(Materiales de la Construcción, vol. 4 Nº 235, septiembre 1994).

Sin embargo, se debe tratar de lograr un equilibrio entre el esfuerzo a realizar en la recogida de información y su utilidad, buscando siempre un correcto diagnóstico con relación a los objetivos de la futura intervención. La diferencia fundamental entre esta fase y la anterior, está en la orientación de estos estudios, ya que los posibles campos de recogida de información son muy variados.

En función de las características propias de la futura intervención y del elemento sobre el que se va a actuar, es el técnico diagnosticador quien determinará como orientar la investigación.

La observación ya realizada en la etapa anterior servirá como base de partida para la determinación de los aspectos concretos que se hayan detectado como más significativos de cara a los trabajos previstos.

Esta fase del proceso, en general, requiere de la participación de equipos pluridisciplinares coordinados que trabajen cada uno en su especialidad en la obtención de las informaciones precisas que resultaran útiles en la determinación del diagnóstico definitivo.

Así mismo, se deberá tener en cuenta los diversos aspectos inherentes al edificio que exigen la retirada de los elementos decorativos que ocultan la estructura u otros entorpecimientos a la labor prevista. El trabajo se lleva a cabo, muchas veces con la ayuda de medios auxiliares que permiten el acceso a todos los puntos de interés y de difícil accesibilidad.

LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El proceso de inspección del propio edificio es, por lo general, la mejor y mayor fuente de información en el trabajo de diagnosis de una estructura de hormigón. Lo cual no implica que ésta sea la única fuente de información posible y que haya que desechar otras opciones.

Según los distintos casos, las fuentes complementarias pueden tener origen diversos. Los siguientes son algunos ejemplos posibles de fuentes de información:

- **LOS ARCHIVOS DEL PROPIO EDIFICIO**, planos municipales, de los técnicos proyectistas u otros documentos explicativos para su construcción (el proyecto original, proyectos de reforma, informes anteriores, estudios geotécnicos) contienen a menudo información valiosa que nos ahorra trabajo y hacen más confiables los resultados.

- **LA INFORMACIÓN VERBAL DE LOS PROPIOS USUARIOS**, en cuanto a la aparición y evolución de algunas lesiones, circunstancias extraordinarias o accidentales vividas por el edificio.

- **LA ÉPOCA DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA** y la normativa de aplicación vigente en su momento. Las exigencias de esta normativa nos puede orientar en algunos puntos conflictivos de la estructura que requerirán una atención especial en las fases de inspección y de recálculo.

- **LOS ASPECTOS HISTÓRICO-ARTÍSTICOS** (si fueran relevantes) de la estructura o del propio edificio pueden adquirir un papel importante en la fase de diagnosis. Tipologías estructurales singulares o de autores significativos se han consolidado como patrimonios a proteger y requieren de una consideración muy particular en esta fase y en la posterior intervención. La documentación histórica del propio edificio y de sus autores resulta, en estos casos, de gran importancia.

- **LA AGRESIVIDAD AMBIENTAL DEL ENTORNO** resulta un campo de investigación importante para completar los estudios de durabilidad hechos sobre el comportamiento del material.

Cuando la obtención de informaciones en la etapa de observación y de estudios previos resulta difícil, es necesario recurrir a los ensayos de campo no destructivos, que ofrecen una medida directa de la resistencia a compresión del hormigón y tienen el mérito de poder recoger en poco tiempo un gran número de datos acerca del comportamiento de la estructura.

Por ejemplo, golpeando y escuchando el sonido de la superficie con un martillo ordinario. La diferencia de sonido, en comparación con el que sería propio de un cubo de hormigón estándar, puede servir para identificar la existencia de áreas en disgregación o de zonas de hormigón que han sido dañadas por el fuego.

MARTILLO SCHMIDT: somete al hormigón a un golpe a velocidad constante. La distancia hasta la cual rebota está en función de la resistencia del hormigón. Están disponibles curvas de calibración que aportan indicaciones acerca de la relación entre rebote y resistencia a compresión.

La velocidad del sonido en el hormigón está relacionada con su densidad y elasticidad, así como con su resistencia a compresión. De nuevo, es necesario obtener un punto de referencia tomando lecturas en un cubo de hormigón estándar.

Si transmitimos ultrasonidos a través del hormigón entre dos conductores, podemos registrar electrónicamente el tiempo que tardan las ondas en viajar entre uno y otro punto. Si también medimos la longitud recorrida, podremos calcular la velocidad de la onda.

Si es posible, los conductores deben ser colocados en extremos opuestos del elemento bajo ensayo, extremando el cuidado de no escoger vías de transmisión que contengan barras de armado, ya que la velocidad del sonido en el acero es mayor que en el hormigón.

Sea cual sea el ensayo que se elija, debe tenerse en cuenta que la resistencia del hormigón no tiene por qué coincidir en varias zonas.

Con objeto de valorar esta resistencia, debe en primer lugar conocerse la posición y medida de las armaduras, así como la profundidad del recubrimiento. En ausencia de datos, ello puede determinarse por medio de medidores electromagnéticos, siempre que las barras no estén demasiado cercanas unas de otras.

Algunos sistemas pueden incluso indicar el diámetro aproximado de las armaduras. La ***GAMMA-RADIOGRAFÍA*** permite detectar hasta las barras más profundamente embebidas en el hormigón, así como la existencia de oquedades muy profundas en la masa, pero se trata de un método costoso y lento.

El estado de las armaduras puede ser también valorado por medio de medidores de potenciales eléctricos.

Este método consiste en conectar un terminal en un punto de la armadura y otro a un electrodo de cobre inmerso en una solución de sulfato de cobre.

El electrolito está contenido en un tubo cerrado con una membrana permeable que está saturada con algún líquido conductivo y en contacto con la superficie del hormigón. Moviendo éste a través del elemento bajo examen es posible dibujar contornos equipotenciales.

Usualmente, las áreas que muestren potenciales por debajo de -350 mV en relación con el cobre/electrodo de sulfato de cobre contienen acero que ya no es pasivo, sino anódico, por lo cual puede estar sujeto a una activa corrosión. La corrosión es insignificante en áreas que muestren un potencial mayor a -20 mV.

Finalmente, la medida de la profundidad de carbonatación del hormigón es una tarea bastante simple que consiste en rociar la superficie con algún producto químico indicador de alcalinidad. Un cambio de color mostrará la diferencia entre hormigón carbonatado y no carbonatado.

El indicador más usado es una solución de fenolftaleína en dilución con alcohol etílico, que cambia su naturaleza incolora por un color púrpura cuando el valor de pH sube por encima de 10. Teniendo en cuenta que, en ausencia de cloruros, el acero se despasiva con un pH cercano a 11.

Este ensayo puede ser solamente aplicado a superficies expuestas y frescas de hormigón, ya que la reacción con el dióxido de carbono presente en la atmósfera empieza inmediatamente.

Además, debemos asegurarnos que la superficie carbonatada no esté contaminada con polvo procedente del hormigón no carbonatado.

Cuando sea necesario conocer la composición del hormigón lesionado, puede procederse a realizar análisis de laboratorio de muestras, tomadas de modo independiente en número de por lo menos cuatro. En grandes masas de hormigón, se requieren hasta 20 muestras, extraídas en todo su contorno.

La observación microscópica del hormigón permite identificar los aditivos empleados y el tipo de cemento, detectando además las reacciones álcalis-aditivo.

El contenido de cemento puede ser determinado a través de análisis químicos de sílice soluble o de calcio. En lo posible, deben usarse ambos ensayos, teniendo en cuenta que el segundo no puede aplicarse cuando el hormigón contiene limestone.

ESTUDIOS DE DIAGNOSIS

A partir de las hipótesis definidas en la etapa anterior se decidirá el procedimiento a seguir para obtener mayor información y así corroborar o no las hipótesis iniciales. Una de las partes más importantes de este procedimiento será la fijación de criterios de muestreo para cada prueba.

Resulta difícil establecer un standard en este sentido, por lo tanto cada caso será un caso particular. Para ayudarnos en esta labor podemos contar con multitud de herramientas y ensayos de soporte, que seguidamente se comentan.

FISURÓMETROS

Son las herramientas que permiten medir y cuantificar los movimientos producidos en una fisura en relación al tiempo o la temperatura (deformómetros, fisurómetros de regleta) y los que permiten medir el espesor de una fisura (galgas y cuentahilos). A continuación describiremos cada uno de ellos.

CUENTAHÍLOS

Es un pequeño instrumento que permite medir el grueso de la fisura con una precisión que puede llegar a ser de 0,1 mm, posee una o dos lentes de aumento y una escala graduada impresa en un cristal. La medición se lleva a cabo sobreponiendo el cuentahílos en la fisura.

FISURÓMETRO DE REGLETA

Regla de plástico, compuesta por dos piezas que se sujetan cada una de ellas, a uno de los lados de la fisura de forma permanente y que lleva incorporada una escala graduada, que permite llevar un seguimiento de su evolución. Proporcionan muy poca sensibilidad, aproximadamente 0,5 mm.

DEFORMÓMETRO

Consiste en una pieza metálica extensible que posee un comparador en la parte central que capta las variaciones de longitud. La medición se realiza instalando dos tetones fijados permanentemente a lado y lado de la fisura y colocando los extremos del deformómetro sobre ellos. Se obtiene información sobre el aumento o disminución de la distancia que los separa.

Es de especial aplicación para estudios de evolución de fisuras a largo plazo, ya que al dejar los dos tetones de forma permanente en el elemento, permite hacer lecturas diferidas en el tiempo. Tiene una precisión de hasta 0,001 mm.

Para realizar la medición de los elementos en un plano es necesario tomar lecturas entre tres puntos que formen un triángulo sobrepuesto a la fisura.

INSTRUMENTACIÓN MEDIANTE EXTENSÍMETRO ELÉCTRICO

Un extensímetro eléctrico o captador eléctrico de desplazamientos es fijado a un lado de la fisura y una placa o elemento de referencia al otro. El extensímetro al producirse el movimiento en la fisura genera un potencial eléctrico que es enviado al sistema de lectura y transformado en mm de desplazamiento.

Es un sistema adecuado para realizar lecturas en lugares de difícil acceso, dado que sólo es necesario acceder para realizar la instalación inicial y para la desinstalación.

Es posible programarlo previamente para obtener lecturas con la frecuencia deseada y relacionarlas con parámetros ambientales.

PACHÓMETRO

El pachómetro es un instrumento que puede detectar elementos metálicos ocultos. A los efectos de la diagnosis se utiliza para determinar la ubicación de las barras de acero de un elemento de hormigón.

Los hay de diferentes tipos, desde el más simple que informa de la posición y la dirección de la barra, hasta el más complejo, que además da una estimación del diámetro y del recubrimiento de la barra.

El artefacto, que consta de varias sondas, indica, en un módulo de lectura y control, la dirección de las armaduras localizadas según la geometría de las propias sondas. El funcionamiento se basa en la resistencia al flujo magnético generado por la sonda, que al situarse mas cerca de un elemento metálico, disminuye.

Los pachómetros analógicos, que miden potencial eléctrico, se los utiliza pasando la sonda por la superficie del hormigón, variando su dirección hasta obtener una lectura máxima que dependerá de la posición de la barra.

Con aparatos más complejos es posible determinar el diámetro y el recubrimiento a partir de la realización de dobles lecturas.

DETECCIÓN DEL CEMENTO ALUMINOSO MEDIANTE PACHÓMETRO

A través de una serie de estudios y ensayos se ha llegado a la conclusión de que cuando se coloca el palpador de un pachómetro en contacto con hormigón de cemento aluminoso, se obtiene una respuesta al campo magnético muy superior a la que aparece con cemento Pórtland.

Este método es de gran utilidad a los efectos de identificar la presencia de cemento aluminoso, siempre que se tenga la precaución de no estar cerca de armaduras que pudieran interferir en la lectura, o en presencia de un hormigón con adiciones activas o que posea áridos con propiedades magnéticas.

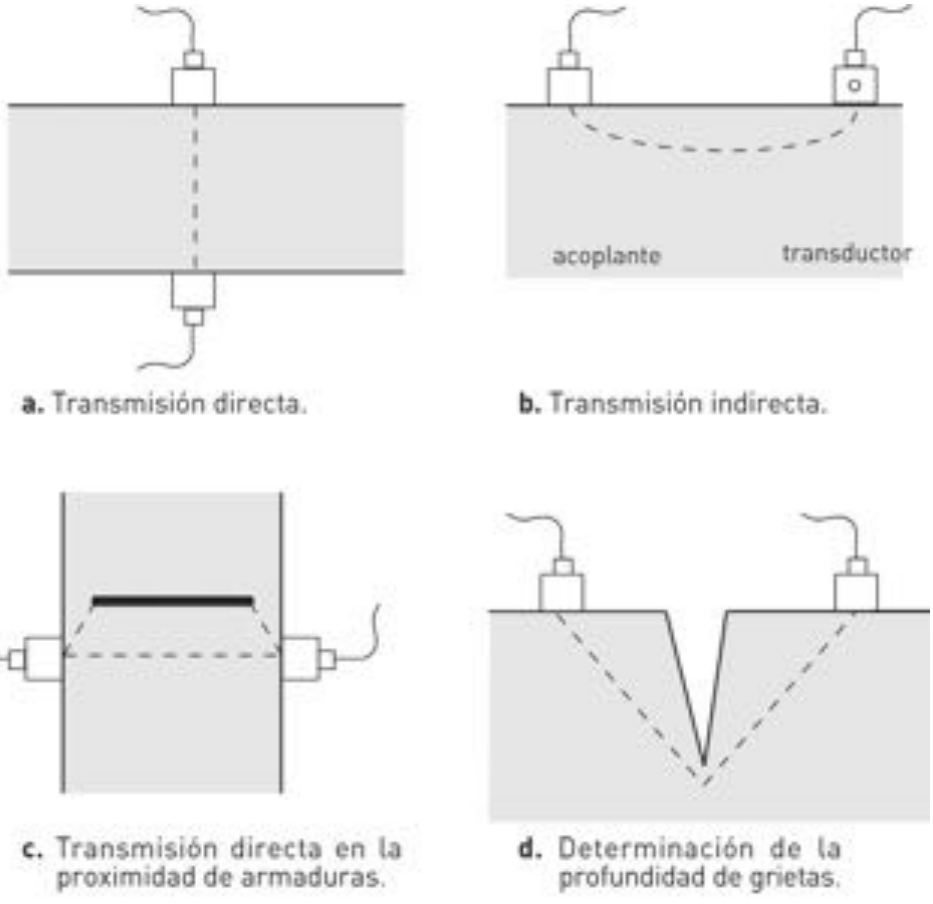
ULTRASONIDOS

Consta de un palpador de emisión y otro de recepción. El sistema mide el tiempo que tarda en pasar de uno a otro una onda sonora, generada por el propio aparato. La frecuencia de trabajo de estos palpadores oscila entre 15 y 250 kHz.

El artefacto funciona colocando los palpadores en la superficie del hormigón impregnados previamente con vaselina o grasa, para asegurar que el contacto entre el hormigón y el palpador sea perfecto, y separados entre sí a una distancia conocida.

Para comenzar el ensayo hay que medir con gran precisión la separación entre palpadores. Las lecturas se suelen tomar dejando fijo el emisor y desplazando el receptor, lo que permite relacionar a través de un gráfico el tiempo de paso con la distancia recorrida (velocidad). La presencia de un cambio de material un cambio de densidad o de un defecto es detectada cuando el grafico presenta discontinuidades.

Los resultados obtenidos pueden verse afectados por diferentes factores. Si el hormigón contiene elevados contenidos de humedad pueden originarse velocidades de propagación mayores.



a. Transmisión directa.

b. Transmisión indirecta.

c. Transmisión directa en la proximidad de armaduras.

d. Determinación de la profundidad de grietas.

Técnica de ultrasonido para la detección de discontinuidades.

Asimismo el tipo de acabado superficial del hormigón origina deficiencias en el contacto de los palpadores, pudiendo alterar la medición. Otro factor es el efecto que producen las armaduras, si las barras paralelas a la dirección de propagación esperada están dispuestas muy próximas, incrementarán de manera notable la velocidad. Temperaturas fuera del intervalo 5 a 30 ºC influyen, también, en la velocidad.

A pesar de estas limitaciones, este sistema permite determinar zonas homogéneas, detectar defectos ocultos o realizar estudios de evolución de algunas cualidades del hormigón a lo largo del tiempo.

ESCLERÓMETRO

El artefacto funciona midiendo el rebote de una masa de acero, liberada por un percutor al hacer presión con el aparato sobre la superficie de hormigón.

La masa luego de impactar vuelve hacia atrás, arrastrando la aguja de una escala graduada donde se lee el resultado.

El sistema obtiene información del hormigón a través de su dureza superficial, generalmente de los primeros 3 o 4 cm de profundidad, relacionando el índice obtenido con la resistencia cúbica del hormigón, a través de una tabla.

El resultado obtiene el nombre de «índice esclerométrico» o «índice de rebote». La escasa profundidad que permite estudiar hace que los valores obtenidos raramente se corresponden con la realidad.

El esclerómetro, a pesar de sus restricciones puede ser una herramienta útil para determinar zonas homogéneas y realizar estimaciones de resistencia del hormigón cuando se utiliza de forma combinada con la extracción de probetas testigo o con otros métodos no destructivos.

PISTOLA WINDSOR

El aparato consiste en una pistola accionada por pólvora, que transmite una cantidad de energía determinada a una sonda de acero endurecido, provocando su penetración en el hormigón.

Mediante un micrómetro se determina la profundidad de penetración de la sonda que tiene que quedar perfectamente introducida en el hormigón. Este estudio permite determinar zonas homogéneas y estimar la resistencia a comprensión del hormigón cuando se comparan con probetas testigo.

PROBETAS TESTIGO

La extracción y posterior ensayo a comprensión de probetas testigo, es el sistema más seguro para determinar la resistencia a compresión del hormigón de un elemento estructural. Si bien es un método más destructivo y costoso que los anteriores si se lo usa combinándolo con un sistema no destructivo, permite reducir el número de extracciones, consiguiendo establecer unas buenas estimaciones de las resistencias.

Los diámetros habituales son de 50, 75, 100,120 y 150 mm, siendo los de 75 y 100 mm los más empleados. En general las probetas se han de extraer de una longitud suficiente como para que mantengan una relación entre la altura y el diámetro igual a 2.

Para los casos en que esta condición no se pueda cumplir se aceptan valores comprendidos entre 1 y 2, estableciéndose una serie de coeficientes que permiten corregir la esbeltez.

La presencia de una barra de armado en el interior de una probeta testigo, no anula su resultado ya que en la mayoría de casos se puede considerar como la incidencia que ocasionaría un árido. Sólo en el caso de que la barra se encuentre situada sensiblemente ortogonal a las caras de presión de la probeta será preciso rechazarla.

MICROPROBETAS

Este sistema, puede ser adecuado para aquellos casos en que las características geométricas del elemento no permite la extracción de probetas testigo.

El sistema está basado en la extracción y posterior ensayo de pequeños cilindros (20, 25, 30 mm de diámetro). Las extracciones se realizan mediante una sonda rotatoria de extremo diamantado y refrigerada por agua.





Elementos para ensayo de probetas de hormigón.

Si bien estas probetas son muy sensibles a los pequeños defectos del hormigón y a los propios defectos de las probetas (defectos de paralelismo entre las caras de presión, etc.), estos problemas se pueden disminuir y controlar realizando un número suficiente de extracciones para cada determinación.

PROBETAS PRISMÁTICAS

A partir de un trozo de hormigón mediante corte con sierra de disco se obtiene una pieza prismática de base cuadrada. El estudio en de estas piezas solo se realiza en laboratorio por tanto su utilización queda restringida a los casos en que no sea posible la determinación de su resistencia por otro método y que se disponga de un trozo de material en el laboratorio.

PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN

La determinación de si un hormigón esta significativamente carbonatado se realiza impregnando el hormigón con un indicador de pH. El producto más utilizado es una solución alcohólica de fenolftaleína al 1 %.

Será necesario aplicar esta solución al hormigón que se encuentra en contacto con las armaduras para saber si la carbonatación supera al recubrimiento. Un cambio de color (rosado) en la superficie de aplicación se producirá inmediatamente si el hormigón no se encuentra carbonatado, pero si en una parte de la sección en la que se ha impregnado la solución no se produce esta coloración, significa que esta zona ya se encuentra carbonatada.

Hay dos formas de realizar este ensayo, la primera consiste en aplicar la solución de fenolftaleína sobre un trozo de hormigón del elemento que deje a la vista la armadura, midiendo inmediatamente la profundidad de la carbonatación.

Otra posibilidad es realizar une perforación con un taladro aplicando la fenolftaleína sobre el polvo que va saliendo hacia el exterior, en el momento en que se produce la reacción se toma la medida de la profundidad de la penetración de la broca.

CONTENIDO DE CLORUROS

Como ya hemos visto, la presencia de cloruros en el hormigón, puede provocar la destrucción de la capa pasivante del acero propiciando la corrosión del mismo. Este tipo de corrosión al generarse en puntos concretos en forma de picaduras, es especialmente grave en elementos de hormigón precomprimido.

Estos poseen secciones de armados pequeñas y por tanto una picadura por cloruros provoca una disminución muy importante de la sección.

Los procedimientos de laboratorio utilizados para determinar el contenido de cloruros con respecto al peso del hormigón son varios. En general se usan el método Volhard y la potenciometría.

En cualquier caso el resultado es indicativo para la porción de hormigón analizado pero puede no ser extendido al conjunto por su falta de homogeneidad en la distribución de los cloruros, especialmente si son de aportación exterior.

CORROSÍMETRO

Se mide la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de referencia colocado sobre la superficie del hormigón y el acero de la armadura.

Para realizar esta medición se humecta la superficie a ensayar y se establece el contacto por un lado entre la armadura y el polo positivo y por el otro entre un electrodo de referencia y el polo negativo y a la vez, ambos, a un multímetro de precisión 1 mV.

La medida del potencial de corrosión no permite cuantificar la corrosión que presenta la barra, si no la posibilidad de que se esté produciendo este fenómeno en el momento de lectura.

Por esto, su utilización se justifica en general, en estructuras que deban estar sometidas a un cierto seguimiento y la interpretación de los resultados se hará en función de repetidas lecturas a lo largo del tiempo, en contraste con parámetros ambientales.

Existen une serie de circunstancias que pueden inducir a errores de lectura, tales como el contenido de oxígeno, la existencia de fisuras y las diferencias entre gruesos de recubrimiento.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Es una técnica de análisis que grafica la respuesta al impacto de un haz de rayos X que dan cada uno de los compuestos cristalinos de un material pulverizado.

Dicho gráfico deberá ser interpretado por un operador experto. Esta técnica es utilizada en el análisis de muestras de hormigón endurecido, dando como resultado el tipo de conglomerante, las fases carbonatadas, los tipos de áridos, las fases cristalinas peligrosas, etc. No es adecuada para detectar fases no cristalinas.

LUPA BINOCULAR

Es una técnica que se basa en observar la muestra mediante un artefacto con lentes de aumento. La observación con lupa binocular permite identificar y determinar las cualidades de los diferentes tipos de áridos, las zonas de interfase y hacer estimaciones sobre la porosidad.

MÍCROSCOPÍA DE LÁMINA FINA

Esta técnica se realiza a partir de obtener de una muestra inicial una lámina de pocas micras de grosor, que puede ser observada mediante un microscopio. Dicha observación llevada a cabo a distintos aumentos y con luz directa o polarizada, permite conseguir datos fiables del tipo de conglomerante, del tipo de árido, de la interfase y de la presencia de algunos agentes nocivos, entre otras cosas.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Es una técnica que se basa en la emisión de un haz de electrones que se dispersan por la mezcla y posteriormente son recogidos por un sistema de lentes electromagnéticas que envían la imagen a una pantalla.

Se trata de un estudio complejo, que permite analizar las diferentes morfologías de las fases cristalinas, la identificación de estas fases, la estructura porosa del material y posibilita hacer un análisis cualitativo de los diferentes elementos presentes en la muestra.

ENSAYOS DE CARGA

Son pruebas cuyo objetivo es determinar una cierta seguridad en elementos superficiales como forjados u otros elementos que trabajen a flexión.

Se trata de ensayos muy complejos que requieren de personal especializado y de un proyecto específico para cada caso.

Se trata de cargar estos elementos en determinadas situaciones y cantidades de carga que permitan reproducir las solicitaciones deseadas de momento flector, cortante, etc., con los márgenes previstos.

De esta forma se procede a medir las deformaciones en diversos puntos, con la sensibilidad adecuada, para proceder finalmente a la descarga y nuevamente la medida de las deformaciones.

Si el elemento ensayado ha soportado las acciones sin fisuraciones inadmisibles, con flechas máximas admisibles y recuperando sensiblemente la situación inicial se considera que la prueba ha sido superada satisfactoriamente.

ELABORACIÓN DEL INFORME DIAGNÓSTICO

Esta es la última fase del proceso de diagnosis, momento en el cual, en función de analizar detenidamente la información recabada, se debe establecer unas conclusiones claras respecto a las cuestiones inicialmente planteadas.

El diagnóstico, se puede entender como una propuesta que articula el estado en que se encuentra la estructura, el resultado de los análisis y las medidas a tomar para que esta pueda seguir en servicio.

Muchas veces resulta difícil conseguir la información suficiente para poder concluir con seguridad en una respuesta precisa.

En general, son muchos los factores a tener en cuenta y muchas las preguntas que pueden no haber encontrado respuesta de forma absoluta.

Al hacer el diagnóstico de una estructura se debe tener presente que siempre se corre un cierto nivel de riesgo, en función de la cantidad y calidad de la información recogida, de la capacidad de análisis e interpretación del técnico que realiza el diagnóstico, y del tipo de edificio de que se trate.

El técnico diagnosticador debe ser capaz de reconocer sus limitaciones o las que le impone una información insuficiente, a los efectos de no plantear intervenciones innecesarias, que pueden resultar muy costosas económicamente, o que si no son adecuadas, podrían ser causa de un accidente en el futuro.

El resultado final del diagnóstico determinará la decisión de intervenir o no intervenir.

En el primer caso se deberá orientar la mejor forma de intervenir: ***REPARACIÓN, REFUERZO O SUSTITUCIÓN***, y en el último caso esta decisión estará acompañada, o no, de unas recomendaciones y limitaciones de uso.

Todo esto se vuelca en el informe, que es un documento escrito y que sirve como prueba legal ante cualquier circunstancia.

TRATAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN

PROTECCIÓN SUPERFICIAL Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

La protección de las estructuras de hormigón por medio de la aplicación de sistemas eficaces constituidos por pinturas, barnices y revestimientos, ofrecerán resistencia química y física a las acciones de la atmósfera, u otras agresiones a la que la obra estará sometida.

Estos trabajos de protección pueden ser ejecutados tanto en la obra recién terminada como constituir parte de las actividades de mantenimiento preventivo, contribuyendo de forma decisiva a aumentar la vida útil de las edificaciones de hormigón.

Durante el uso y mantenimiento de la edificación, estos sistemas protectores deberán ser periódicamente controlados para constatar su funcionalidad y verificar si necesitan ser renovados.

En los últimos años se ha avanzado en el desarrollo de revestimientos, barnices y sistemas de pinturas, y con la innovación de las metodologías de aplicación de estos productos.

Los objetivos básicos de su utilización son reducir la absorción de agua, la penetración de gases agresivos, sales y, en algunos casos, utilizar la propiedad de ciertos materiales de actuar como barrera protectora contra el ataque de elementos químicos agresivos.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LA SUPERFICIE DE HORMIGÓN

Los sistemas de protección superficiales del hormigón se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **REVESTIMIENTOS CONFORMADO POR ELEMENTOS DE GRAN ESPESOR.**
- **PINTURAS DE PROTECCIÓN.**

REVESTIMIENTOS POR ELEMENTOS DE GRAN ESPESOR: son utilizados en condiciones específicas, cuando se producen solicitaciones extremas de naturaleza mecánica o química. Tales situaciones pueden darse cuando el hormigón está en contacto continuo con productos químicos, líquidos bajo presión, o vapores agresivos o en circunstancias de elevada abrasión o impacto. Las características mecánicas y químicas de estos compuestos dependen fundamentalmente de sus formulaciones.

En esta clasificación encontramos las protecciones de base bituminosa, vinílicas, asfálticas, neopreno, goma butílica, *coal tar-epoxy*, cerámica y ladrillos anticorrosivos de diversas naturalezas, además de morteros de base epoxidica, fenólicas, poliéster, sulfurosas, furánicas, a base de silicatos y de cementos especiales y las pinturas termoestables de alta temperatura, reforzadas con mantas sintéticas. Se aconseja que se realicen ensayos y pruebas para comprobar el comportamiento de estos revestimientos ante la agresividad del medio.

PINTURAS DE PROTECCIÓN

Los sistemas disponibles son utilizados para proteger y oponer resistencia a los mecanismos de degradación más comunes que usualmente se producen en atmósferas industriales, urbanas y marinas.

Tienen como función tanto la reduc-ción del riesgo de contaminación del hormigón, como la finalidad estética de mantener el aspecto superficial del mismo.

Existen, básicamente dos tipos de sistemas de pinturas de protección:

- **LOS REVESTIMIENTOS *HIDRÓFUGOS* DE PORO ABIERTO.**
- **LOS REVESTIMIENTOS *IMPERMEABILIZANTES* CON FORMACIÓN DE PELÍCULA.**

Además de proveer de la protección necesaria contra los principales agentes de degradación, todos estos productos deben satisfacer también las siguientes exigencias:

- **SER RESISTENTES A LA INTEMPERIE**.
- **EVITAR EL DESARROLLO DE HONGOS Y BACTERIAS EN SU SUPERFICIE.**
- **OPONER RESISTENCIA MECÁNICA** a pequeños impactos y rayaduras.
- **POSEER RESISTENCIA A LA FOTODEGRADACIÓN**, proveniente de la incidencia de rayos ultravioletas.
- **SER ESTABLES QUÍMICAMENTE** en relación al hormigón, de forma de evitar la aparición, debido a la elevada alcalinidad del sustrato, de anomalías como eflorescencias o saponificación.

SISTEMA DE PROTECCION	ABSORCIÓN DE AGUA DESPUÉS DE 7 DÍAS DE APLICADO* (%)	PERMEABILIDAD A CLORUROS DESPUÉS DE 30 DÍAS (x10 ppm)	PENETRACIÓN DE CO_2 (% EN MASA)
Control (hormigón)	9,5	5,5	2,1
Base acrílico	9,5	1,5	1,0
Base poliuretano	9,2 a 9,5	3,0 a 5,5	1,0 a 1,6
Goma clorada	6,5	1,0	0,8
Base silicona	9,3	0,3	1,7
Silano	2,6	0,1	1,0
Acrílico (top coat)	9,5	2,0	1,0
Sistema doble silano-siloxano/acrílico	2,2	0,1	0,1

* hormigón con 28 días de curado.

ENSAYOS COMPARATIVOS DE VARIOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN

(Fuente: «Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado» Collegi d'aparelladors i arquitectes tecnics de Barcelona).

Como características generales, los hidrófugos pueden ser aplicados sobre superficies lisas o porosas, siendo repelentes al agua en poros de hasta 3 mm de abertura superficial. Las pinturas impermeabilizantes necesitan de una superficie lisa, con poros de diámetro no mayor a 0,1 mm. En general, para lograr estas condiciones, se realizan previos a la aplicación de la pintura, estucados superficiales. Dentro de este grupo se encuentran también, los barnices incoloros, que son utilizados básicamente para la protección de superficies de hormigón visto.

Las pinturas se adhieren a las superficies de hormigón sobre las que son aplicadas, de la misma forma que los barnices, formando una película continua de baja permeabilidad.

PINTURAS HIDROFUGANTES

Estos productos tornan las superficies de hormigón repelentes al agua, sin impedir el paso de gases y vapor de agua. Para explicar este mecanismo de protección nos referiremos primero a ciertas propiedades del hormigón. Este, al ser de naturaleza hidrófila, absorbe agua en forma líquida o gaseosa a través de varios mecanismos: gradiente de presión, difusión, higroscopicidad, condensación y principalmente absorción capilar.

Ésta, puede llegar a ser muy intensa, siendo determinada básicamente por el diámetro y la continuidad de los poros.

La absorción capilar se da en las fachadas, debido a la formación de una película de agua de lluvia, y en las superficies donde la estructura entra en contacto directo con el agua, como por ejemplo en las cimentaciones.

PROPIEDADES	LIMITACIONES
Reducen la capacidad de absorción de agua de las superficies de hormigón.	No evitan la penetración de agua, gases o vapores sobre presión.
Permiten secado del hormigón húmedo, posibilitando el paso del vapor de agua existente en los poros capilares hacia el medio externo.	No impiden la carbonatación, a pesar de reducirla.
Penetran suficientemente en los poros capilares del hormigón.	No frenan la lixiviación, aunque sí la reducen.
Disminuyen la absorción de sales solubles	
Al no ser formadores de películas, no alteran el aspecto estético de la superficie.	
Poseen un alto grado de resistencia a la fotodegradación por la acción de rayos ultravioleta.	
No requieren superficie lisa y continua para su aplicación, habilitándolos al uso sobre superficies rugosas de hormigón.	

CARACTERÍSTICAS DE LAS PINTURAS HIDROFUGANTES

Estos productos, como todos los llamados hidrófugos, hidrorrepelentes o hidrofugantes, tienen la propiedad de alterar el ángulo de contacto entre la pared del capilar y la superficie del agua en mas 900.

Por esta razón no son considerados como pinturas, sino como agentes de impregnación.

Están constituidos principalmente por compuestos sílico-orgánicos, tales como siliconas dispersas en solventes o emulsionadas en agua y silanos dispersos en solventes.

PROPIEDADES	LIMITACIONES E INCONVENIENTES
Reducir significativamente la carbonatación	Alterar el aspecto original del hormigón confiriéndole brillo a la superficie (inclusive los barnices incoloros y opacos).
Limitar la permeabilidad y difusividad a sales solubles.	No permitir el secado del hormigón húmedo.
Disminuir de manera importante las posibilidades de lixiviación.	Requerir una superficie de sustrato lisa y homogénea, por lo tanto no son adecuados para superficies de hormigón obtenidas con encofrados rugosos, en cuyo caso será necesario realizar un estucado previo para adecuarlo a la pintura.
Inhibir el crecimiento de hongos y bacterias y reducir la aparición de moho.	

CARACTERÍSTICAS DE LAS PINTURAS IMPERMEABILIZANTES

PINTURAS IMPERMEABILIZANTES

Las pinturas impermeabilizantes de superficie actúan mediante la formación de una película continua y semiflexible, que actúa como barrera de baja permeabilidad a gases, a agua y a vapor de agua.

Estas pinturas requieren sustratos homogéneos y lisos, con poros de abertura máxima de 0,1 mm. Si bien tienen flexibilidad superior a la del hormigón y acompañan pequeños movimientos estructurales, la mayoría no es capaz de absorber eventuales fisuraciones producidas una vez finalizada la pintura de protección.

TÉCNICAS PARA LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

El hormigón es un buen sustrato para pinturas por su rugosidad y porosidad natural que permiten la rápida absorción de la humedad de la pintura o barniz empleado. Para que haya buena adherencia es necesario que la superficie del hormigón esté limpia, resistente y libre de contaminación.

Antes de aplicar la pintura deberán reparase adecuadamente las fisuras, oquedades de la superficie de hormigón, vacíos de hormigonado, la corrosión de las armaduras y otras anomalías que existiesen.

Cuando el sustrato no presente una superficie adecuada para pintar, lisa y homogénea, es recomendable realizar un tratamiento preliminar de reparación y nivelación de la misma.

Si se ha aplicado sobre la superficie algún producto como membranas de curado incoloras y aceites desencofrantes, deberán ser eliminados.

MÉTODOS DE APLICACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN

La correcta aplicación de pintura, a los efectos de obtener la máxima vida útil, es tan importante como la preparación de la superficie y la selección correcta del sistema a emplear.

En este sentido la homogeneización del producto para la aplicación es de fundamental importancia, ya que todas las pinturas presentan la separación de los componentes más pesados de los más livianos.

Muchos pigmentos, como en el caso de productos bicomponentes, pueden sedimentarse.

Por lo tanto, muchas veces, es necesario para la utilización de la totalidad, el raspado del material adherido en el fondo de los envases con auxilio de espátulas y mezclando correctamente.

En algunos casos y dependiendo de la viscosidad del material, se hace necesario la utilización de mezcladores mecánicos para conseguir una buena homogeneización.

Los cuidados en la aplicación, dependerán del sistema de pintura elegido, aunque de forma general podemos mencionar los siguientes:

En general los productos bicomponentes de la misma naturaleza son más eficaces que los monocomponentes. También los productos de igual naturaleza dispersos en solventes duran más, tienen mayor capacidad de penetración y son más eficientes que los dispersos en agua.

Las pinturas y barnices de base poliuretánicas son más duraderas y hacen más duradero al hormigón reduciendo los riesgos de carbonatación al formar una barrera excelente a la absorción de agua.

Los productos de base epoxídica son los de mayor resistencia química y mecánica y los que más se adhieren al hormigón. Sin embargo, no resisten bien la radiación ultravioleta (fotodegradación). Por estas razones son recomendables para ambientes internos en atmósferas industriales agresivas.

Los barnices de base acrílica son más resistentes a los rayos ultravioleta, no amarillean con la exposición solar y alteran poco la tonalidad del hormigón.

Los sistemas que combinan una primer capa de resina epoxídica y una segunda de poliuretano disperso en solvente, se han mostrado muy eficaces en superficies externas en atmósferas industriales, ya que proporcionan protección química al hormigón y resistencia a la fotodegradación.

La durabilidad de la protección dependerá, fundamentalmente, de la buena preparación de la superficie, de la adecuada elección del producto y del control de calidad en la fabricación, en la recepción y en la aplicación del producto.

Se recomienda siempre efectuar ensayos previos de evaluación del comportamiento del sistema de pintura de protección. Como la protección que ofrecen las pinturas y barnices depende de la calidad de los componentes de la formulación, productos aparentemente similares pueden presentar resultados totalmente diferente. Ensayos en laboratorio demostraron que la eficacia de la protección aumenta considerablemente con el número de capas de pintura. Mas allá de las cuatro capas todas las marcas se comportan de una manera similar.

APLICACIONES Y PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CON PINTURAS

- **PINTAR PREFERENTEMENTE CON UNA TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE 10 Y 50 ºC.** Evitar pintar superficies que en el momento de la aplicación estén recibiendo radiación solar directa.

- **INICIAR EL TRABAJO INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE PREPARADO EL SUSTRATO**, para evitar eventuales contaminaciones de éste.

- **NO PINTAR ÁREAS EXTERNAS EN DÍAS MUY HÚMEDOS** (con humedad relativa superior a 90 %).

- **EL CONTENIDO DE HUMEDAD SUPERFICIAL RELATIVA DEL HORMIGÓN A PINTAR NO DEBE SUPERAR EL 5 A 6 %**, (a menos que el sistema de curado sea por reacción con la humedad atmosférica o que la pintura sea soluble en agua). Este contenido de humedad puede ser verificado mediante la utilización de equipos de lectura directa.

- **EVITAR APLICACIONES A PISTOLA** bajo la acción de viento.

- **AUMENTAR LAS APLICACIONES CONSECUTIVAS EN 50 %**, usando pistola .

PULVERIZACIÓN.

Las técnicas de pulverización son en general adecuadas para la pintura del hormigón debido a la facilidad para ser usadas en grandes áreas. Las propiedades físicas y la consistencia del producto son determinantes para su utilización con este método de aplicación: materiales de viscosidad media y tixotrópicos son adecuados para ser aplicados por pulverización.

El método denominado Airless es el proceso más adecuado para la aplicación de hidrófugos de superficie.

El equipamiento utilizado para la aplicación es menos complejo que el necesario para la aplicación con aire comprimido.

El sistema, de rápida aplicación, involucra poca mano de obra, pero no es adecuado para trabajos pequeños.

APLICACIÓN A BROCHA Y RODILLO

La aplicación de la primera mano de pintura de imprimación utilizando pincel y/o brocha, hace que se pueda absorber mejor la pintura dentro de los poros e irregularidades de la superficie.

El tamaño del pincel debe ser adaptado a la extensión del trabajo. Pinceles finos de nylon, de sección rectangular son los más utilizados.

La brocha de 10 centímetros es considerada la de máximo tamaño para una buena aplicación. Esta técnica es más adecuada para áreas pequeñas.

La aplicación con rodillo es sólo recomendada para superficies planas y uniformes, posibilitando rapidez en la aplicación y un fácil acceso en paredes y techos.

PRINCIPALES CAUSAS DE DETERIORO DE LA PROTECCIÓN

Las principales causas de manifestaciones de lesiones en sistemas de pinturas de protección son:

- **SELECCIÓN INADECUADA DEL PRODUCTO.**
- **CONDICIONES METEOROLÓGICAS INADECUADAS.**
- **INCORRECTO TRATAMIENTO DEL SUSTRATO.**
- **DILUCIÓN EXCESIVA DE LA FORMULACIÓN.**
- **INSUFICIENTES MANOS DE PINTURA.**

Es común la aplicación de sistemas incompatibles con las solicitaciones a que las superficies están expuestas. Por ejemplo utilizar pintura impermeabilizante donde lo correcto sería hidrofugante de poro abierto.

No deben realizarse los trabajos ante la inminencia de lluvias y se podrán reiniciar recién tres días después del secado natural. La mejor época del año para la realización de los trabajos es la temporada más seca.

El curado de la superficie debe ser adecuado ya que aplicar sobre una superficie polvorienta puede ser muy perjudicial. Tampoco deben ser aplicados pintura o el barniz sobre superficies impregnadas con productos de desencofrado o sucias de aceite.

Al diluir demasiado la pintura se reduce la adherencia de esta al sustrato, aumentando también su porosidad, permitiendo la penetración y paso de agentes agresivos. Es más común cuando la pintura es soluble en agua. En la practica, lo ideal es que el propietario compre directamente los productos de protección y contrate por separado el servicio de mano de obra.

Muchas veces esto ocurre con los barnices por ser incoloros y cuando no hay control del acompañamiento. Lo ideal es exigir siempre tres o más manos de pintura.

MANTENIMIENTO

Los servicios de mantenimiento del hormigón se pueden clasificar en:

- **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO *PREVENTIVO*.**
- **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO *CORRECTIVO*.**

Un programa de mantenimiento preventivo se aplicará en fachadas y superficies de hormigón antes de que en estas aparezcan señales significativas de degradación. Los sistemas de protección tienen una vida útil relativamente corta en comparación con los de una estructura de hormigón. Por lo tanto, con el objetivo de mantener su funcionalidad deberán ser periódicamente inspeccionados para controlar la necesidad de su mantenimiento.

Como norma general se recomienda el repintado preventivo cada 2 ó 3 años para hidrorrepelentes y pinturas a base de agua, por lo menos cada 4 años para base solvente y cada 6 ó 7 años para sistemas dobles.

Sin embargo, la situación más común es que los mantenimientos sean correctivos, donde a partir de manifestaciones de lesiones patológicas y de la realización de un diagnóstico previo del problema para la identificación de las causas se procede a la corrección y protección del hormigón. Existen técnicas adecuadas de corrección y productos de conocida eficacia, los que deben ser usados en la estructura de hormigón previamente a recibir la nueva pintura de protección.

REPARACIÓN DEL HORMIGÓN

La pérdida de alcalinidad o contaminación por cloruros del hormigón constituye una problemática que puede comportar problemas graves para el sistema estructural en su conjunto. Pero donde el problema se vuelve realmente delicado es en la armadura que, al quedar desprotegida químicamente o al ser atacada por los iones cloruro, comenzará un proceso de corrosión generalizada o en forma de picaduras.

Como consecuencia de esta corrosión expansiva nos aparecen, en forma de síntomas, fisuras, oquedades y hasta desprendimientos en la superficie del elemento de hormigón que evidencian los verdaderos problemas que se generan en su interior.

Para evitar llegar a estas situaciones límite lo aconsejable es tratar de garantizar la no corrosión de la armadura durante la ejecución de la estructura. En el caso de las estructuras existentes también podemos actuar preventivamente, sin esperar al inicio de la corrosión. Abordar este problema, una vez iniciada la corrosión, resulta realmente difícil.

La solución que se viene aplicando consiste en la retirada del hormigón de recubrimiento, en la zona lesionada, para poner la armadura al descubierto y así poder protegerla directamente. Esto implica una actuación puntual sobre las zonas donde se ha detectado la degradación de la armadura, dejando el resto de la estructura en una situación muy vulnerable en cuanto que su profundidad de carbonatación o su contaminación por cloruros serán parecidas.

Por esta razón, si bien es el método que se dispone en la actualidad, no ofrece grandes garantías de durabilidad. La nueva situación de la armadura, con tramos pasivados y otros no, sumado a la presencia de un nuevo material en la estructura, será otro factor de riesgo importante después de la reparación.

En la actualidad, se dispone de algunas técnicas complejas, de difícil y costosa aplicación, destinadas a reducir la velocidad e incluso parar completamente el proceso de corrosión de una armadura, sin necesidad de ponerla al descubierto. Estas técnicas son la protección catódica, la extracción de cloruros y la realcalinización. Actúan sobre el verdadero problema evitando que se produzca la corrosión.

Sin embargo, la aplicación de la técnica adecuada al problema de forma preventiva, es decir antes que la corrosión se inicie, es la actuación más aconsejable en una estructura donde todavía no han aparecido los primeros síntomas y ya se ha detectado una contaminación por cloruros que va penetrando hacia el interior o una profundidad de carbonatación importante.

Si las estructuras ya están dañadas, la reparación convencional se hace absolutamente imprescindible pero sólo como fase previa a una intervención de realcalinización o de extracción de cloruros.

A. REPARACIÓN DE ZONAS DAÑADAS

Se procede al repicado superficial de la masa del hormigón hasta eliminar toda la zona carbonatada y hacer accesible la armadura, en proceso de corrosión.

Las etapas de esta intervención se pueden clasificar en las siguientes:

- **ELIMINACIÓN DEL HORMIGÓN DETERIORADO, PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE**
- **PROTECCIÓN DE LA ARMADURA Y RESTAURACIÓN DE SU CAPACIDAD RESISTENTE**
- **COLOCACIÓN DEL NUEVO MATERIAL DE REPARACIÓN**

ELIMINACIÓN DEL HORMIGÓN Y PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

Este proceso se realiza por medios mecánicos o manuales y consiste en la extracción de todos los fragmentos de hormigón fracturados, como consecuencia de la expansión del acero en su proceso de corrosión.

De esta forma se retira todo el material suelto o mal adherido hasta alcanzar un hormigón sano. Las zonas de hormigón carbonatado, o que contenga un porcentaje de cloruros excesivo, también deberán ser eliminadas, dejando la armadura accesible en todo su perímetro. Esta operación debe extenderse hasta la parte posterior de la misma, quedando un espacio de unos dos centímetros libres alrededor de la armadura que permite que el material de reparación envuelva perfectamente las barras.

El acero debe descubrirse incluso en zonas donde no se presenten los síntomas de corrosión para poder verificar que efectivamente la armadura está sana en esos puntos.

De esta forma se evita dejar zonas con problemas de corrosión incipientes pero que todavía no se han manifestado en la superficie. Es muy importante la experiencia del técnico responsable de esta actuación para determinar las zonas de hormigón a descubrir.

La extracción del hormigón se puede realizar mediante picado manual con puntero, martillo de agujas, o mediante cualquier otro medio manual, mecánico o neumático.



Recrecido de hormigón armado en una jácena.

Toda esta operación puede exigir precauciones estructurales, en función de la extensión y profundidad de las zonas a reparar, especialmente si las áreas afectadas ocupan una gran extensión del elemento.

Es recomendable apuntalar las zonas que lo requieran y organizar una reparación por etapas, distribuyendo las mermas de sección entre diferentes componentes para evitar que el debilitamiento que se genera durante el proceso de trabajo pueda llevar algún elemento estructural al limite de su capacidad.

La limpieza de la zona a reparar se realiza de diferentes formas según el material. Para asegurar la eliminación de todas las partículas de polvo en la superficie del hormigón se requiere la aplicación de un compresor de aire, de un chorro de agua o de un aspirador.

Es necesario limpiar el acero completamente antes de la colocación del material de reparación, eliminando cualquier resto de producto de corrosión que pueda existir. En el caso de dejar adheridos restos de herrumbre a las barras, la corrosión seguirá progresando a una velocidad que dependerá fundamentalmente de la existencia de electrolito.

La armadura se puede lijar, cepillar o chorrearse con arena, siempre que la opción escogida garantice la completa eliminación de la capa de óxido, dejando el acero a la vista en toda su sección.

A pesar de que técnicamente esta tarea de limpieza no comporta mayores dificultades, la mayoría de los problemas que se presentan en las reparaciones, se deben a una ejecu-ción defectuosa de la misma. Por esto mismo esta etapa del proceso debe hacerse con la máxima atención.

PROTECCIÓN DE LA ARMADURA Y RESTAURACIÓN DE SU CAPACIDAD RESISTENTE

Una vez realizada la limpieza del acero, su protección puede hacerse con lechada cementosa, con polímeros o resinas epoxídicas o con inhibidores superficiales de corrosión.

También puede darse una capa de adhesivo epoxi al hormigón y a la armadura, para facilitar el pegado con el material de reparación y proteger al acero del exterior.

Si el material de reparación no se va a aplicar inmediatamente después de la limpieza del acero, la capa de epoxi no se extenderá sobre el hormigón, pero si sobre la armadura, espolvoreando sobre ella arena fina, para mejorar la adherencia con el material de reparación.

En muchos casos, en esta misma operación, nos vemos obligados a añadir una nueva armadura a causa de una excesiva pérdida de sección de la existente o para incrementar la capacidad portante.

Como norma general se considera que para pérdidas de sección superiores al 15 % es necesario recalcular la estructura y, si lo requiriera, restaurar la capacidad inicial del acero.

La restauración de las armaduras se realiza cortando las barras debilitadas y sustituyéndolas por otras solapadas y atadas con alambre o soldadas a las existentes.

En este último caso hay que cerciorarse de la soldabilidad de los aceros. También existen unos manguitos de conexión que resultan muy adecuados para este tipo de reparaciones. Para uniones realizadas con alambre se recomienda utilizar una longitud de solape de cuarenta diámetros.

Cuando la pérdida de sección del acero no sea superior al 15 %, no deben esperarse problemas estructurales y puede no ser necesario restaurar la capacidad nominal del acero.



Limpieza y preparación de un pilar de hormigón armado para su posterior recrecido.

COLOCACIÓN DEL NUEVO MATERIAL DE REPARACIÓN

Antes de proceder a la recomposición de la sección con el nuevo material se debe observar la superficie que ha quedado descubierta para detectar posibles fisuras. En caso de que existan es importante conocer las causas que permitieron su formación y estar seguro de que no siguen presentes para evitar realizar una reparación de una patología que pueda volver a aparecer. En todos los casos de fisuración las resinas epoxi se han mostrado adecuadas para realizar el sellado y, mediante la unión, convertir nuevamente en monolíticos los elementos estructurales separados por los planos de las fisuras.



Reparación por capas de un pilar muy dañado.

Se recomiendan los siguientes tipos de sistemas epoxi en función de la anchura de la fisura:

- **INFERIOR A 0,2 MM**: formulaciones epoxi bicomponentes y con viscosidad de unos 100 cP a 20 ºC.

- **ENTRE 0,2 Y 0,6 MM**: formulaciones epoxi bicomponentes de viscosidad inferior a 500 cP a 20 ºC.

- **FISURAS DE ENTRE 0,6 Y 3 MM**: formulaciones epoxi bicomponentes puras o cargadas con polvo de cuarzo o de vidrio, pero con viscosidad inferior a 1500 cP a 20 ºC.

- **FISURAS DE ANCHO SUPERIOR A 3 MM**: Se pueden emplear formulaciones epoxi cargadas. La carga puede ser arena de tamaño máximo inferior a 1 mm o 0,6 veces del mínimo espesor de la grieta. Se suele emplear una relación formulación/árido de 1:1.

El procedimiento para cerrar una grieta o fisura por inyección, dando además monolitismo a la pieza, es realizar primeramente un sellado exterior temporal de la misma en el plano del paramento, dejando unidas a este sellado boquillas por donde realizar la inyección.

Estas se colocan a intervalos a lo largo de la grieta que dependen de la profundidad y anchura de la misma, siendo conveniente colocar una boquilla en cada punto donde se produce una bifurcación. Antes de iniciar la inyección es necesario esperar el endurecimiento de la capa de sellado, (usualmente 24 horas es un tiempo aconsejable).

La inyección se logra introduciendo a presión la formulación por las boquillas, utilizando a tal fin pistolas o gatos que bombean a mano o mecánicamente. Existen también maquinas, que actúan de forma bastante rápida, midiendo, mezclando e inyectando.

Siguiendo con la reparación toda la sección de hormigón que se ha extraído a lo largo del proceso, debe ser recompuesta nuevamente para recuperar la estructura original y para ofrecer una nueva protección a la armadura.

Los morteros de reparación a emplear deben cumplir unos requisitos esenciales, que podemos resumir en:

- **PARÁMETROS DE RESISTENCIA ADECUADOS.**

- **BUENA ADHERENCIA AL SOPORTE.**

- **BAJA RETRACCIÓN.**

- **BUENA RESPUESTA A LAS CONDICIONES ESPECÍFICAS DEL ENTORNO.**

- **MÓDULO ELÁSTICO Y COEFICIENTE DE DILATACIÓN COMPATIBLES CON EL MATERIAL DE BASE**.

Estos morteros se pueden fabricar en la propia obra, si dan respuesta a los requisitos comentados o, para descontar una correcta dosificación, se pueden emplear morteros preparados por empresas.

Si los mismos son convencionales, es decir fabricados con cemento hidráulico (con o sin aditivos) poseerán características parecidas al hormigón existente y a la vez serán más económicos.

Unos de los materiales más utilizados para estas labores son los morteros hidráulicos poliméricos, con el que se logra unos morteros de mejores cualidades en cuanto a adherencia, permeabilidad y resistencia.

Los morteros de base orgánica de resinas epoxi o de poliester son especialmente indicados para aplicaciones de poco espesor. Existe en el mercado una gran variedad de morteros de reparación, estos deben elegirse en función de la profundidad de reparación, de la superficie a tratar, del volumen total y de las características propias del material de base.

Previamente a la aplicación del material de relleno, hay que aplicar en toda la superficie de contacto una película de conexión de pasta de cemento, de adhesivo acrílico o de base epoxídica. El relleno u hormigonado puede hacerse manualmente, sin encofrar.

Para cualquier sistema que se elija hay que seguir un proceso muy cuidadoso de ejecución por capas sucesivas y de curado que eviten cualquier oquedad o retracción La forma de realizar esta operación de recomposición de la sección variará en función de diferentes circunstancias y fundamentalmente del material elegido, que en el caso de ser un producto comercial, deben seguirse estrictamente las instrucciones de aplicación del mismo.

Todo este proceso debe completarse con una buena protección superficial que proteja al material de la acción del agua y de los cloruros.

B. MATERIALES DE REPARACIÓN

Los tipos de mortero de reparación que actualmente pueden encontrarse en el mercado pueden agruparse en tres familias:

- **DE BASE INORGÁNICA.**
- **DE BASE ORGÁNICA.**
- **DE BASE MIXTA.**

LOS MATERIALES DE REPARACIÓN DE *BASE INORGÁNICA* se constituyen de cemento, sea Pórtland o no y se clasifican en materiales de base inorgánica tradicionales y de base inorgánica no tradicionales.

Entre los tradicionales encontramos la lechada, el mortero, el microhormigón y el hormigón. Y entre los no tradicionales nos hallamos con el cemento Pórtland modificado con agentes expansivos, el cemento a base de fosfato de magnesio o aluminio, el cemento de ettringita y el cemento aluminoso.

LOS MATERIALES DE REPARACIÓN DE *BASE ORGÁNICA* (resinas sintéticas) están constituidos por un ligante que es un polímero termoestable y se presentan en forma de dos o tres componentes que al mezclarlos antes de su utilización, producen una reacción química (polimerización) que deriva en su posterior endurecimiento. Los de uso más habitual son los basados en resinas ***EPOXI, POLIURETANOS Y POLIÉSTERES*** no saturados.

LOS MATERIALES DE REPARACIÓN DE *BASE MIXTA* lo constituyen determinados polímeros, añadidos al agua de amasado del hormigón, y proporcionan al mismo propiedades adicionales sin modificar su carácter alcalino que actúa como pasivante del acero. Su presentación en forma liquida (látex) permite mezclarlo con el cemento.

PROPIEDADES	MORTEROS DE RESINAS	MORTEROS HIDRÁULICOS
Resistencia compresión (N/mm^2)	55-110	20-70
Modulo elástico (N/cm^2)	500-25.000	20.000-30.000
Resistencia flexotracción (N/cm^2)	25-50	2-5
Resistencia tracción (N/cm^2)	9-20	1,5-3,5
Alargamiento a rotura (%)	0-15	0
Coeficiente de dilatación térmica (mm ºC)	25-30x10-6	9-14x10-6
Densidad (Kg/dm^3)	0,7-2,1	2-2,3
Temperatura máxima en servicio (ºC)	40-80	300
Tiempo para alcanzar 80% resistencia	48 horas	2-4 semanas

CUADRO COMPARATIVO DE DIFERENTES MORTEROS
(Fuente: "Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado" Collegi d'aparelladors i arquitectes tecnics de Barcelona).

Cuando el agua desaparece, se suma su efecto ligante con el del cemento, resultando un mortero mucho más compacto e impermeable y con un módulo de elasticidad longitudinal y un coeficiente de dilatación térmica similar al de un mortero hidráulico sin modificar. Existen varios tipos de polímeros que entran en esta categoría al asociarse con cemento Pórtland.

C. REPARACIONES BAJO EL AGUA

Muchos de los métodos usados en las reparaciones habituales de estructuras de hormigón pueden ser extrapolados a los elementos que deben ser reparados bajo el agua. Sin embargo, algunos materiales totalmente correctos para un uso en la superficie resultan totalmente inoperantes en reparaciones de este tipo, por las siguientes razones:

- **EL COSTE Y LAS DIFICULTADES DE LAS REPARACIONES BAJO EL AGUA** requiere simplificar y minimizar al máximo las operaciones. En ocasiones, el sistema de reparación debe ser adaptado a las posibilidades de acceso existentes.

- **LA PREPARACIÓN DE LAS ÁREAS DAÑADAS** requiere técnicas especiales.

- **EL MATERIAL DE REPARACIÓN DEBE SER COMPATIBLE CON SU USO BAJO EL AGUA**, tanto en el proceso de aplicación como en el de curado. Ello excluye a muchos de los materiales basados en resinas.

- **DEBEN ADOPTARSE MÉTODOS DE TRABAJO** que minimicen la mezcla entre material y agua.

- **EL CONTROL DE LAS REPARACIONES Y SU REGULAR SUPERVISIÓN** se ven dificultados y resultan más costosos.

PREPARACIÓN DEL ÁREA DAÑADA

La limpieza de la zona lesionada es necesaria para poder realizar una inspección detallada, que posibilite el proceso de reparación. La técnica a usar depende de la profundidad en que se encuentre el área dañada y de la edad de la estructura. Las zonas pequeñas pueden ser limpiadas mediante cepillos manuales o mecánicos, mientras que en grandes áreas resulta más efectivo el uso de jets de alta presión. Dependiendo del grado de incrustación o de contaminación, pueden añadirse preparados químicos abrasivos al chorro de agua.

Todo hormigón disgregado o agrietado debe ser retirado y, en ocasiones, incluso algún fragmento de barra deberá ser cortado y extirpado. En todo caso, debe seleccionarse el método que cause menores daños a las barras de armado existentes.

Esta tarea inicial presenta importantes problemas, debido a la combinación de la presión hidroestática con un medio eléctricamente conductivo, como es el agua. Por ello, serán necesarios equipos especiales, como la lanza térmica, que permite cortar simultáneamente hormigón y acero.

Este es el sistema tradicionalmente más usado en trabajos bajo el agua, pero está limitado a operaciones por encima de los 60 metros de profundidad, resultando su uso extremadamente peligroso por debajo de esta cota.

Su funcionamiento se basa en la expulsión de oxígeno calentado que, por reacción exotérmica, alcanza temperaturas superiores a los 3.500 ºC, permitiendo un rápido corte tanto de hormigón como de acero.

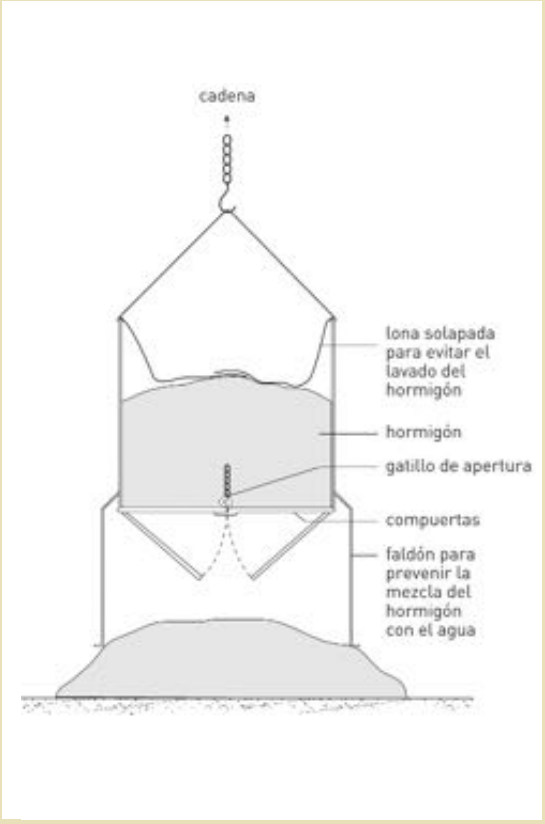
CHORROS DE AGUA A ALTA PRESIÓN: (entre 200 y 1000 atmósferas) son también muy usados para el trabajo bajo el agua, eliminando solamente el hormigón.

Entre los sistemas ***NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS*** tradicionales, podemos citar los cilindros hidráulicos expansivos, introducidos dentro de orificios previamente efectuados en el hormigón. La presión producida por su expansión produce la rotura en trozos del material.

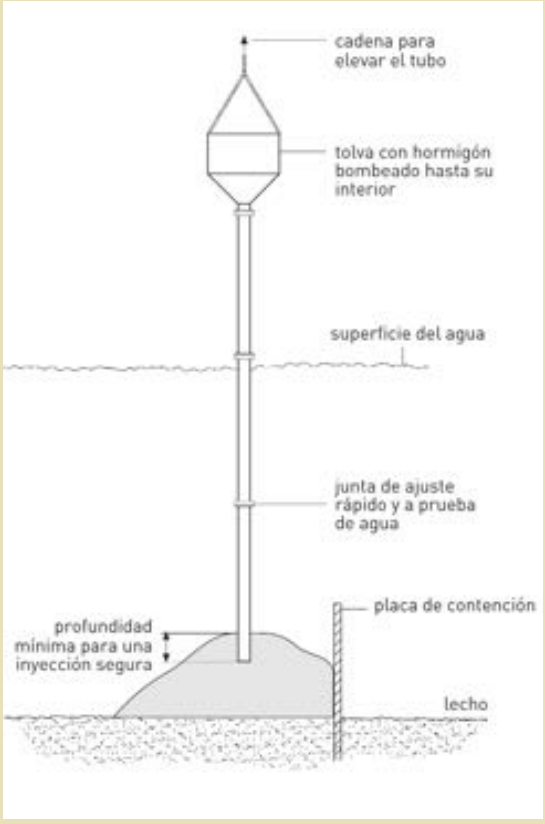
Algunos desarrollos más modernos apuestan por los cementos expansivos, más económicos y tan efectivos como los sistemas hidráulicos. Actúan igualmente dentro de orificios previamente efectuados, durante un periodo de 12 a 24 horas, llegando a generar tensiones suficientes para romper el hormigón.

CORTE MECÁNICO: mediante el uso de discos de diamante, es muy usado desde hace tiempo para trabajos menores, dado que es un sistema lento que además tiene una aplicación limitada en la profundidad. Sin embargo, como punto ventajoso, es capaz de cortar simultáneamente tanto hormigón como acero.

CARGAS EXPLOSIVAS: muy utilizadas en el pasado para reparaciones bajo el agua, han caído en desuso por sus irregulares resultados sobre la estructura y por el riesgo de ocasionar daños sobre elementos adyacentes. Algunos sistemas más recientes permiten un mayor control del radio de acción de la carga, usando explosivos especiales introducidos en cápsulas de un metal blando, como el aluminio o el cobre.



Esquema de hormigonado bajo agua con el sistema de contenedor.



Esquema de hormigonado bajo agua con tubo tremie para grandes volúmenes de hormigón.

ETAPAS DE LA REPARACIÓN

Primeramente, se debe reemplazar todas aquellas barras de armado que hayan sido extraídas, solapándolas o uniéndolas con las barras ya existentes. En reparaciones de tipo menor, pueden usarse:

- **MORTEROS DE CEMENTO**. El material constituyente, el cemento, es dispersable por los movimientos del agua. Para prevenir un debilitamiento de la capa expuesta, que reduciría la adherencia de las siguientes, se han desarrollado ciertos aditivos que aportan una mayor resistencia del cemento al lavado por agua. Pueden usarse en espesores de entre 20 y 150 mm.

- **MORTEROS DE RESINAS**. Las resinas habituales de epoxi o poliéster resultan completamente inservibles bajo el agua, con fallos generalizados en la adherencia y con frecuentes reacciones del agente de curado en contacto con el agua, reduciendo la eficacia del mortero. Por ello, es necesario recurrir a resinas especiales epoxi y de poliéster, de baja viscosidad y con ausencia total de solventes volátiles. Usualmente, contienen aditivos pesados con el objeto de asegurar el total desplazamiento del agua en el lugar donde se asienta el material de reparación.

El procedimiento general para la inyección de grietas bajo el agua es muy similar al seguido en trabajos de superficie. El uso alternativo de resinas epoxi o de preparados de cemento depende de la anchura de la grieta, siendo los segundos más adecuados para aberturas mayores de 3 mm. Sin embargo y dado el riesgo de lavado del cemento, las inyecciones de resinas de baja viscosidad y libres de solventes son normalmente preferidas.

Cuando es necesario sustituir grandes volúmenes de material, puede considerarse la posibilidad de utilizar masas premoldeadas y premezcladas de hormigón de alta densidad, en varias medidas, que ofrecen numerosas ventajas frente a aquellos sistemas moldeados dentro del agua.

No obstante, existen un buen número de situaciones en las que esta solución no será operativa.

En todo caso, es importante diseñar perfectamente, hasta en el más mínimo detalle, el diseño y la forma en que se llevará a cabo el montaje del sistema de trabajo previsto, asegurándose de que éste sea compatible con las operaciones bajo el agua. En reparaciones por debajo del lecho de tierra, el diseño de las reparaciones puede ser simplificado.

Crear una unión entre el nuevo material y la estructura original y salvar las dificultades ofrecidas por las irregularidades de superficies diferentes puede ser una tarea dificultosa. En los trabajos verticales, es preferible optar por uniones mediante correas de acero y tornillos que sujeten el hormigón dentro de su molde. Es también conveniente aplicar una delgada capa de algún producto semejante al neopreno, que asegure un sellado final y eficaz.

En cuanto a la mezcla que constituirá el nuevo hormigón, depende de la naturaleza de los trabajos de reparación, siendo frecuente la necesidad de introducir algunas modificaciones sobre las fórmulas más estandarizadas. El cemento ordinario Pórtland es el más usado, tanto en aguas marinas como dulces. Es necesario prever la aparición de fugas y compensar el lapso de tiempo que pase entre la realización de la mezcla y la colocación del material.

No son recomendables proporciones que contengan menos de 330 kg/m³, dado el riesgo de lavado del cemento. En general, sin embargo, ello no significa que el uso de mezclas de alta resistencia sea la solución. Ello debe acompañarse del uso de métodos de colocación altamente controlados, como el bombeo. Existen varias técnicas para el diseño de mezclas que resulten bombeables, basadas en la reducción de la permeabilidad del mortero, la elección de áridos adecuados que eviten la pérdida de mortero y el mantenimiento de un volumen de pasta suficientemente alto para lubricar la mezcla.

En cuanto a los áridos, la dimensión de la reparación puede obligar a seleccionar, en algunos casos, componentes de menor tamaño a los habituales. Las gravillas marítimas bien lavadas y las de río de canto redondo son las más adecuadas.

Los aditivos superplastificantes son esenciales para otorgar las características de fluidez necesarias, pero su adición puede requerir realizar ciertas modificaciones en las proporciones de mezcla, con el objeto de mantener la estabilidad del conjunto. Cuando se prevé que puedan haber retrasos sustanciales entre el proceso de mezclado y de colocación, pueden usarse aditivos retardantes del fraguado de la mezcla. Sin embargo, a menudo esto resulta innecesario cuando las propias temperaturas bajas del agua permiten retrasar el fraguado del hormigón.

MÉTODOS PARA LA COLOCACIÓN

Solamente cuando se usan cementos de tipo no dispersable, pueden conservarse los métodos habituales de colocación. En caso contrario, cuando se usan cementos habituales, existe siempre el riesgo de que la parte del hormigón que quede en contacto con el agua sea sometida a un lavado que le conduzca a una reducción de su resistencia mecánica, provocando la aparición de grietas y, por lo tanto, abriendo vías de agresión hacia las armaduras.

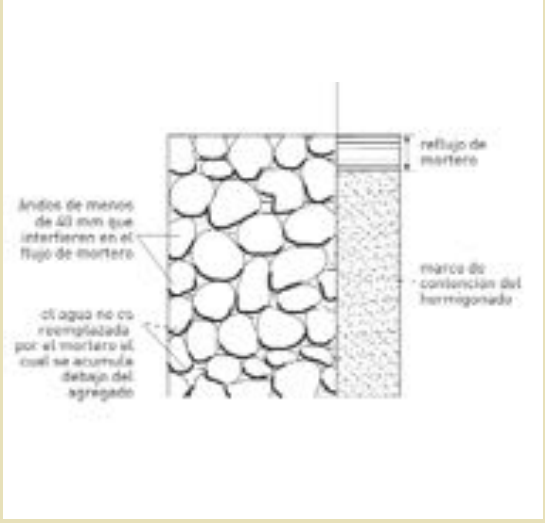
Por ello, los métodos de colocación se basan en la minimización del área que está en contacto con el agua y en la previsión de turbulencias. A continuación se citan algunos de los más utilizados.

CONTENEDORES DE APERTURA INFERIOR

Este es el método más simple, consistiendo en introducir lentamente un contenedor que aloja el hormigón en el agua, hasta alcanzar la profundidad del área a reparar. Al abrir una especie de compuertas inferiores, la mezcla cae libremente por gravedad.

Tanto la parte superior del contenedor como el perímetro de la zona a reparar deben ser protegidos con láminas metálicas o plásticas, para evitar en lo posible cualquier contacto con el agua mientras el contenedor es desplazado a la profundidad y el mortero es depositado en ella.

Las desventajas de estos sistemas es el pequeño volumen de hormigón que puede desplazarse y el extenso lapso de tiempo que discurre entre dos operaciones sucesivas.



Los áridos pre-colocados son demasiado pequeños y no dejan intersticios para que pase la mezcla de cemento y arena, que refluye hacia arriba.

CONDUCTO «TREMIE»

En este sistema, el hormigón es depositado directamente en la superficie, desplazándose hasta el punto exacto donde es requerido, por medio de un conducto o tubería flexible. Para una buena compactación y un fácil fluido, se diseña normalmente una mezcla que sea muy trabajable.

El resultado de este método de aplicación es un hormigón más homogéneo que el del anterior sistema. Se debe evitar el lavado mediante la colocación de una estructura que encierre el nuevo hormigón.

BOMBEADO

Se trata del sistema que aporta la mayor calidad y seguridad en cuanto a su resultado, permitiendo restaurar completamente la capacidad mecánica de la estructura. El hormigón es bombeado desde la superficie hasta el lugar exacto de depósito de la mezcla, desplazando el agua mediante una válvula situada en la parte superior de la bomba.

El sistema de bombeo puede servir también para desalojar el agua absorbida en la capa superior del hormigón, reduciendo de este modo su debilitamiento.

Por medio del cierre de las válvulas de entrada y salida, la presión puede ser mantenida dentro de la propia masa de hormigón depositado, con el objeto de reducir el riesgo de fugas en la mezcla.

Para permitir al hormigón introducirse en todos los huecos y espacios abiertos entre las armaduras, es necesario que la mezcla resulte muy trabajable y autoniveladora.

HORMIGÓN NO DISPERSABLE

El hormigón no dispersable resulta de la adición de una serie de preparados que aportan prestaciones añadidas al cemento convencional.

Siendo autocompactante y autonivelante, resulta mucho más homogéneo y repelente al agua, presentando menor riesgo de segregación y de lavado del cemento.

Esta flexibilidad incrementa las posibilidades de uso en reparaciones bajo el agua y evita la necesidad de tomar grandes medidas de control de las operaciones.

Además, su buena resistencia a la erosión en estado plástico evita el deterioro de la superficie, siendo un tipo de preparado ideal para ser colocado mediante el sistema de contenedores de apertura inferior o por el sistema de bombas, pero resulta inadecuado para las tuberías «tremie» debido a su alta cohesión y al riesgo de adhesión a las paredes del conducto.

HORMIGÓN SOBRE ÁRIDOS PRECOLOCADOS

Este método de colocación es ideal cuando las condiciones de acceso son limitadas o la existencia de corrientes de agua rápida podría dañar fácilmente el hormigón convencional.

En este proceso, una serie de toscos áridos, no menores de 40 mm., son colocados dentro de una especie de molde que conforma el área de actuación bajo el agua.

Seguidamente, se introduce una mezcla de cemento y arena de alta fluidez, desplazando el agua alojada en los huecos formados por las piedras toscas. El bombeado continúa hasta que el mortero humedecido por el agua emerge por la válvula superior. Para prevenir un posterior lavado, generalmente se encierra el conjunto con algún tipo de lámina.

El resultado final es un hormigón con una alta relación árido/cemento, lo cual significa una reducción de la tendencia hacia las fisuras de retracción de entre un 50 o 70 % con respecto al hormigón convencional. Si los áridos son menores de 20 mm., la mezcla de cemento y arena se colapsará en los intersticios, dificultando la inyección. En cuanto al cemento utilizado, se usa generalmente el Pórtland, a menudo con una adición de cenizas de fuel pulverizadas para incrementar la fluidez del conjunto.

CEMENTOS DE RESINA EPOXI

El sistema anterior puede también ser rellenado con resinas epoxi. A pesar de que este material incrementa varias veces el precio de la reparación, lo cierto es que posee prestaciones elevadas que lo hacen más adecuado:

- **EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA ES MUY PEQUEÑO** (menos de 100 μm).
- **LA VISCOSIDAD ES GENERALMENTE BAJA**, aunque se incrementa significativamente con las bajas temperaturas.
- **LA FORMULACIÓN** puede ser variada para otorgarle una mayor vida en envase.

Por ello, los morteros de resinas son más versátiles y pueden ser usadas con áridos mucho más pequeños que en el caso de los cementos.

D. DETENER O REDUCIR LA CORROSIÓN DE LA ARMADURA

PROTECCIÓN CATÓDICA

La técnica de protección catódica consiste en dotar a la armadura de un potencial de valor tal que no se pueda producir la corrosión. Existen dos sistemas: el del «ánodo de sacrificio» y el del «circuito impreso».

En el primer caso, la armadura se convierte en el polo positivo de una pila electromagnética o cátodo y en la superficie de la pieza se sitúa un «ánodo de sacrificio», que sufrirá los efectos de la corrosión. Este último, al tener un potencial electroquímico menor al del acero (zinc o magnesio) invierte el sentido de la corriente, consumiéndose mientras protege e inhibe de la corrosión al acero.

El sistema de «circuito impreso» funciona introduciendo una corriente continua controlada. El ánodo negativo se conecta a la armadura de la estructura, mientras que el positivo lo hace a un material con propiedades semi-inertes o no corrosivas.

En principio este ánodo puede ser cualquier material que sea conductor pero que tenga una vida útil larga, mínimo 20 años. Los mas empleados son los de grafito, titanio platinado, tantalio, niobio, aleaciones de plata y plomo, etc.

El problema que se plantea para ambos sistemas, es la continuidad que debe tener la armadura. Conseguir esta en una estructura nueva, donde se prevé que se utilizará la protección catódica, es mucho más sencilla que sobre una estructura existente.

La forma de los ánodos puede ser diversa, se suele utilizar en forma de redes o parrillas, ancladas al hormigón o embebidos en unas láminas de polietileno.

EXTRACCIÓN DE CLORUROS

La extracción de cloruros consiste en la aplicación de un campo eléctrico entre la armadura y una malla metálica sumergida en un depósito electrolítico que se coloca en la superficie del hormigón. En este proceso, al igual que en la protección catódica, los iones cloruros tienden a desplazarse hacia el polo positivo o ánodo en el exterior de la masa del hormigón.

Previamente a la operación de extracción de cloruros hay que proceder a la reparación de las zonas degradadas. Si la estructura presenta fisuras y grietas originadas por la corrosión expansiva del acero, se deberá sustituir la armadura y eliminar el hormigón desconchado y suelto. Luego se realizarán las conexiones eléctricas de la armadura, que dependerán de la continuidad de la misma y de sus dimensiones, considerando como mínimo una cada 20 m^2.

Por último se coloca la malla metálica superficial, embebida en un depósito electrolítico de fieltro saturados en agua o de fibra de celulosa. Hay que garantizar que el electrolito se mantenga húmedo durante todo el proceso. Una vez instalado el sistema, se conecta una corriente eléctrica de 1 A/m^2, con el polo negativo hacia los cables de las armaduras y el positivo hacia la malla metálica. Es importante que la corriente eléctrica sea estable.

La extracción de cloruros de una estructura puede prolongarse entre uno y tres meses. El seguimiento de la operación se lleva a cabo durante las primeras semanas mediante la extracción de testigos, para comprobar que el proceso sigue una evolución adecuada. Cuando los análisis resulten satisfactorios se decidirá el fin de la operación, con la desconexión eléctrica y el desmontaje de la malla y el electrolito. Luego se procederá a la limpieza de la superficie, reparar los daños producidos y aplicar una protección superficial.

Si bien el sistema plantea grandes virtudes, posee un costo muy elevado y su aplicación resulta delicada. Al no ser una técnica lo suficientemente experimentada, no se conocen con exactitud las posibles consecuencias negativas que pueda ocasionar, ni la cantidad de cloruros que se pueden extraer en esta operación.

REALCALINIZACIÓN

Esta técnica consiste en la movilización de los álcalis (iones OH-) al desplazarlos desde zonas con un pH elevado hacia otras que lo tengan más bajo.

Esto se puede lograr con la aplicación de morteros muy ricos en cemento, en la superficie del hormigón, manteniendo la zona húmeda. De esta forma se puede lograr una ligera penetración de álcalis hasta uno o dos centímetros de profundidad.

La forma mas adecuada es mediante un método industrializado que se basa en el mismo principio de los sistemas comentados anteriormente. Se instala en la superficie del hormigón una malla que se reviste con pasta de celulosa impregnada con un álcali (carbonato sódico). Mediante la aplicación de un campo eléctrico se convierte la armadura en un cátodo y la malla exterior en ánodo. La solución alcalina de la malla exterior va migrando por electroósmosis, hacia el interior del hormigón, penetrando de forma rápida y profunda.

La operación puede durar entre 15 días y un mes, pudiendo llegar el pH del hormigón carbonatado hasta un nivel de entre 9 y 10,5. Luego de la realización de este proceso se deberá aplicar una protección superficial para evitar una nueva carbonatación.

Al igual que en los métodos anteriormente citados el procedimiento tiene un coste elevado y resulta de difícil aplicación y efectividad para estructuras existentes.

BIBLIOGRAFÍA

Aspectos visuales del hormigón. *Calavera-Fernández Gómez-González Isabel-López Sánchez-Pérez Luzardo. Mongrafías INTEMAC. 1999.*

Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: causas y procedimientos de rehabilitación. *Alfonso Cobo Escamilla. Fundación Escuela de la edificación. Madrid, 2001.*

Curso de patología. Tomo 2..*AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Hormigón Armado. *Montoya-Meseguer-Morán. Gustavo Gili. Barcelona, 2000.*

Introducció a la ciència dels materials de construcció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8,31. Barcelona, 1995.*

Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 2000.*

Patología del hormigón debido a la oxidación de la armadura. *TEXSA. División Polímeros.*

Patología y terapéutica del hormigón armado. *M. Fernández Cánovas. Dossat. Madrid, 1977.*

Recomendaciones para el reconocimiento sistemático y la diagnosis rápida de forjados construidos acon cemento aluminoso. *Fructuós Mañá i Reixach-Rafael Bellmunt i Ribas. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1991.*

Tecnología del fuego (2 tomos). *Manuel Pascual Pons. Manuel Pascual Pons. Barcelona, 1977.*

The repair of concrete structures. *Allen-Edwards. Blackie. London, 1987.*

Informes de la Construcción Nº 419. *Identificación de presencia de cemento aluminoso en hormigones mediante el uso del Panchómetro. Andrade-Lozano-Seguí-Vicens-Hernández. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Situación actual de las técnicas de ensayo no destructivo del hormigón. Hostalet Alba. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

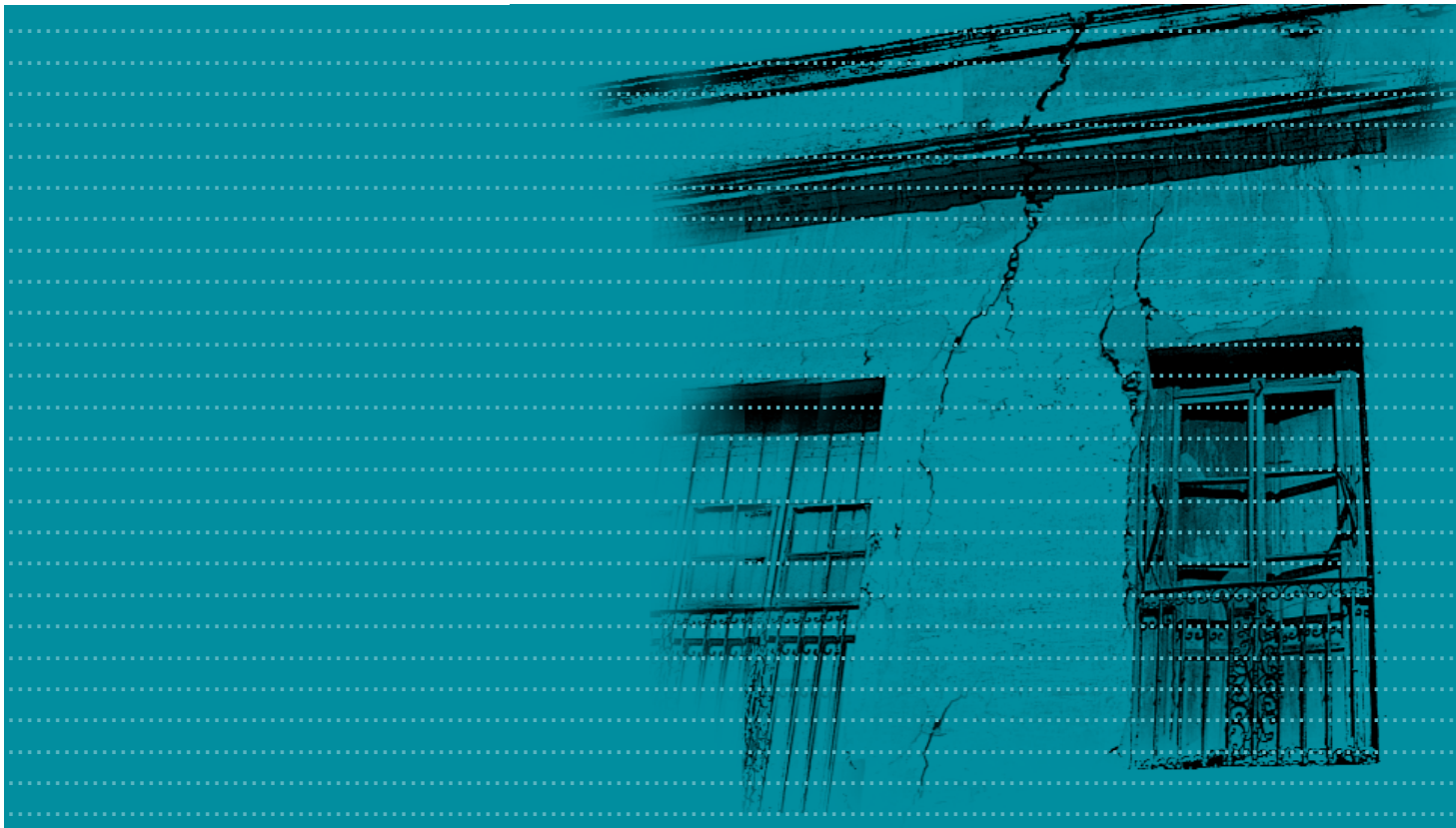
Materiales de Construcción Nº 226. *Influencia de las concentraciones en iones hidróxilos, carbonatos y cloruros sobre la corrosión por picaduras del acero en el hormigón. Chaussadent-Aron. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Materiales de Construcción Nº 230. *Estudio de la degradación del hormigón a través de su microestructura. Moema Ribas Silva. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Materiales de Construcción Nº 232. *Algunos aspectos microestructurales del deterioro del hormigón. Draper-Wagner-Skalny. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Hormigón Preparado Nº 29. *Áridos con inclusiones potencialmente nocivas para el hormigón. José Calleja. Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.*

Hormigón Preparado Nº 31. *Refuerzo de estructuras con materiales compuestos con fibra de carbono. Sistema SIKA CARBODUR. Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.*



PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES

PATOLOGÍA DE LOS AGLOMERANTES Y CONGLOMERANTES

MATERIA PRIMA.....209
AGLOMERADOS Y CONGLOMERADOS.....235
CAUSAS DE ALTERACIÓN.....255
SISTEMAS DE DIAGNÓSIS.....273

PATOLOGÍA DE LOS AGLOMERANTES Y CONGLOMERANTES

MATERIA PRIMA 209

AGLOMERANTES AÉREOS: ARCILLAS, YESOS Y CAL 210
CEMENTOS 218
ÁRIDOS 221
AGUA 230
ADICIONES Y ADITIVOS 231

AGLOMERADOS Y CONGLOMERADOS 235

MORTEROS 235
CALIDAD DE LOS CEMENTOS 244
ARENAS 248
HORMIGÓN 248

CAUSAS DE ALTERACIÓN 255

ALTERACIÓN DEL YESO 255
ALTERACIÓN DE LOS MORTEROS 259
ALTERACIÓN DEL CEMENTO 259
ALTERACIÓN DEL HORMIGÓN 263
ALTERACIONES CROMÁTICAS 269
ACCIÓN QUÍMICA DEL AGUA 269

SISTEMAS DE DIAGNOSIS 273

ANÁLISIS DE ÁRIDOS 273
CONTROL DE CALIDAD DE LOS ÁRIDOS 278
TOMA DE MUESTRAS 280
ANÁLISIS DE MORTEROS ANTIGUOS 282

BIBLIOGRAFÍA 285

MATERIA PRIMA

El presente punto trata sobre los diversos procesos patológicos con incidencia en los aglomerantes y conglomerantes de uso habitual y sobre las medidas preventivas más adecuadas para reducir o impedir los fallos consecuentes.

Para ello se analizan los síntomas que advierten de la existencia de alteraciones en la materia y en el producto final y se ofrece una descripción de los sistemas de análisis que se llevan a cabo en la actualidad.

Por la manera en que los aglomerantes y conglomerantes se conforman, o sea, por sus reacciones químicas (fraguado, endurecimiento, etc.) suele ser difícil reparar o subsanar los inconvenientes que pudieren aparecer. De esto se desprende que muchas de las medidas a continuación expuestas sean de carácter preventivo y que se insista sobre la calidad de la materia prima y su correspondiente control en la selección y manipulación.

Los materiales detríticos disgregados, presentes en la naturaleza, pueden transformarse en rocas coherentes con la ayuda de determinados productos procedentes de sustancias disueltas que se precipitan o suspenden en el agua.

En este apartado se presenta un detallado análisis de aquellas sustancias inorgánicas con capacidad para endurecer y unir; de las condiciones y propiedades esperadas del agua, y de las características que deben reunir los diversos granulados para cumplir con las exigencias actuales en la construcción.

Asimismo, se analizan las propiedades de los productos acabados y su comportamiento.

Los aglomerantes son aquellas sustancias que, finamente molidas, tienen la capacidad de endurecer al aire y unir fragmentos de otras materias mediante procesos físicos.

Los conglomerantes, por su parte, comprenden a las sustancias que, finamente molidas, son capaces de endurecer no sólo al aire, sino también dentro del agua, y que logran unir fragmentos de otras materias mediante procesos físicos y químicos. De esta manera, permiten la formación de compuestos nuevos que no estaban presentes antes de su hidrolización.

Las fuerzas de aglomeración y conglomeración son consecuencia de un incremento en las fuerzas de cohesión de la unidad estructural de las sustancias, que en general se provoca por alguna de las siguientes maneras:

- ***DESHIDRATACIÓN SIMPLE*** (en ausencia de geles): es el caso de las fuerzas de aglomeración que, tras la evaporación del agua que mojaba la arena, pueden mantener unidos a los granos. Al tratarse de fuerzas muy débiles, no tienen mayor interés en la construcción.

- ***DESHIDRATACIÓN EN PRESENCIA DE GELES***: Cuando un sistema coloidal disperso pierde agua por evaporación, las partículas se van aproximando y forman una estructura compacta capaz de unir fragmentos de otros materiales. Es el caso de las arcillas.

- ***FORMACIÓN DE CRISTALES***:

  • Si las sustancias, al hidrolizarse, ceden productos poco solubles que dan origen a soluciones sobresaturadas, se forman y precipitan cristales, cuya red puede encerrar fragmentos de otros materiales como es el caso del yeso, las cales y los cementos.

  • Si la cristalización responde al enfriamiento de sustancias que, en parte, contienen materiales en estado de fusión (caso de la cerámica) o de sustancias fusionadas en su totalidad (caso de las piedras ígneas o de los metales).

Antes de entrar en el estudio de las materias primas que aquí interesan, es conveniente analizar los procesos de fraguado y endurecimiento.

Por fraguado se entiende el fenómeno por el cual aglomerantes o conglomerantes, después de hidrolizados, se vuelven rígidos en un periodo de tiempo establecido e invariable para cada uno de ellos.

Al entrar en contacto la sustancia y el agua, lo que se conoce como inicio del periodo de fraguado y que puede abarcar desde segundos hasta unos pocos días, no se observa ninguna alteración de la masa plástica.

Tras este lapso inicial comienza a hacerse visible un espesamiento de la pasta con aumento de la viscosidad y, en algunas situaciones, ello es también acompañado por un incremento de la temperatura.

Finalmente, cuando la mezcla ya se transformó en un cuerpo rígido y resistente, se da por concluido el periodo de fraguado y comienza así el de endurecimiento, proceso por el cual, en general, se logra el aumento de la resistencia a la compresión de dicho cuerpo.

Los tiempos de fraguado difieren para cada conglomerante o aglomerante. Este último se puede determinar por medio de la aguja penetrómetra de Vicat, mecanismo que mide el tiempo transcurrido entre que la aguja penetra hasta dos profundidades determinadas y que depende del grado de viscosidad de la pasta. Para realizar este ensayo, es conveniente seguir las instrucciones al respecto.

En realidad, los fenómenos que tienen lugar durante ambos periodos de fraguado y endurecimiento, forman en sí un proceso sin discontinuidades, lo cual implica que los tiempos para cada periodo se han establecido ya y no tienen por qué corresponderse con lo que en verdad ocurre; fueron elegidos para posibilitar el control del comportamiento de cada uno de los aglomerantes o conglomerantes.

AGLOMERANTES AÉREOS: ARCILLAS, YESOS Y CAL

ARCILLAS

Las arcillas están constituidas por minerales arcillosos, grupo de los filosilicatos que se caracteriza por su estructura de capas de redes cristalinas abiertas.

Por lo general la medida de sus granos no alcanza los 0,01 mm y ocasionalmente presentan más de un 30 % de partículas inferiores a 0,001 mm.

Tanto la estructura de los granos –laminar y abierta–, como su medida, hacen que las arcillas retengan una importante cantidad de agua y que se comporten como geles, experimentando un hinchamiento o aumento del volumen de la arcilla en seco. En el caso de las bentonitas, el volumen primitivo puede crecer hasta 16 veces.

Ante condiciones propicias para la evaporación, las arcillas pueden sufrir una contracción considerable ya que, al ceder al aire toda o parte del agua incorporada, sus granos se acercan y colman el espacio que quedó libre. De esta manera, las partículas se adhieren entre sí y crean una mezcla compacta que puede encerrar a otros materiales, como áridos y virutas, que se hayan unido a las arcillas.

No obstante, ante todo es importante que dicha evaporación tenga lugar lenta y controladamente, caso contrario pueden aparecen grietas de contracción.

Para las arcillas, entonces, las fuerzas de aglomeración son por deshidratación; al no dar lugar a nuevas sustancias no se trata de un fraguado y endurecimiento propiamente dichos y, en definitiva, se conocen como fuerzas débiles.

Las arcillas grasas bien tratadas, sea en forma de tapia o de adobe, proporcionan gran estabilidad química y buena durabilidad, buen aislamiento térmico y acústico, facilidad de moldeo y buena adherencia a otros materiales. A fin de hacerlas más resistentes a la acción del agua exterior, se puede añadir un abrevamiento de cal y, para mayor protección, es posible adjuntar una capa de mortero por los dos lados de la pieza.

YESOS AGLOMERANTES

El yeso –sulfato cálcico– puede encontrarse en la naturaleza en forma de «piedra de yeso». Cuenta con dos moléculas de agua, $(CaSo_4)^2$ H_2O, y una estructura cristalina de diversas formas, siendo una de ellas el alabastro (compacta, de grano muy fino, no efervescente a los ácidos y capaz de recibir pulido). La piedra de yeso natural requiere un proceso térmico adecuado para ser un aglomerante.

El proceso consiste en trocear y machucar la piedra hasta reducirla a polvo; luego se la lleva a una cocción de hasta 130-150 ºC en la que pierde una molécula y media de agua. Según se realiza la cocción en autoclave a presión o en horno abierto, el yeso semihidratado resultante puede presentarse en dos formas alotrópicas: en el primer caso se obtiene la forma A, de estructura cristalina y compacta; en el segundo caso, se alcanza la forma B, más esponjosa que la anterior.

Si la cocción se prolonga con un incremento de la temperatura se obtienen productos de propiedades disímiles: anhidrita soluble (A), anhidrita insoluble (B) y anhidrita yeso hidráulico (C).

A continuación se presentan las propiedades del fraguado de los productos obtenidos en la cocción, diferenciando entre el semihidratado de la forma A y de la forma B:

FRAGUADO	SEMIHIDRATADO FORMA A	SEMIHIDRATADO FORMA B
Peso específico (g/cm^3)	2,76	2,64
Solubilidad en agua (g por litro a 20 ºC)	6,7	8,8
Tiempo de fraguado (minutos)	15/20	25/35
Resistencia a tracción una hora después del fraguado húmedo (kg/cm^2)	35	0,6
Resistencia a compresión una hora después del fraguado húmedo (kg/cm^2)	280	28

Ambos productos tienen unas propiedades que los vuelven aptos para aglomerantes: avidez de agua para pasar del semihidratado (inestable) al deshidratado (estable) y ***DIFERENTE SOLUBILIDAD*** entre sí.

Cuando el polvo fino de yeso semihidratado entra en contacto con el volumen apropiado de agua (45-50 %), se hace más soluble que el deshidratado y genera una solución sobresaturada con precipitación de cristales de deshidratado que, al acumularse, se adhieren entre sí y espesan la pasta. De esta manera se inicia el fraguado y el posterior endurecimiento ocurre por desecación de la masa, acompañada de una cristalización más completa para el crecimiento de los cristales de una nueva fase.

El yeso que se comercializa contiene ***YESO DESHIDRATADO*** –que no ha llegado a la temperatura de cocción–, ***YESO SEMIHIDRATADO*** –en especial de la forma B, aunque también de la forma A– y ***ANHIDRITA C***. En consecuencia, sus propiedades varían en función de la cantidad de cada uno de estos componentes y de la medida del grano.

CLASIFICACIÓN DE LOS YESOS

Los siguientes son los tipos de yeso que se encuentran en el comercio; todos ellos han de cumplir con las normas UNE 102010-86 y UNE 102011-86:

- **YESO GRUESO (YG)**: para construcción de tabiques y primeras capas de enyesados.
- **YESO GRUESO (YG-L)**: incorpora aditivos para regular el tiempo de fraguado.
- **YESO FINO (YF)**: para blanqueos o segundas capas.
- **YESO FINO (YF-L)**: incorpora aditivos para regular el tiempo de fraguado.
- **YESO (YP)**: para piezas prefabricadas.

Si en el yeso prevalece el semihidratado y la molienda es muy esmerada, se lo conoce como escayola, que también puede clasificarse en:

- **E-30**: para prefabricados finos (placas para techos y molduras).
- **E-30L**: incorpora aditivos para aumentar el tiempo de trabajabilidad.
- **E-35**: para trabajos de decoración.
- **E-35L**: incorpora aditivos para aumentar el tiempo de trabajabilidad.

INCIDENCIA DEL YESO SOBRE OTROS MATERIALES

Dentro de los efectos adversos que puede tener el yeso sobre otros materiales, se destacan las acciones sobre el hierro y el cemento Pórtland.

En el primer caso el yeso tiene una acción oxidante ya que, debido a su solubilidad en agua (2 gramos por litro), se desprende que el agua que moja el yeso es ácida y que por tanto ataca al hierro que entró en contacto, lo cual se puede prevenir protegiendo con pinturas especiales de tipo epoxi.

En el segundo caso, sobre hormigones y morteros de cemento Pórtland, el yeso forma compuestos expansivos; también aquí el ataque es resultado de la elevada solubilidad del yeso en presencia del agua que conduce los iones SO_4, por penetración directa o capilaridad.

La reacción de los aluminatos cálcicos del cemento Pórtland con dichos iones forma la sal de Candlot, muy expansiva, que destruye el hormigón o mortero.

UTILIDADES DEL YESO

A continuación se presentan las aplicaciones más habituales de las diversas clases de yeso en el campo de la construcción:

- **ENYESADOS** (o revestimientos destinados a regularizar superficies): mediante pastas de yeso de segunda, que se aplican con ayuda de reglas y llanas; forman una capa de grueso variable que no debe superar los 10 o 12 mm.

- **REVESTIMIENTOS** destinados a dejar lisas y resistentes a las superficies enyesadas para recibir el acabado: mediante pastas de yeso de primera.

- **MOLDURAS** hechas en taller y fijadas a la obra o, si el perfil es sencillo, preparadas in situ: mediante pastas de yeso de primera.

- **MATERIAL DE UNIÓN** para la construcción de tabiques con piezas cerámicas u otras: mediante pastas de yeso de segunda.

- **PASTAS PARA ESTUCOS** a aplicar directamente sobre un paramento o, una vez endurecidas, en forma de placas: con yeso de buena calidad, yeso fino o escayola, pastado con agua de cola y en ocasiones colorantes. Al yeso endurecido se le puede frotar con una muñeca con agua de jabón y luego con aceite o aguarrás para que adquiera más brillo.

- **PREFABRICADOS** de todo tipo, por ejemplo placas para techos.

CAL AÉREA

Este aglomerante se consigue por calcinación entre 650 y 950 ºC de carbonato cálcico (CO_3Ca), hasta lograr el mayor desprendimiento de CO_2. El producto resultante puede contener, además del componente mayoritario (CaO), algo de óxido de magnesio (MgO), originado por la disociación química de la eventual presencia de carbonato de magnesio.

Si el contenido de óxido de magnesio es inferior al 5 % estamos ante la cal grasa. Se ha de recordar que a mayor contenido de CaO, más plástica y de mejor calidad es la pasta de cal. Al contrario, si la proporción de óxido de magnesio supera el 10 %, la pasta de cal pierde plasticidad y pasa a ser cal magra, cal dolomítica, cal gris o cal árida.

El producto obtenido de la calcinación o cocción, que recibe la denominación de cal viva en terrones, carece de propiedades aglomerantes.

Procedimientos de mojado de la cal:

- **TENDIDO AL AIRE LIBRE CON PROTECCIÓN FRENTE A LA LLUVIA**: requiere un plazo de 3 meses.

- **INMERSIÓN AL AGUA EN TROZOS FRAGMENTADOS DE 5 CM**: alrededor de 2 minutos.

- **MEZCLA CON ARENA DIRECTAMENTE A LA OBRA, MEZCLA Y APILADO DE AMBOS MATERIALES Y VERTIDO DE AGUA** (proporción: cinco veces su volumen): requiere un cuidado especial consistente en la eliminación de los trozos no apagados que pueden provocar futuras patologías.

- **ASPERSIÓN EN UNOS HOYOS PREPARADOS ESPECIALMENTE**: se ubican en los hoyos los trozos de cal por capas de poco grosor y si se han de almacenar se los cubre con arena para evitar la carbonatación.

- **POR INYECCIÓN DE VAPOR DE AGUA** con desprendimiento de calor, en autoclave.

La teoría indica que el mojado de la cal viva en polvo exige el 30 % del agua de la mezcla de CaO, pero, según la composición de la cal y del grado de calcinación y sistema de apagado elegido, el volumen de agua empleado supera en dos o tres veces al de CaO, ya que una parte del agua se elimina por el vapor producido durante el apagado.

Cualquier extremo resulta perjudicial: la falta de agua en el apagado produce perturbaciones con aumento de la temperatura y un exceso retarda la hidratación o el apagado.

Al aire libre tienen lugar de forma simultánea dos procesos que hacen que la cal mojada se endurezca lentamente:

- **SECADO POR EVAPORACIÓN DE AGUA DE AMASIJO**: las partículas finas de hidróxido de calcio, $Ca(OH)_2$, se aproximan, se transforman en partículas más grandes y cristalizan. Los cristales se unen, formando un esqueleto que rodea las partículas de arena.

- **CARBONATACIÓN DEL $CA(OH)_2$ BAJO LA ACCIÓN DEL CO_2 DEL AIRE**: la carbonatación comporta el desprendimiento de agua, razón por la cual los acabados con estos aglomerantes precisan de un largo periodo de secado. El carbonato cálcico formado se une con los cristales de $Ca(OH)_2$ y provoca el endurecimiento lento pero definitivo. Debido a una cristalización poco intensa, es muy débil la unión entre los cristales y bajas las resistencias de los morteros. Por otro lado, la formación de una película de CO_3Ca en la superficie impide que el aire penetre al interior de la pasta del mortero de cal, frenando la carbonatación por falta de CO_2.

Finalmente, cabe recordar la importancia de unas temperaturas positivas y elevadas para que sea efectivo el proceso de endurecimiento en estos tipos de mortero, ya que el hidróxido de calcio cristaliza con mayor rapidez cuanto más intenso sea el proceso de evaporación del agua.

PROPIEDADES Y USOS DE LA CAL AÉREA

Ante todo, se han de emplear aquellas cales que cumplan con las normas UNE 41066.

La característica principal de la cal aérea es su comportamiento de fraguado y endurecimiento, que difiere en esencia del fraguado hidráulico, y su inestabilidad volumétrica generada por la retracción.

La calidad de la cal aérea depende de las características de su composición. Así, cuantas menos impurezas arcillosas u otras contenga la caliza primitiva, mayor será su actividad, con más rapidez transcurrirá su hidratación y más elevado será el rendimiento de la pasta de cal.

Los morteros para construcción a partir de cal aérea suelen tener una resistencia mecánica muy baja y, tras 28 días de endurecimiento al aire libre presentan, como límites de resistencia a la compresión, entre 4 y 10 kg/cm^2 si es a base de cal apagada y entre 30 y 50 kg/cm^2 si es a base de cal viva molida.

Puede resultar contraproducente el empleo del mortero de cal con la cal recién apagada, sobretodo debido a la posible presencia de núcleos o nódulos de cal viva (CaO) que no fueron hidrolizados.

En consecuencia, se aconseja mantener la cal a la intemperie durante dos semanas, antes de su preparación para el mortero.

También se puede aplicar la cal aérea en la elaboración de los morteros mixtos (de cal y cemento Pórtland). En este caso, las dosificaciones más usuales son: cemento, cal aérea y arena en proporciones 1: 2: 8 y 1: 2: 12, destinadas por lo general a soleras y acabados de pared o revoques y enfoscados.

Se ha de recordar, no obstante, que los morteros de cal-arena de alta dosificación en cal grasa son propensos a la fisuración.

En la actualidad se emplean bastante los morteros ensacados de arena y cal grasa; se terminan de elaborar en la obra y, si se busca un mortero mixto, se les puede adicionar la parte de cemento deseada.

Continuando con las aplicaciones de la cal aérea, se detalla una de las más importantes: los estucos, que permiten diferentes técnicas:

- ***ESTUCADO EN FRÍO**:* requiere un enfoscado de la pared, mejor si es con mortero de cal grasa, y la base debe estar completamente seca. La pasta del estuco se compone de cal grasa bien tamizada, lo más blanca posible y sin restos o nódulos, y arena de mármol de granulometría lo más regular que se pueda, en proporción 1: 3.

- ***ESTUCADO EN CALIENTE**:* si bien el procedimiento es igual al anterior, en este caso se acaba dándole brillo. El bruñido consiste en pasar repetidas veces sobre la superficie estucada, ya un poco seca, la plancha de hierro bien caliente, que sirve para acabar esta forma de trabajo. La operación de enlaminado o enchapado se logra presionando con fuerza hasta que la superficie adquiere el típico brillo del pulido. El bruñido se debe hacer en dos fases.

- ***ESGRAFIADO**:* técnica muy simple, requiere un enfoscado de mortero de cal apagada de calidad y bien tamizada, y de arena muy limpia. La segunda capa, que hace de base del dibujo esgrafiado, se logra con mortero de cal apagada pero con arena muy fina y su grueso no debe superar los 5 mm.

  A continuación se remolina y más tarde se enluce o enfosca la superficie con la paleta y se deja en reposo hasta el inicio del fraguado de la superficie, cuando se debe proceder a la primera capa de blanqueo con cal líquida y blanca, en sentido horizontal y utilizando una escobilla. De esta manera, se consigue remover ligeramente la superficie del mortero y hacer que penetre la cal en la pasta.

Media hora más tarde se realiza un segundo blanqueo en sentido vertical; a estas alturas el paramento debe presentar un aspecto blanco y liso en su totalidad.

Finalmente, cuando se inicia el secado superficial, se aplican los dibujos preparados para esgrafiar. Si el esgrafiado se hace en color, extender primero la capa de color y a continuación la de fondo.

CAL HIDRÁULICA

Esta clase de cal se logra por calcinación (1.000 a 1.200 ºC) de calizas con un contenido de arcilla entre 8 y 20 %.

Durante el proceso de calcinación, y tras la descomposición del carbonato cálcico y de las arcillas, una parte del óxido de calcio formado se combina con los óxidos contenidos en los minerales arcillosos para formar los silicatos, los aluminatos y los ferritos de calcio que se endurecen al aire libre y dentro del agua.

Como aún queda otra parte importante de CaO expansivo sin combinar, ésta deberá ser hidratada con anterioridad a la aplicación de la cal hidráulica como aglomerante, evitando así posteriores expansiones.

Se recomienda una especial atención durante el tratamiento de hidratación de la cal libre, transformándola en hidróxido de calcio de manera total pero selectiva, ya que se trata de impedir la hidratación de los silicatos y aluminatos presentes, los cuales deben conservar sus propiedades hidráulicas que permanecen anhidras.

El procedimiento más corriente consiste en extender el producto calcinado por capas de un grosor de 10-15 cm y humectarlo por aspersión. Por último, se procede a la molienda hasta alcanzar la magnitud exigida, de manera que lo que retenga el tamiz 0,008 no supere el 10 %.

Luego del proceso de apagado, las cales hidráulicas son sometidas a la operación de cribado o tamizado: la cal que pase por el tamiz más pequeño se conoce como ***FLOR DE CAL***, mientras que el residuo que queda sin pasar, que consta más que nada de gránulos sobrecocidos, se denomina ***GRAPPIERS***.

Los grappiers molidos finamente sirven para formar el ***CEMENTO DE GRAPPIERS***, que prende lentamente y presenta mayor resistencia e hidraulicidad que la cal hidráulica. En menor proporción se encuentran los ***TERRONES NO COCIDOS***, de color amarillento, los cuales se separan de los grappiers y se los recicla luego.

Las propiedades hidráulicas del producto obtenido se atribuyen a los silicatos y aluminatos, aportados principalmente por el sílice y la alúmina, componentes mayoritarios de la arcilla.

PROPIEDADES Y USOS DE LA CAL HIDRÁULICA

La propiedad fundamental de este aglomerante es su hidraulicidad, la capacidad de prender incluso dentro del agua.

Al tratarse de un aglomerante hidráulico, la mayoría de sus constituyentes –componentes ácidos y en menor proporción componentes básicos– y el índice de hidraulicidad, o la relación entre ambos, supone una característica específica de valoración de la calidad de una cal hidráulica. Como valores diferenciales del índice de hidraulicidad se aceptan los comprendidos entre 0,15 y 0,50.

Por otro lado, como además la cal hidráulica tiene las mismas propiedades que la cal grasa, sirve en la elaboración de los morteros de cal y mixtos cuando se pretende modificar su fraguado y permite su empleo en cualquier ambiente, húmedo o saturado, a diferencia de la grasa.

La norma UNE 41067-8 prescribe los siguientes ensayos de calidad para las cales hidráulicas:

Fraguado de muestras	Realizar sobre el 5 % de los sacos (mínimo de 3 sacos). Se prohibe tomar muestras de la capa superior.
Expansión con aguja de Chatelier	La separación de las agujas medida en el extremo debe ser inferior a 10 mm para el ensayo hecho en frío al cabo de 7 días, o en caliente al cabo de 3 horas.
Finura	Residuos máximos sobre un tamiz de 0,2 mm: - para cales fuertemente hidráulicas: máximo del 3 %; - para cales normales y medianamente hidráulicas: máximo del 10 %.
Resistencias mecánicas	Se realizan sobre probetas prismáticas de 4x4x16 cm utilizadas en los ensayos RILEM de mortero 1:3, normalizados según normas AFNOR. Al cabo de 28 días habrán de producirse los siguientes valores admisibles (ruptura a compresión): - cales fuertemente hidráulicas: 80 kg/cm^2; - cales normales: 40 kg/cm^2; - cales medianamente hidráulicas: 15 kg/cm^2. En cuanto a la flexión, utilizando la balanza sobre dichas probetas, las cales eminentemente hidráulicas habrán de dar valores cercanos o superiores a 25 kg/cm^2 y las normales alrededor de 25 kg/cm^2.
Determinación del grado de humedad	Según UNE 7094.
Residuo insoluble	Según UNE 7095.
Contenido en sulfatos y azufre total	Según UNE 7096 y 7097.
Contenido en óxido de magnesio	Según UNE 7095.
Pérdida por calcinación (anhídrido carbónico y agua)	Según UNE 7099.

	ÍNDICE HIDRÁULICO	% DE ARCILLA EN LA CALCÁREA	TIEMPO DE FRAGUADO EN EL AGUA	RESISTENCIA EN PROBETAS DE MORTERO 1:3
Cal grasa	---	0-5	---	4 Kp/cm^2
Cal levemente hidráulica	0,10-0,15	5-8	16-30 días	8 Kp/cm^2
Cal medianamente hidráulica	0,15-0,30	8-15	10-15 días	15 Kp/cm^2
Cal normalmente hidráulica	0,30-0,40	15-19	5-9 días	40 Kp/cm^2
Cal eminentemente hidráulica	0,40-0,50	19-22	2-4 días	80 Kp/cm^2
Cal límite cemento lento (Cemento de grappiers)	0,50-0,65	22-27	1-12 horas	150 Kp/cm^2
Cemento rápido	0,65-1,20	27-40	5-15 minutos	300 Kp/cm^2

ÍNDICES DE HIDRAULICIDAD EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA CAL AÉREA PRIMITIVA
(Fuente: «Aglomerantes y conglomerantes». Departament Construcció I).

CEMENTOS

CEMENTOS NATURALES

Los cementos naturales (grupo intermedio entre las cales hidráulicas y el cemento Pórtland) se obtienen por calcinación de margas naturales a una temperatura inferior a la de sinterización, por lo que no hay formación de fase líquida.

La marga natural es de composición arcillosa y calcárea con una proporción de carbonatos que permite la combinación del óxido de calcio, lo que a su vez vuelve innecesario el proceso de apagado.

Para obtener las propiedades exigidas se puede añadir hasta un 5 % de yeso natural deshidratado al proceso de la molienda.

Un tipo especial es el cemento Zumaya, aglomerante hidráulico con resistencia al agua de mar y de fraguado muy rápido, que se obtiene por calcinación de margas sin ningún tipo de adición. Suele utilizarse en obras marítimas.

Los cementos naturales se emplean en la fabricación de morteros de obra, de hormigones de baja resistencia (de clases bajas) y de piedras artificiales o bloques para paredes. En este último caso se requiere un adecuado tratamiento térmico de vapor. Al contrario, no pueden ser utilizados en elementos estructurales.

Clases de cementos naturales	Tiempo de fraguado
Lentos	Hasta 12 horas
Rápidos	30 minutos

CEMENTOS PÓRTLAND

El Pórtland artificial es un conglomerante principalmente hidráulico obtenido por cocción de la mezcla íntima de calcáreas y arcillas, en cuya composición básica se implican los óxidos CaO, SiO_2, Al_2O_3 y Fe_2O_3.

La calcinación alcanza una temperatura de sinterización de 1.450 ºC, por la cual una parte pasa a estado líquido; luego se procede a la molida fina del producto calcinado o clínker, con una adición de yeso del 3-5 % como regulador de la velocidad del fraguado.

El cemento Pórtland permite una mezcla compatible con la cal aérea o los cementos siderúrgicos. Al contrario, es incompatible con los cementos resistentes a sulfatos.

TIPOS		PROPORCIÓN EN % EN MASA[1]	
Denominación	Designación[2]	Clínker	Adiciones
Cementos Pórtland blancos	I-B	95-100	0-5
Cementos Pórtland blancos con adiciones	II-B	75-94	6-25
Cementos blancos para solados	V-B	40-70	30-60

Notas: 1) Los valores de la tabla se refieren al núcleo cemento, entendiéndose por tal el clínker y las adiciones, con exclusión del regulador de fraguado y los aditivos. 2) Los cementos que posean alguna de las características especiales como resistencia a los sulfatos y agua de mar, puzolanidad o bajo calor de hidratación, tendrán la designación complementaria correspondiente en cada caso.

TIPOS DE CEMENTO: COMPOSICIÓN

(Fuente: «Aglomerantes y conglomerantes». Departament Construcció I).

Se denomina clínker al producto que se obtiene al calcinar, hasta fusión parcial, mezclas muy íntimas preparadas artificialmente y dosificadas a conveniencia, a partir de materias calizas y arcillosas. Además, se podrían añadir otros materiales que faciliten la dosificación deseada sin aportar elementos extraños a la composición normal del cemento.

La calidad del clínker depende de los siguientes factores:

- **SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERAL.**
- **EL CUIDADO CON QUE SE PREPARA LA MEZCLA (HOMOGENEIZACIÓN DE LAS PRIMERAS MATERIAS O CRUDO).**
- **LAS CONDICIONES DEL COCIDO.**
- **LA LONGITUD DE LA FLAMA DEL QUEMADOR.**
- **EL RÉGIMEN DE ENFRIAMIENTO DEL CLÍNKER CUANDO SALE DEL HORNO.**

La composición mineralógica del clínker reúne:

- **ALITA O SILICATO TRICÁLCICO**: 40-60 %. Su mineral más importante, determina la resistencia a corto y medio plazo y la rapidez del fraguado.
- **BELITA O SILICATO BICÁLCICO**: 20-30 %. Segundo en importancia, determina la resistencia a medio y largo plazo. Es el último elemento en hidratarse y el que puede ser más afectado por un inadecuado enfriamiento del clínker o su meteorización.
- **CELITA O ALUMINATO TRICÁLCICO**: con poca resistencia mecánica, se hidrata fácilmente. Puede presentar problemas si encuentra sulfatos.
- **FERRO-ALUMINATO TETRACÁLCICO**: penúltimo en hidratarse.

Componentes minoritarios del clínker:

- **ÁLCALIS**: pueden traer problemas si se utilizan granulados con sílice activa (riesgo de fisuración del hormigón estructural).

- **ÓXIDO DE CALCIO LIBRE** (CaO): puede representar un riesgo a medio plazo para la durabilidad de la estructura debido a su gran expansividad.

- **ÓXIDO DE MAGNESIO** (MgO): en estado libre se hidrata muy lentamente y comporta un riesgo importante. Cuando la cantidad de MgO supera el 5 % en el clínker, el cemento puede traer problemas de durabilidad. Por otro lado, a causa de su reacción con el agua (que puede retrasarse hasta meses respecto al fraguado y endurecimiento) da lugar a un fuerte incremento del volumen que puede originar fisuraciones.

CEMENTOS ALUMINOSOS

Los cementos aluminosos son conglomerantes hidráulicos que se obtienen por fusión a más de 1.500 ºC de materiales aluminosos y calizos (bauxita –óxido de aluminio hidratado– y calcáreas), con un contenido total de Al_2O_3 de 32 % como mínimo.

RESISTENCIA	FRAGUADO		EXPANSIÓN
	Principio (minutos)	Final (horas)	Le Chatelier (máx.mm)
Muy alta	> 45	> 12	10
Alta, media, baja	> 60	> 12	10

ESPECIFICACIONES FÍSICAS PARA TODO TIPO DE CEMENTOS

(Fuente: «Aglomerantes y conglomerantes». Departament Construcció I).

Tras el periodo de fraguado se forma un importante remanente de hidróxido alumínico que puede saturar cualquier exceso de cal libre que se haya producido, por lo que en consecuencia ofrece una alta estabilidad química.

No obstante, en otros aspectos puede resultar problemático debido a una rápida pérdida de durabilidad por transformación alotrópica de los aluminatos cálcicos hidratados del sistema hexagonal al cúbico. Esto puede traer aparejado un incremento del volumen de vacíos o porosidad y puede favorecer la corrosión de las armaduras.

Las condiciones para esta transformación dependen tanto del hormigón (cuando el cemento se hidrata a menos de 30 ºC y la relación agua/cemento es superior a 0,35) como de factores externos (presencia de calor y humedad). Además, como la hidratación de estos cementos es exotérmica y puede alcanzar temperaturas de 130 ºC, es conveniente tomar las precauciones debidas.

Con respecto al fraguado, éste no comenzará antes de los 45 minutos y no debe acabar antes de las 12 horas.

Los cementos aluminosos se pueden emplear en piezas de poco grosor, en piezas estructurales que precisen entrar en servicio rápidamente, en hormigones y morteros refractarios, en entornos muy agresivos y cuando se ha de hormigonar a bajas temperaturas.

En cambio, no se utilizarán en temperaturas ambiente muy elevadas ni en lugares húmedos, en piezas de grueso considerable, mezclados con otros conglomerantes ni en la fabricación de viguetas u otros elementos pretensados.

ÁRIDOS

Los áridos son materiales inertes que pueden ser naturales o artificiales.

Los áridos naturales son aquellos provenientes de rocas naturales que, con independencia de su formación –en depósitos o canteras–, tras ser sometidos a un proceso de preparación se destinan a la elaboración de morteros y hormigones.

Se recomienda utilizar áridos que cumplan ciertas condiciones de forma y tamaño, que estén exentos de sustancias perjudiciales y sean resistentes y estables a efectos fisicomecánicos, ya que muchas veces el deterioro prematuro y los problemas que se presentan en morteros y hormigones, se deben al empleo de áridos inadecuados.

Su composición mineralógica es la misma que la de las rocas de procedencia.

En cierto modo, aunque muchas veces resulta insuficiente, el proceso geológico de formación de la roca permite conocer la calidad esperada del árido.

Como su identificación puede presentar dificultades, resulta conveniente completar el estudio con la observación de otras peculiaridades que pueden colaborar a la identificación de la roca, como las que se describen a continuación:

1. ROCAS TOTAL O PARCIALMENTE VÍTREAS:

- **ROCA DE CUARZO** (anhídrido silícico): duras con fractura concoidea y generalmente frágiles; brillo vítreo, de incoloras a blancas o color gris humo.

- **OBSIDIANA**: aparecen como un vidrio sólido con inclusiones esféricas; lustre vítreo amarillo y por lo general con color negro.

- **PÓMEZ** (escoria de vidrio volcánico): aspecto celular o formando espuma de vidrio.

2. ROCAS NO VÍTREAS PERO CON BRILLO MATE O PÉTREO, HOMOGÉNEAS Y CON GRANO MUY PEQUEÑO:

A. NO SE RAYAN CON LA UÑA, PERO SÍ CON UNA NAVAJA:

- **ARCILLAS LAMINARES** (sílico-aluminatos): homogéneas con estructura laminada, se rompen en lajas; lustre mate de olor arcilloso y poca efervescencia con los ácidos.

- **CALIZA** (carbonato cálcico): eventual olor arcilloso, efervescencia brusca con los ácidos.

- **DOLOMITA** (cemento calizo): eventual olor arcilloso, efervescencia brusca con los ácidos calientes o cuando está pulverizado.

- **SERPENTINA** (silicato magnésico hidratado): tacto jabonoso o grasiento, de color verde a negro y translúcida en los bordes delgados, no da efervescencia.

B. NO SE RAYAN CON NAVAJA Y NO DAN EFERVESCENCIA:

- **FELSITA**: color claro a gris, posible olor arcilloso y posible estructura estriada.
- **PEDERNAL**: fractura concoidea, muy dura y sin olor arcilloso, de color pálido a negro y lustre de cera o cuerno.
- **BASALTO** (feldespato, olivino, piroxeno): posible estructura vesicular y pequeñas cavidades llenas de minerales cristalinos, muy pesada y de color oscuro.

3. ROCAS TOTALMENTE GRANULARES:

A. SE RAYAN CON LA NAVAJA:

- **CALIZA O MÁRMOL** (gránulos y láminas de calcita): efervescencia brusca con los ácidos.
- **MÁRMOL DOLOMÍTICO**: efervescencia brusca con los ácidos calientes o cuando está pulverizado.

B. DURAS PERO NO SE RAYAN O LO HACEN CON DIFICULTAD, GRANOS DE IGUAL TAMAÑO:

- **GRANITO** (cuarzo, feldespato, mica): generalmente de color claro, algunas veces rosado.
- **SIENITA**: principalmente feldespato y poco cuarzo, de color blanco o claro a gris o rosa.
- **PERIDOTITA, PIROXENO, HORNABLENDA**: feldespato y un material oscuro ferromagnesiano.
- **ARENISCA**: cuarzo, cemento silíceo. Cuarcita: cuarzo, cemento silíceo cristalizado.

4. ROCAS ESFOLIADAS:

- **GNEIS**: grano medio a grueso y toscamente esfoliadas.
- **ESQUISTO**: grano más fino y esfoliadas.
- **PIZARRA**: grano muy fino que se separa fácilmente en lajas delgadas.

5. DE COMPOSICIÓN FRAGMENTADA:

- **CONGLOMERADO**: guijarros redondeados.
- **BRECHA**: fragmentos angulares.
- **TOBA VOLCÁNICA**: fragmentos de rocas volcánicas.
- **ARENISCA**: granos de cuarzo redondos o angulares, cementados juntos.
- **ARENISCA FELDESPÁTICA**: granos de cuarzo y feldespato cementados juntos con la apariencia del granito.

Los áridos se clasifican según el tamaño, la procedencia o su composición química. Con respecto al tamaño, las normas exigen que el máximo del granulado sea inferior a 1/4 de la mínima dimensión del elemento que se haya de realizar y, si es de hormigón armado, al 5/6 de la separación entre las barras de acero.

TIPOS		PROPORCIÓN EN MASA % (1)					
		COMPONENTES PRINCIPALES					COMPONENTES ADICIONALES
Denominación	Designación	Clínker	Escoria Siderurgia (S)	Puzolana Natural (Z)	Cenizas Volantes (C)	Fíller Calizo (F)	
Cementos Pórtland	I-0	100	0	0	0	0	0
	I	95 a 99	-	-	-	-	1 a 5
Cemento Pórtland compuesto	II	65 a 88	6 a 27	6 a 23		0 a 5	-
Cemento Pórtland con escoria	II-S	65 a 94	6 a 35	-	-	-	0 a 5
Cemento Pórtland con puzolana	II-Z	72 a 94	-	6 a 28	-	-	0 a 5
Cemento Pórtland con ceniza volante	II-C	72 a 94	-	-	6 a 28	-	0 a 5
Cemento Pórtland con filler calizo	II-F	80 a 94	-	-	-	6 a 15	0 a 5
Cementos de horno alto	III-1	40 a 64	36 a 60	-	-	-	0 a 5
	III-2	20 a 39	61 a 80	-	-	-	0 a 5
Cemento puzolánico	IV	/ 60	-	□ 40		-	0 a 5
Cemento mixto	V	20 a 64	36 a 80			-	0 a 5
Cemento aluminoso	VI	100	-	-		-	-

CLASIFICACIÓN POR DENOMINACIÓN Y TIPO DE LOS COMPONENTES DEL CEMENTO

(Fuente: «Aglomerantes y conglomerantes». Departament Construcció I).

Si bien en términos generales se conocen como arenas a los áridos de medida inferior a 5 mm y gravas a los de medida superior, Bonet y Ferrer ofrece la siguiente clasificación:

Granulados gruesos: tamaño superior a 80 mm	Gravas: (en mm) - Morro o matacán (320) - Grava gruesa (entre 320 y 160) - Grava mediana (entre 160 y 80)
Granulados medianos: entre 80 y 5 mm	Gravas: - Gravilla (entre 80 y 40) - «Almendrilla» (entre 40 y 20) - «Garbancillo» (entre 20 y 10) - «Piñoncillo» (entre 10 y 7) - «Arroncillo» (entre 7 y 5)
Granulados finos: tamaño inferior a 5 mm	Arenas: - Arena gruesa (entre 5 y 2,5) - Arena mediana (entre 2,5 y 1,25) - Arena fina (entre 1,25 y 0,63) - Arenisca (entre 0,63 y 0,32) - Polvo (entre 0,32 y 0,16) - Polvillo (entre 0,16 y 0,08)
Granulados extrafinos: tamaño inferior a 0,08 mm	Limo y fíllers (entre 0,08 y 0,04)

La forma de los elementos del árido cobra gran relevancia en las propiedades de los morteros y hormigones. A este respecto, resultan mejores las arenas y gravas cuya forma de grano, si son redondos, difiere menos de la esfera y, si son angulosos, de forma de cubos. Atendiendo a la relación entre la forma de los áridos y la elaboración de la piedra superficial, se ha establecido que:

- **SUPERFICIE LISA**: adherencia defectuosa.
- **CAPA ARCILLOSA O PULVERULENTA**: adherencia defectuosa.
- **FORMA IRREGULAR**: buena adherencia.
- **SUPERFICIES ÁSPERAS**: buena adherencia.

Como se ha mencionado al comienzo, los áridos pueden clasificarse, con respecto a su procedencia, en naturales y artificiales. Dentro de los primeros pueden establecerse varios grupos en atención a su obtención y preparación:

***ÁRIDOS DE MACHAQUEO**: provienen de la trituración de rocas (graníticas, cuarcitas y calizas duras, entre otras) mediante trituradoras giratorias, de mandíbulas, de impacto o de martillos. De forma angulosa y aristas vivas, sus ventajas y posibilidades dependen de las medidas que se adopten en su preparación, por lo que se aconseja reducir siempre al máximo el contenido en polvo.

***CANTOS RODADOS**: de origen sedimentario, suelen encontrarse en:

- **DEPÓSITOS FLUVIALES**: provenientes de la disgregación natural de ciertas rocas (graníticas, gres) y de forma redondeada y sueltos, tienen unas cualidades especiales para la elaboración de hormigones. De tamaño comprendido entre 0,25 y 5 mm, en aquellos casos en que se presente arcilla o materia orgánica es imprescindible su lavado.
- **DEPÓSITOS GEOLÓGICOS O DE BANCOS DE ALUVIÓN**: se caracterizan por un elevado porcentaje en partículas finas. Ricas en cuarzo, a menudo contienen arcillas y otras impurezas que deben eliminarse.
- **ÁRIDOS DE DUNAS**: constituidos por materiales muy finos acumulados por el viento.
- **ÁRIDOS DE MAR**: se pueden emplear en la construcción si están limpios, exentos de conchas y material nocivo, ya que si contienen sales minerales pueden originar eflorescencias posteriores en la superficie del hormigón.

- ***ÁRIDOS ARTIFICIALES**:* contienen más elementos finos que los granulados naturales y necesitan más agua de amasado. Las resistencias de los hormigones obtenidos con ellos, a igual relación agua/cemento, son mejores y proporcionan una adherencia mejor, pero peor trabajabilidad.

  Los áridos industriales son un subproducto que se obtiene como resultado de procesos industriales: escorias de altos hornos (a condición de que no sean expansivos), escorias de hulla, cenizas (aglomeradas y calcinadas), arcillas y esquistos expandidos por efecto térmico (perlita, vermiculita), virutas industriales y fibras industriales, entre otros.

- ***ESPECIALES**:* granulados de tipo pesado empleados en la elaboración de hormigones densos y especiales contra radiaciones atómicas (rayos gamma). Según su composición química serán silíceos, calcáreos, arcillosos, margosos, o puzolánicos.

PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS

HUMEDAD

Suelen considerarse dos tipos de humedades: la correspondiente al agua libre y la de adsorción. El agua libre representa una adición más al agua total de mezcla que, al influir directamente en la relación agua/cemento, debe tenerse en cuenta al elaborar morteros y hormigones.

El agua de adsorción de un arena hace referencia al agua retenida en los espacios internos o poros. Su determinación, previa saturación de la humedad total, permite conocer el agua libre existente en la dosificación de la mezcla y la calidad del árido.

Así, cuando la humedad total es baja –por ejemplo en los materiales apilados– y la de adsorción elevada, los áridos pueden sustraer una cantidad considerable de agua de mezcla y hacer que disminuya así su manejabilidad.

DENSIDAD APARENTE

Pese a que se puede establecer un cálculo sencillo entendiendo la densidad aparente como la relación que existe entre el peso de un volumen de árido y el peso del mismo volumen de agua, existen varios factores que pueden impedir la exactitud del mismo:

- **PROCEDIMIENTO DE LLENADO.**
- **FORMA EN QUE SE ENRASA.**
- **DIMENSIONES DE LOS ÁRIDOS.**
- **FORMA DE LOS RECIPIENTES.**
- **TAMAÑO DE RECIPIENTES Y ÁRIDOS.**
- **HUMEDAD DE LOS ÁRIDOS.**

La densidad aparente, siempre inferior al peso específico medio de los componentes, varía como sigue:

1,8 a 2,8	Calizas blandas a duras
2,4 a 2,9	Granitos
2 a 2,8	Pórfidos
2,8 a 3	Basaltos
2,6 a 2,8	Sílex

En construcción a menudo interesa conocer la densidad absoluta, además de la densidad aparente, expresada en kg/dm³ o g/cm³.

DENSIDAD REAL

Se trata de un índice útil y rápido para determinar la calidad de un árido: un valor bajo frecuentemente indica áridos blandos y adsorbentes y uno alto suele indicar buena calidad.

POROSIDAD

La porosidad puede ser absoluta (relación de volumen de huecos al volumen total de la piedra) y relativa (relación del volumen máximo de agua embebida en el volumen total). La más usual es la porosidad absoluta.

ADHERENCIA CON EL CEMENTO

La adherencia de la pasta de cemento al árido, si bien no es característica intrínseca del granulado, influye en la calidad de morteros y hormigones.

El estado de la superficie (rotura, rugosidad, presencia o ausencia de impurezas) es un factor a analizar ya que es debido a las condiciones en que se encuentre la cara de separación que se puede llegar a impedir el contacto o afinidad posible entre el árido y la pasta de cemento. En consecuencia, se vuelve fundamental que la superficie esté exenta de películas de geles, humus o polvos finos de arcilla.

Clasificación de las posibles adherencias cemento-árido en los hormigones hidráulicos:

- **CALIZAS BLANDAS**: embebidas por aplicación del mortero, se rompen en su masa antes de aplicar el cemento.
- **CALIZAS DURAS O SEMIDURAS**: de rotura granulada.
- **CALIZAS COMPACTAS.**
- **GRANITOS Y GRES BLANDA O SEMIDURA**: con adherencia del mismo orden que las calizas duras.
- **GRES DURA, CUARCITAS Y VIDRIOS**: con adherencia más débil e inferior a la de las calizas compactas.

La adherencia del cemento con los áridos tiene mayor incidencia en la resistencia a tracción y en la fragilidad del hormigón y menor si se trata de esfuerzos a compresión, ya que en este caso los esfuerzos tienden a aplicarse unos contra otros.

En la práctica muchas veces es necesario recurrir al cribado y posterior mezcla de arenas de varias procedencias. Al respecto, se ha extendido el empleo de mezclas de arenas de trituración con arenas silíceas y de éstas con calizas. Gracias a estas mezclas es posible obtener hormigones con una relación agua/cemento más baja y una mayor resistencia a la compresión.

El empleo de las arenas de playa, más habitual en la actualidad, implica no obstante tener ciertas precauciones, en especial en lo que hace a su condición monogranular y fina, a la presencia de sales solubles que pudieran afectar al fraguado y endurecimiento y a la coloración de la pasta de cemento.

La arena silícea, con granulometría gruesa a pesar de que incluya partículas suaves y redondeadas, puede resultar satisfactoria con relación a otra arena gruesa de partículas angulosas agudas y superficies ásperas.

En el caso de los áridos gruesos, en particular en la gravilla, un aumento de su contenido, por ejemplo a causa de una inadecuada interposición de las partículas, origina un aumento de vacíos entre las partículas del árido que, si no se corrige cambiando la mezcla, puede provocar la disminución en la docilidad del hormigón.

Como la causa está en una insuficiencia de mortero para llenar el espacio excesivo, se pueden emplear mayores cantidades de cemento y agua, lo que en realidad no es más que una solución transitoria.

CLASIFICACIÓN	LÍMITES DE DENSIDAD	CARGA DE ROTURA (kp/cm^2)
Muy blandas	< 1,470	< 50
Blandas	1,471 a 1,650	51 a 75
	1,651 a 1,840	76 a 120
Medio cerradas	1,841 a 2,000	121 a 180
	2,001 a 2,150	181 a 275
Cerradas	2,151 a 2,270	276 a 390
	2,271 a 2,355	391 a 520
Duras	2,356 a 2,440	521 a 660
	2,441 a 2,505	661 a 830
	2,506 a 2,580	831 a 1.080
Frías	2,581 a 2,640	1.081 a 1.290
	2,641 a 2,690	1.291 a 1.570
	2,691 a 2,730	1.571 a 1.820
	2,731	1.821

CLASIFICACIÓN DE LAS PIEDRAS CALIZAS (AFNOR)
(Fuente: «Cemento Pórtland blanco y sus aplicaciones»).

RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE

Aunque por lo general los áridos tienen una resistencia a la compresión superior a la que pueda producir la pasta de cemento, es importante conocer su valor, en especial para la fabricación de terrazos, y pavimentos blancos, por ejemplo.

Para determinar este tipo de resistencia se recurre a unos dados para luego, en una prensa, proceder a su rotura por compresión. La máquina Deval, que somete a la piedra a esfuerzos de frotamiento entre los áridos, además de favorecer una resistencia al desgaste permite al mismo tiempo conocer la resistencia a la compresión, debido a la relación directa existente entre ésta y el coeficiente Deval.

Asimismo, sirven como métodos de determinación de la resistencia al desgaste las máquinas Amedee Manheim y Los Ángeles, que si bien se diferencian por su diseño y la manera de obtener los resultados, ambas son sensibles a la forma de los áridos. Cuando se requiere una buena resistencia al desgaste las partículas de los áridos deben ser duras y tenaces, aquí se destacan el cuarzo, la cuarcita y las rocas densas volcánicas.

GRANULOMETRÍAS

Consiste en la distribución por tamaños de las partículas del granulado determinado por separación con tamaños normalizados. Este análisis de los áridos se realiza por medio de una serie de tamices de luces o mallas normalizadas.

El estudio de la composición granulométrica del granulado total consiste en definir los porcentajes óptimos de los diferentes áridos disponibles para conseguir un hormigón de excelente compacidad. Una vez conocida la curva granulométrica, resulta más sencillo determinar la mezcla más apropiada.

Si el granulado existente contiene un exceso de finos o fracciones gruesas, significa que no está bien graduado y que deben efectuarse correcciones granulométricas, ya sea por eliminación de los gruesos mediante tamizados, maquilando las fracciones más puras o mezclando finos y medianos, de manera que el módulo granulométrico se aproxime al ideal.

AUSENCIA DE IMPUREZAS

Como ya se ha mencionado, los áridos deben estar exentos de toda clase de impurezas. En líneas generales, se realiza una distinción entre aquellas de origen inorgánico y las de origen orgánico. Entre las primeras se encuentran:

- **PARTÍCULAS** sumamente finas de igual naturaleza que el árido: si bien suelen favorecer la manejabilidad y plasticidad, ocasionan el aumento de la relación agua/cemento.

- **ARCILLA**: implica un retraso en el fraguado y endurecimiento y la posible formación de una película que, al impedir el contacto perfecto entre la pasta de cemento y el árido, puede provocar una adherencia defectuosa.

- **SALES QUÍMICAS** (óxidos de hierro, carbonatos, piritas): aunque no son muy perjudiciales por ser insolubles en agua, si sus proporciones son demasiado altas se ha de evitar el uso de dichos áridos, especialmente si existen piritas que pueden oxidarse y provocar manchas y expansiones.

- **SALES QUÍMICAS SOLUBLES EN AGUA**:

  • **CLORUROS**: no deben emplearse en obras exteriores.

  • **SULFATOS**: afectan a los periodos de fraguado y endurecimiento; según el porcentaje presente pueden llegar a provocar –por formación de la sal de Candlot–, el posterior agrietamiento o hinchamiento de la masa.

Entre las impurezas orgánicas se destacan:

- **HUMUS VEGETAL**: su presencia puede implicar el retraso del fraguado y puede impedir el endurecimiento. Para su determinación (así como la de otras materias orgánicas de origen animal), se puede recurrir a un ensayo colorimétrico comparativo.

- **PARTÍCULAS CARBONOSAS**: con un porcentaje bajo no hay mayor inconveniente; no obstante, tener en cuenta que algunas trazas de lignito pueden ser muy perjudiciales.

- **FANGOS Y RESIDUOS INDUSTRIALES**: de consecuencias similares a las que ocasiona la presencia de arcilla.

Debido a que la identificación de la naturaleza del árido muchas veces resulta difícil de llevar a cabo, y dado que este análisis es de suma importancia para afrontar el problema de las impurezas, lo más conveniente es ejecutar un hormigón a escala reducida y observar su comportamiento.

DENOMINACIÓN		TAMIZ CON DIÁMETRO DEL AGUJERO (mm)
Fíllers		Inferior a 0,080
Arenas	Fina	0,1 0,2 0,4
	Media	0,80 1,60
	Gruesa	3,15 6,3
Gravillas	Pequeña	8 10
	Media	12,5 16
	Gruesa	20 25
Gravas	Pequeña	31,5 40
	Media	50 63
	Gruesa	80 100

CLASIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS SEGÚN SU TAMAÑO
(Fuente: «Cemento Portland blanco y sus aplicaciones»).

	RESISTENCIA MECÁNICA	DURABILIDAD	ESTABILIDAD QUÍMICA	CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	PESO VOLUMÉTRICO	% ABSORCIÓN	% PÉRDIDA DESGASTE	
							DEVAL	LOS ÁNGELES
Eruptivas								
Granito	B	B	B	B	2,65	0,3	4,3	38
Basalto	B	B	B	B	2,86	0,5	3,1	14
Peridotita	B	R	D	B	3,31	0,2	4,1	-
Sedimentarias								
Caliza	B	R	B	B	2,66	0,9	5,7	26
Dolomita	B	R	B	B	2,70	1,1	5,5	25
Arenisca	R	R	B	B	2,54	1,8	7	38
Pedernal	B	M	M	R	2,50	1,6	8,5	26
Arcilla laminar	M	M		B	1,80	-	-	-
Metamórficas								
Gneis	B	B	B	B	2,74	0,3	5,9	45
Cuarcita	B	B	B	B	2,69	0,3	3,3	28
Mármol	R	B	B	B	2,63	0,2	6,3	47
Serpentina	R	R	B	R	2,62	0,9	6,3	19
Pizarra	B	B	B	M	2,74	0,5	4,7	20

Referencias: B= Buena; R= Regular; M= Mala; D= Dudosa.

RESISTENCIAS DE LAS PIEDRAS AL DESGASTE

(Fuente: «Cemento Portland blanco y sus aplicaciones»).

AGUA

Por regla general se afirma que son pocas las aguas que siendo potables no son aptas para el amasado de morteros y hormigones. Sin embargo, las condiciones de potabilidad no siempre constituyen un índice representativo de su adecuación, ya que existen muchas aguas que, aunque insalubres, pueden aplicarse en el hormigonado.

Tanto el agua de amasado para pastas, morteros u hormigones, como la de curado, no deben contener sustancias en suspensión y disueltas que puedan alterar el fraguado. Las aguas muy puras como las de lluvia tienen un pH inferior a 7 –lo que las hace ácidas–, y las estancadas suelen contener materias orgánicas.

Pero dado que en ciertas circunstancias no se dispone de agua potable en las proximidades de la obra, se han prescrito algunas limitaciones para el agua de amasado de un hormigón:

Alcalinidad y acidez	
Alcalinidad	0,1 N de ClH máximo 10 c.c.
Acidez	0,1 N de NaOH máxima 2 c.c.
Contenido en sólidos (residuos)	
Orgánicos	0,02 % máximo
Inorgánicos	0,30 % máximo
Trióxido de azufre	0,04 % máximo
Cloruros	0,10 % máximo

(Fuente: Cemento Pórtland artificial blanco y sus aplicaciones).

La Instrucción Española para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado dice que cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán rechazarse todas las aguas que no cumplan una o más de las siguientes condiciones:

Exponente de hidrógeno Ph (UNE 7234)	> 5
Sustancias disueltas (UNE 7130)	< 15 g/l= 15.000 p.p.m.
Sulfatos expresados en iones SO_4 (UNE 7131), llevado del cemento PY, en que se eleva este límite a 5 g/l (p.p.m.)	< 1 g/l= 1.000 p.p.m.
Ion de cloro (UNE 7178) para hormigón en armaduras	< 6 g/l= 6.000 p.p.m.
Sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7235)	< 15 g/l= 15.000 p.p.m.
Hidratos de carbono (UNE 7132)	0

No obstante, podrá recurrirse al agua de mar o aguas salinas análogas para el amasado de hormigones corrientes que no necesiten armado. Salvo los cementos aluminosos, se ha comprobado que el resto se acomoda bien al agua salada.

En líneas generales, el amasado con agua de mar presenta tanto ventajas como inconvenientes:

- **ACELERACIÓN DEL FRAGUADO.**
- **AUMENTO DE LAS RESISTENCIAS INICIALES.**
- **AUMENTO DE LA RETRACCIÓN.**
- **LIGERO AUMENTO DEL HINCHAMIENTO EN EL CASO DE UN HORMIGÓN SUMERGIDO.**

ADICIONES Y ADITIVOS

ADICIONES

Se trata de aquellas sustancias o materiales considerados parte constituyente del aglomerante por su intervención en el proceso de hidratación e hidrólisis y su capacidad para modificarlo.

Según las normativas actuales para la recepción del cemento, las adiciones minerales empleadas en la fabricación de los cementos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **ADICIONES SEMEJANTES AL CEMENTO**: de endurecimiento propio muy lento que se puede acelerar por el hidróxido de calcio liberado en la hidrólisis de los componentes del cemento. Por ejemplo: escorias de hornos altos, básicas y granuladas, y cenizas volantes de centrales térmicas con una composición adecuada.
- **ADICIONES PUZOLÁNICAS**: sin endurecimiento propio, pueden endurecerse al mezclarse con cal o en presencia del hidróxido de calcio liberado por el cemento durante su hidratación.

  Por ejemplo: gredas finamente molidas (Trass), escorias ácidas, diatomitas y cenizas volantes.

- **ADICIONES PRÁCTICAMENTE INERTES**: componentes de los cementos compuestos, no intervienen activamente en la hidratación e hidrólisis del cemento.

  Por ejemplo: arenas silíceas sin componentes amorfos activos y molidas muy finas, y finos calcáreos.

Los productos de adición de los cementos pueden ser:

- ***PRODUCTOS SOLUBLES***
- ***PRODUCTOS INSOLUBLES***
- ***PRODUCTOS MÁS O MENOS SOLUBLES***

PRODUCTOS SOLUBLES: en agua de amasado, para modificar el estado físico del agua a fin de mejorar la manejabilidad del hormigón o para modificar la velocidad del fraguado y endurecimiento, caso en el cual los álcalis de los clínkers y el yeso pueden ser considerados como productos de adición.

También pueden ser ***PRODUCTOS INSOLUBLES*** –para aumentar la retención de agua (arcilla, sílice fósil, bentonita), para colorear el hormigón o impermeabilizarlo–; ***PRODUCTOS MÁS O MENOS SOLUBLES*** –para provocar un arrastre de aire (resinas, aceites, derivados sulforados)–, o bien una mezcla de diversos productos.

Los plásticos en emulsión como el cloruro o el acetato de polivinilo, pueden actuar como conglomerantes cuando el hormigón se mantiene en una atmósfera seca. Sin embargo en el medio húmedo no son, por lo general, compatibles con los cementos.

Por último, es importante recordar que los productos de adición tienen una marcada incidencia en los procesos de fisuración:

- **AUMENTANDO LA RETRACCIÓN HIDRÁULICA**:
  - **• POR INCREMENTO DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL LÍQUIDO INTERSTICIAL.**
  - **• POR AUMENTO DE LA FINURA DEL CONGLOMERANTE.**
  - **• POR AUMENTO DE LA PROPORCIÓN DE AGUA DE AMASADO**.
- **MODIFICANDO EL ENDURECIMIENTO**:
  - **• LOS ACELERADORES Y RETARDADORES** actúan principalmente sobre las resistencias iniciales.
  - **• LOS PRODUCTOS SOLUBLES** pueden, en algunos casos, aumentar las resistencias en todas las edades, si permiten una disminución de la relación agua/cemento óptima.

Los productos insolubles y los más o menos solubles tienden a disminuir las resistencias en todas las edades, de los hormigones de buena composición.

Es interesante recalcar que con frecuencia los productos de adición actúan en el mismo sentido que la adición de cementos, permitiendo el aumento de la impermeabilidad, de la retracción hidráulica y de la resistencia a la corrosión y a la congelación.

No obstante, en cuanto a las resistencias iniciales pueden tanto aumentarlas como disminuirlas y en general no incrementan el calor de hidratación, en especial a largo plazo.

En consecuencia, se recomienda comprobar sus efectos en las condiciones en que se van a utilizar dichos productos (composición del hormigón, tiempo de mezcla, temperatura, etc.), teniendo en cuenta que algunos pueden directamente perjudicar a los cementos, sobre todo en determinadas dosis, como es el caso del cloruro añadido al cemento aluminoso.

ADITIVOS

Se trata de los productos que, unidos en pequeñas cantidades al cemento, pueden llegar a modificar su estructura y propiedades técnicas una vez endurecido. La clasificación de los aditivos distingue entre:

A. ADITIVOS PLASTIFICANTES:

- **ADITIVOS DISPERSANTES O FLUIDIFICANTES**: compuestos de sustancias orgánicas simples que contienen diversos grupos polares, impiden la formación de floculaciones o reuniones en las mezclas de cemento durante la hidratación y ocasionan la fragmentación de los granos de cemento. Por ejemplo: trietanolamina y ácido lignosulfónico.

- **ADITIVOS AIREANTES**: en esencia sustancias orgánicas, facilitan la entrada de aire y ejercen la acción opuesta a la de los aditivos dispersantes. Su principal característica es su acción tensoactiva, que provoca la reducción de la tensión superficial del agua en los capilares y la formación de ampollas de aire microscópicas que se dispersan por debajo de la mezcla de cemento. Favorecen una mayor plasticidad, manejabilidad e impermeabilidad en los hormigones.

- **ADITIVOS MIXTOS**: permiten reducir la relación agua/cemento y, con la introducción de microampollas de aire, logran las mismas características que aportan los aditivos aireantes.

B. ADITIVOS QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO:

Acentúan la retracción y rebajan la resistencia mecánica del hormigón; se subdividen en:

- **ACELERANTES DE FRAGUADO**: sales de cloro (cloruros), nitratos y sulfatos de sodio, de potasio y de calcio, así como sus sales formadas con ácidos débiles: aluminatos, carbonatos, metaboratos, silicatos y fenosilicatos.

- **RETARDANTES DE FRAGUADO**: tetraboratos alcalinos, floruros, fosfatos y carboxilatos.

AGLOMERADOS Y CONGLOMERADOS

MORTEROS

Se entiende por mortero al material compuesto por cemento, agua y árido fino. Al igual que los hormigones, los morteros pertenecen al grupo de los aglomerados pétreos. Se obtienen por la mezcla de áridos naturales o artificiales de tamaño inferior a 7 mm con cemento Pórtland. Esta mezcla genera unas reacciones fisicoquímicas que favorecen su endurecimiento durante el amasado con agua.

Teniendo en cuenta su origen, es posible clasificar los morteros en tres grandes grupos:

- ***MORTEROS DE CAL GRASA Y ARENA SILÍCEA**:* empleados en la fabricación de ladrillos especiales silico-calcáreos. Procedimiento: moldeo en prensas especiales y fraguado en autoclaves a presión de vapor entre 8 y 12 atmósferas (Norma UNE 41061).

- ***MORTEROS DE CEMENTO**:* ofrecen resistencias iniciales altas. No obstante, para una buena plasticidad se necesita una dosificación alta de cemento. Una dosificación 1:3 otorga unos morteros plásticos, pero de retracción elevada por ser bastante más ricos en cemento. En cambio, una dosificación más pobre da morteros menos retráctiles, pero de poca manejabilidad o plasticidad.

Dentro de este grupo se encuentran los morteros hidráulicos no tradicionales, cuyo material base es un cemento no Pórtland o bien uno Pórtland, pero que además contiene aditivos destinados a potenciar ciertas propiedades: un tiempo de fraguado muy corto, altas resistencias mecánicas a corto plazo y una retracción compensada. Es posible agruparlos en cuatro familias en función de su constituyente base:

- **CEMENTO PÓRTLAND MODIFICADO CON AGENTES EXPANSIVOS.**
- **CEMENTO A BASE DE FOSFATO DE MAGNESIO O ALUMINIO.**
- **CEMENTO ALUMINOSO.**
- **CEMENTO DE ETRINGITA.**

Todos ellos también pueden contener fibras metálicas, de vidrio resistente a los álcalis o de polipropileno, a fin de elevar aún más la resistencia mecánica o minimizar la retracción.

- ***MORTEROS MIXTOS O MORTEROS DE CAL Y PÓRTLAND (CEMENTO, CAL, ARENA)**:* permiten reducir la dosificación de cemento aumentando la trabajabilidad –consecuencia de la dosificación de cal–, y sin perjudicar su resistencia. La arena debe estar seca (la humedad hace variar el volumen hasta 1,4 veces lo normal). Elaboración: 16 horas antes de su utilización preparar una mezcla 1:3 en volumen de cal viva y arena con el agua necesaria para su apagado, lo que da un volumen equivalente a 3 partes de arena seca. Posteriormente, se puede mezclar este mortero de cal con los otros componentes.

Para garantizar una correcta ejecución de la obra y el recubrimiento es fundamental que el mortero fresco sea fácilmente trabajable, lo cual comporta una consistencia adecuada (a determinar mediante el cono de Abrams), un peso específico aligerado y una buena capacidad de retención del agua. Uno de los inconvenientes de los morteros que se colocan manualmente es que pueden adolecer de una elevada porosidad traducida en bajas resistencias mecánicas y elevada permeabilidad. Suele convenir utilizar aditivos para bajar la relación agua/cemento y compactación adecuada. Estos materiales se pueden encontrar en el comercio predosificados, envasados y listos para usar.

CLASES DE MORTEROS

Dentro de este apartado se realiza una clasificación de los morteros según su función y situación en la obra. De esta manera se analizan las necesidades y propiedades específicas que los morteros para enlucidos y juntas, los morteros para terrazos y los morteros para reparación, deben reunir.

A. MORTEROS PARA ENLUCIDOS Y JUNTAS

El mortero ideal para enlucidos y juntas debe reunir las siguientes características:

- **BUENA DOCILIDAD Y GRAN PLASTICIDAD.**
- **QUE SE EXTIENDA CON FACILIDAD.**
- **BUENA RETENCIÓN DEL AGUA.**
- **QUE NO ENDUREZCA MUY PRONTO** en contacto con un ladrillo adsorbente.
- **QUE ALCANCE LO MÁS RÁPIDAMENTE POSIBLE** ciertas resistencias iniciales.
- **QUE SEA LO BASTANTE FUERTE** para ofrecer una buena resistencia a la helada.

Si el esfuerzo causado por la contracción sobrepasa la resistencia de la tensión del hormigón, es probable que se produzca el agrietamiento, que puede ser ocasionado por movimientos locales de las cimentaciones, por contracción del material o por esfuerzos inducidos por cambios de temperaturas. Este tipo de irregularidad puede tomar forma vertical –en morteros ricos– o en zigzag siguiendo las juntas –en morteros pobres–.

Las resistencias del mortero, a su vez, están en función de la calidad del cemento empleado y de la proporción de mezcla de los constituyentes. La resistencia de los muros suele aumentar con la proporción de cemento existente en el mortero, es decir, con la resistencia del mortero. Sin embargo, un aumento de resistencias del 40 % en el mortero sólo afecta en el muro en un 4 %.

Ante todo, es conveniente advertir acerca del cuidado que se ha de tener al trabajar con altas dosificaciones ya que, además de no afectar demasiado en las resistencias, pueden hacerlo, y sensiblemente, en otros aspectos como trabajabilidad, fraguados y retención de agua.

Teniendo en cuenta las cualidades descriptas, se concluye con algunas medidas básicas para lograr un correcto enlucido:

- **EMPLEAR LA DOSIFICACIÓN CORRECTA DE CEMENTOS Y ARENAS** en función de los objetivos perseguidos. Considerar que los morteros pobres en cemento no ofrecen la resistencia requerida, lo que puede predisponer la formación de polvo en su superficie y el sobredosificado a las fisuras y retracciones.
- **ENLUCIDOS CON SUPERFICIES MUY RUGOSAS**: no eliminan bien las precipitaciones y pueden permitir la formación de polvo.
- **ENLUCIDOS LISOS**: no se debe formar en su superficie una capa rica en agua y cemento: impide el endurecimiento del mortero y provoca fisuras de retracción.
- **SI LA CAPA SUPERFICIAL DEL ENLUCIDO** de interiores está hecha con yeso, también la capa anterior debe estarlo.

MATERIALES Morteros y pastas	CEMENTO kg	CAL	YESO kg	ARENA m^3	AGUA m^3	COMENTARIOS
Mortero de cal 1:2 (cal + arena)	-	0,400 m^3 cal en pasta 330 kg cal hidr. en polvo	-	0,800 0,960	0,140 0,290	Se emplea en estucos. Las arenas son productos de trituración de rocas o vidrio. La cal aérea se emplea en pastas o terrones, la hidráulica en polvo. En los morteros de cal la cantidad de agua es de aprox. el 19-22% del volumen del árido seco. La cal se recomienda apagar unos 30 días antes. En estos morteros se produce contracción de volumen.
Mortero de cal 1:3 (cal + arena)	-	0,300 m^3 cal en pasta 240 kg cal hidr. en polvo	-	0,900 1,00	0,150 0,280	Se emplea en la capa de acabado de los estucos. Arena-producto de trituración de rocas o vidrio. Cal aérea o hidráulica. Se emplea también para enfoscados. La arena de río se mezcla con arena de miga en la proporción de _ a _ del volumen de la del río.
Mortero de cal 1:4 (cal + arena)	-	0,270 m^3 cal en pasta 200 kg cal hidr. en polvo	-	1,05 1,10	0,100 0,270	Se emplea en la primera capa de los estucos. Arenas artificiales. En enfoscados. Arena de río con arena de miga. La cal se recomienda apagar unos 15 días antes.
Mortero de cal 1:6 (cal + arena)	-	0,200 m^3 cal en pasta 150 kg cal hidr. en polvo	-	1,20 1,10	0,100 0,240	Se emplea en enfoscados. No se puede confeccionar solamente con arena de río, se mezcla con arena de miga. La cal se recomienda apagar unos 15 días antes.
Mortero mixto 1:1:6 (cemento + cal + arena)	230	0,160 m^3 cal en pasta	-	0,980	0,170	Se emplea en enfoscados. Se puede confeccionar con arena de río, pero se recomienda añadir arena de miga. La cal se recomienda apagar unos 15 días antes.
Pasta de yeso negro	-	-	850	-	0,600	Una vez endurecido aumenta de volumen 1%. Empieza el fraguado a los 3-5' y termina a los 15-20'. Se emplea en guarnecidos. Si la masa se endurece antes de aplicarla no se debe añadir agua.
Mortero de yeso negro	-	-				Admite poca arena, hasta un tercio del volumen de la pasta.
Pasta de yeso blanco	-	-	810	-	0,650	La cantidad de agua es del 60-80 %. Se emplea para enlucidos. No se debe añadir agua a la pasta endurecida.
Cal en polvo	-	450 kg cal viva	-	-	0,150	Requiere aprox. la tercera parte de agua. Se emplea para morteros de cal o mixtos.
Cal en pasta	-	350 kg cal viva	-	-	0,700	Para revocos y estucos el apagado debe durar unos 30 días. La cal en pasta ofrece mejores cualidades. Para enfoscados la cal puede apagarse unos 15 días antes. La cal en pasta contiene la mitad de su peso en agua.
Lechada de cal	-	300 kg cal viva	-	-	0,800	La lechada de cal debe tamizarse. La luz del tamiz depende del destino de ésta. La lechada de cal se emplea en enjalbegado con una pequeña adición de alumbre.

MORTEROS Y PASTAS PARA REVESTIMIENTOS (PARA 1 m^3)

(Fuente: «Artes de la cal»).

B. MORTEROS PARA TERRAZOS

Los terrazos son prefabricados pétreos consolidados previa compactación y prensado de dos capas:

- **CAPA SUPERIOR** –cara vista o de uso–: compuesta por un mortero de arena fina y cemento Pórtland blanco, puede tener o no adiciones de pigmentos colorantes. En dicho mortero, que se suele someter a un pulido, se alojan las piedras marmóreas.

- **SUBCAPA** –o revés–: constituida por un simple mortero de cemento gris, sirve de agarre con el suelo o fachada que se pretende recubrir.

C. MORTEROS PARA REPARACIÓN

Los tipos de mortero de reparación que actualmente pueden encontrarse en el mercado pueden agruparse en tres familias: de base inorgánica, de base orgánica y de base mixta.

En muchas de las reparaciones de fábrica para hormigón, mampostería y ladrillo, es posible emplear un hormigón o mortero tradicional.

Sin embargo, es necesario considerar algunas precauciones, como asegurar una buena adherencia al hormigón antiguo, presentar la mínima retracción –cuidando la dosificación de los componentes– y resistir a los agentes agresivos que provocaron su deterioro.

MATERIALES DE BASE INORGÁNICA TRADICIONALES

Las clases de cemento utilizables, con base de cemento Pórtland, son todas las referidas en la RC-88 a partir del clínker. Los tipos más idóneos resultan ser aquellos cuya resistencia característica es 350 o 450 kp/cm^2 y que presentan finuras Blaine inferiores a 4.000 cm^2/g (para producir retracciones mínimas). Estos cementos pueden ser empleados en forma de:

- **LECHADA**: material compuesto de cemento y agua que se usa como puente de adherencia. Se la puede utilizar de dos tipos: ligera y densa. La lechada ligera se aplica en el relleno de fisuras de apertura inferior a un milímetro y su aplicación funciona por decantación de los granos de cemento. Su dosificación exige una cantidad similar de agua y cemento, siendo recomendable el uso de aditivos para reducir la exudación. La lechada densa, por su parte, se utiliza para el relleno de grietas de espesores superiores a 1 mm, con una relación agua/cemento del orden de 0,5. También en este caso se aconseja el empleo de aditivos. Su aplicación es por vertido o por bombeo.

  Asimismo, se puede usar de manera combinada con morteros aplicados por bombeo en rellenos de coqueras y grietas de espesor variable: primero se bombea la lechada densa, posteriormente desplazada por un mortero inyectado. Las zonas de menor apertura son ocupadas por la lechada mientras que el mortero rellena las zonas de mayor espesor.

- **MORTERO**: cuando se emplea como material de reparación conviene disminuir la relación agua/cemento por medio del empleo de aditivos. En el mercado están disponibles unos preparados que vienen predosificados y listos para usar.

- **MICROHORMIGÓN**: se entiende por tal al mortero en el que el árido pasa por un tamiz de 2,4 mm de luz de malla y que, para dosificaciones iguales o inferiores a 500 kg/m³ de contenido de cemento, es preciso limitar el módulo de finura a valores inferiores a 2,1 si se quiere bombear.

  Se menciona como un elemento diferenciado de los morteros debido a que se suele emplear para reparación con unas características resistentes muy superiores a las del mortero tradicional. En consecuencia, resulta ser el tipo de mortero más utilizado en trabajos de reparación.

- **HORMIGÓN**: debe controlarse la calidad y dosificación de sus componentes. Se debe recurrir al uso de aditivos siempre que se desee modificar el tiempo de fraguado o aumentar la cantidad de aire ocluido. Dentro de los hormigones se deben mencionar los inyectados, en los que el mortero o microhormigón se coloca por bombeo en los huecos de un árido precolocado en contacto por puntos. En estos casos el microhormigón debe presentar ciertas características particulares en cuanto a su fluidez, expansión antes del inicio del fraguado y mantenimiento de la homogeneidad durante la colocación por bombeo. El árido del microhormigón puede ser natural o de machaqueo y debe tener un tamaño máximo de 2,4 mm. Su módulo de finura no debe ser inferior a 1,40 y puede llegar a 3, si se requieren resistencias más elevadas. También el árido grueso precolocado puede ser natural o de machaqueo. El tamaño mínimo recomendado es de 35 mm y el máximo varía con el grosor de reparación y el volumen de la misma.

		RESISTENCIA (N/mm²)			
Resistencia	Designación	2 días	7 días	Mínimas a 28 días	Máximas a 28 días
Muy alta	55 A	30	-	-	-
	55	25	-	55	-
Alta	45 A	20	-	45	65
	45	-	30		
Media	35A	13.5	-	35	55
	35	-	20		
Baja	25	-	15	25	-

CATEGORÍAS DE LOS CEMENTOS TIPO I A IV

(Fuente: «Aglomerantes y conglomerantes». Departament Construcció I).

MATERIAS PRIMAS		PAPEL QUE DESEMPEÑAN
Conglomerantes hidráulicos	Cemento Pórtland blanco	Su función principal es conferir propiedades de resistencias mecánicas.
	Cemento Pórtland gris	
	Cal hidráulica	Contribuye a su plasticidad.
Áridos, cargas minerales	Arenas silíceas	Contribuyen a la compacidad, impermeabilidad y resistencias mecánicas.
	Arenas calizas	
Aditivos	Retenedores de agua	Impiden la desecación del mortero antes de tiempo y contribuye a desarrollar una buena adherencia sobre el soporte y a la composición reológica de la pasta del mortero.
	Hidrofugantes	Contribuyen a desarrollar la impermeabilidad de los monocapas.
	Aireantes	Mejoran la porosidad y consiguen pastas de mortero más tixotrópicas. Disminuyen el peso del mortero.
	Plastificantes	Evitan que se desarrollen morteros con disgregaciones y bajas resistencias, que se darían en los casos en que se obtuviera la plasticidad mediante la adición de agua.
	Resinas sintéticas	Permiten obtener mejoras en relación con la cohesión interna de los componentes. Mejoran la adherencia a los soportes y, en consecuencia, mejoran la impermeabilidad.
Cargas ligeras	Vermiculita	Aligeran la densidad del mortero monocapa, lo que permite rebajar el módulo de elasticidad del mortero y obtener morteros más deformables, cualidad esencial del funcionamiento en servicio del revestimiento.
	Perlita	
	Bolitas de poliestireno	
	Piedras Pómez	
	Arcilla expandida	
	Rocas volcánicas	
Fibras	Minerales	Mejoran las resistencias y modifican la estructura interna de composición del mortero. Colaboran a mejorar su consistencia y deformabilidad.
	Sintéticas	
Pigmentos		Dotan al mortero de la tonalidad deseada.
Agua		Esencial para la existencia del mortero monocapa, sin el agua sólo se conseguiría polvo de mortero monocapa.

COMPONENTES DE UN MORTERO MONOCAPA

(Tabla elaborada a partir del texto Tratado de Rehabilitación, «Revestimientos continuos: evolución de técnicas constructivas. Acabados actuales.»).

MATERIALES DE BASE INORGÁNICA NO TRADICIONALES

Son morteros que logran un aumento de volumen, después de fraguar, que compensa la retracción. Incluso se puede llegar a producir expansión del material, ejerciendo una fuerza de compresión sobre los hormigones, que afirmará su adhesión. El material base es un cemento Pórtland modificado con agentes expansivos o un cemento no Pórtland. Pueden también contener fibras para disminuir la retracción o aumentar las propiedades mecánicas. A continuación se detallan las tres técnicas de aplicación del material:

- ***APLICACIÓN MANUAL**:* se coloca el material en la zona a reparar de manera de evitar la entrada de aire que pueda ocasionar oquedades. El hormigón empleado en la reparación debe tener unas propiedades finales lo más parecidas al hormigón existente (resistencias mecánicas, módulos de elasticidad y coeficiente de fluencia) para evitar las fisuras debido a la retracción, especialmente en la zona de unión. Si en la aplicación del hormigón de reparación se utilizan encofrados estos deben estar bien unidos al hormigón y ser estables y rígidos para impedir la pérdida de lechada.

- ***HORMIGÓN PROYECTADO**:* este sistema proyecta capas muy compactas e impermeables, sobre todo cuando se utilizan hormigones o morteros con relaciones agua/cemento bajas. Se lo suele emplear en reparación de superficies dañadas, sustitución de hormigón y para refuerzo de elementos estructurales.

  Si se proyectan espesores mayores a 50 o 60 mm hay que incorporar una armadura mínima, que puede ser una tela de gallinero o un mallazo electro-soldado, evitando, en cualquier caso, que queden espacios sin rellenar por detrás de las barras. Posee un alto rendimiento en la puesta en obra.

El tratamiento previo de la superficie es muy importante. Se suele humedecer para luego proceder al chorreado de arena, sin necesidad de añadir ningún adhesivo para mejorar la adherencia.

Es necesario disponer de plataformas de trabajo apropiadas para los operarios, ya que la distancia de la boquilla de salida a la superficie que se esté proyectando oscila entre 0,6 y 1,8 metros.

POSIBLES MATERIALES DE REPARACIÓN	ESPESOR RECUBRIMIENTO (mm)						VERTIDO O INYECCIÓN	LIGANTES PARA ADHERIR
	Grandes Áreas				Pequeñas Áreas			
	60-100	25-60	12-25	6-12	12-25	6-12		
Lechada							*	*
Mortero tradicional			*	*	*	*	*	
Hormigón y microhormigón	*						*	
Hormigón proyectado		*						
Mortero modificado con expansivos				*	*	*	*	
Mortero fosfato de magnesio		*						
Mortero epoxi				*	*	*	*	*
Mortero poliuretano				*	*	*	*	*
Mortero poliéster						*		
Mixtos con polímero termoplástico			*	*	*	*		*
Mixtos con polímero termoestable			*	*	*	*		

SELECCIÓN DE MORTEROS DE REPARACIÓN SEGÚN ESPESORES Y ÁREAS

(Fuente: «Morteros de reparación»).

- ***HORMIGÓN INYECTADO****:* la técnica consiste en la inyección de microhormigón dentro de un encofrado lleno de grava. Se inyecta desde el punto mas bajo del encofrado para que, a medida que ingrese, rellene los espacios que quedan entre las gravas al ir ascendiendo.

La dosificación en peso del microhormigón empleado en la inyección suele ser dos partes de cemento Pórtland, una de cenizas volantes o puzolanas naturales finamente molidas y tres o cuatro partes de árido fino con un tamaño máximo de 2,4 mm y módulo de finura comprendido entre 1,7 y 3,0. También se suele utilizar un aditivo fluidificante que contenga una pequeña cantidad de polvo de aluminio. Esto permite lograr una expansión de la mezcla que ayude a rellenar mejor los espacios entre los granos del árido.

La grava escogida debe tener una granulometría que permita la ascensión del microhormigón. En general se utilizan tamaños superiores a 20 mm.

MATERIALES DE BASE ORGÁNICA (RESINAS SINTÉTICAS)

Los morteros basados en polímeros se clasifican en función de la naturaleza del ligante (sustancia con características aglomerantes). Desde el punto de vista de sus propiedades termomecánicas se pueden clasificar en termoplásticos y termoestables. Los primeros sólo tienen utilidad en reparación en forma de emulsión –látex– para formar los morteros mixtos hidráulicos poliméricos.

Los polímeros termoestables se presentan en forma de dos o tres componentes que se mezclan en el momento de su uso. Se produce una reacción química y con ello una reticulación tridimensional.

El polímero obtenido tras el endurecimiento no puede ser fundido ni diluido sin sufrir modificación química, sobre todo degradación. El ligante del polímero termoestable mezclado con árido forma el mortero u hormigón polimérico.

Los termoestables más utilizados se basan en resinas reactivas:

- **EPOXI**.
- **POLIURETANOS**.
- **POLIÉSTERES NO SATURADOS** (incluyen a las acrílicas reactivas).

Si la mezcla de los componentes no se hace con la debida precaución, o sus proporciones no son correctas, el polímero final puede tener características inferiores y una resistencia final indeseable. Por lo tanto, es conveniente mezclar bien y asegurar que estén íntimamente ligados.

La reacción de la polimerización comienza en el momento en que se mezclan los componentes y tiene un tiempo determinado que el aplicador dispone para la puesta en obra del material –tiempo de trabajabilidad– que puede ir de minutos a horas. Una forma práctica para determinar el final del mismo es prestar atención al aumento de temperatura y viscosidad, que a medida que crece hace más difícil su aplicación.

Morteros a base de resinas y polímeros	Termoestables	Epoxi Poliuretanos Poliésteres
Morteros mixtos	Ligantes hidráulicos con polímeros termoplásticos (látex)	Acrílicos Acrilamidas Estireno-butadieno (SBR) Acetato de polivinilo

MORTEROS DE REPARACIÓN A BASE DE POLÍMEROS

En el tiempo de trabajabilidad influyen los estos factores:

- **TIPO DE SISTEMA UTILIZADO** (epoxi, poliuretano o poliéster).
- **TEMPERATURA DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA**.
- **TEMPERATURA Y NATURALEZA DEL SUBSTRATO** donde se aplica el producto.
- **FORMA DE PUESTA EN OBRA.**
- **PROPORCIÓN DE LOS COMPONENTES EN LA MEZCLA.**

Si una vez mezclados los componentes se conserva el producto en el mismo envase, la temperatura de la masa aumenta, ya que el calor no se puede evacuar, y la reacción se acelera. En consecuencia, es conveniente verter el producto sobre el substrato sobre el que se va a trabajar. De esta forma el calor de la reacción puede ser absorbido por la superficie, volviendo más lenta la reacción y aumentando el tiempo de trabajabilidad.

No se recomienda la utilización de estos sistemas con temperaturas inferiores a los 5 ºC por varios factores: la velocidad de endurecimiento de las resinas –en especial de las epoxi– se retrasa considerablemente, y la viscosidad de la mezcla aumenta bastante, disminuyendo la penetración en la superficie donde se aplican y dificultando su adherencia.

RESINAS EPOXI

Las resinas epoxi tienen un gran poder adherente, elevadas características mecánicas y alta estabilidad frente a acciones físicas y químicas. No obstante, algunas de sus propiedades difieren sustancialmente de las del hormigón, como el módulo de elasticidad, el coeficiente de dilatación térmica o la fluencia.

Estas diferencias, que pueden mejorarse mediante el empleo de cargas, no impiden una buena unión. De hecho, las uniones realizadas con resinas epoxi, siempre que el soporte sea el adecuado y esté seco, son excelentes.

Para conseguir una buena adherencia entre el hormigón a reparar y el mortero epoxi es necesario, antes de su colocación, limpiar la superficie y aplicar una imprimación sobre la zona de hormigón dañada y sobre las armaduras. Esta imprimación también sirve de barrera anticorrosiva, en el caso de las armaduras, si estas quedarán al descubierto. La imprimación se suele aplicar con brocha, aunque también pueden utilizarse rodillos o pistolas, según su viscosidad.

FAMILIA	BASE CEMENTO		BASE ORGÁNICA	MIXTOS
CLASE	Tradicionales (Base cemento Pórtland)	No tradicionales	Ligantes base resinas y polímeros	Ligantes hidráulicos con polímeros termoplásticos
TIPO	- Lechada - Mortero - Microhormigón - Hormigón	- Cemento Pórtland + agentes expansivos - Cemento Pórtland de fosf. Mg o Al - Cemento aluminoso - Cemento de etringita	Termoestables: - Resina epoxi - Poliuretanos - Resina poliéster	Mezcla base cemento y mezcla orgánica: - Acrílicos - Acrilamidas - Estireno-butadieno - Acetato polivinilo - Alta resistencia a la compresión
PROPIEDADES	Los ya conocidos de estos materiales. Se debe cuidar: - adherencia - retracción - calidad	- Retracción compensada - Fraguado corto - Altas resistencias mecánicas a corto plazo	- Buena adherencia - Baja permeabilidad	- Alta resistencia a la flexión - Mejor permeabilidad - Mejor adherencia - No varía t. de trabajabilidad

TIPOS DE MORTEROS DE REPARACIÓN

(Fuente: «Morteros de reparación»).

El mortero epoxi se aplica sobre la imprimación cuando sigue pegajosa al tacto. Si por alguna causa la imprimación se secara, será necesario aplicar una segunda capa sobre la que se colocará el mortero.

Al conjunto de resina y endurecedor se lo denomina formulación. Todos los productos comerciales epoxi empleados para la reparación del hormigón están constituidos por la formulación y al menos algún otro componente o modificador de la formulación.

MORTERO DE POLIURETANO

Una vez endurecidos, los morteros de poliuretano pueden formar productos rígidos o flexibles. Forman barreras anti-carbonatación y tienen buena durabilidad. Por lo general se emplean en revestimientos protectores debido a su gran adhesividad con el hormigón. Su ventaja sobre las resinas epoxi consiste en que se pueden curar a bajas temperaturas.

MORTERO DE POLIÉSTER

Estas resinas pueden mezclarse con fíller calizo, silíceo, cemento Pórtland o con árido fino para formar morteros que poseen muy buena adherencia con el hormigón. La resistencia a los agentes químicos, su impermeabilidad y unas características mecánicas muy buenas, hacen que sean altamente recomendables para estas aplicaciones. Como inconveniente se ha de mencionar la retracción que producen al enfriarse, una vez colocados. Al desarrollar la mayor parte de su exotermicidad cuando han solidificado, la alta contracción térmica que experimentan puede hacer peligrar la adhesión con el hormigón.

MATERIALES DE BASE MIXTA

La asociación del cemento Pórtland con los polímeros permite obtener las siguientes propiedades:

- **MEJORA DE LAS RESISTENCIAS A TRACCIÓN Y A FLEXIÓN.**
- **ALTAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN.**
- **MEJORA DE LA ADHERENCIA CON LA SUPERFICIE A REPARAR.**
- **REDUCCIÓN DE LA PERMEABILIDAD.**
- **NO MODIFICACIÓN DEL TIEMPO DE TRABAJABILIDAD**.
- **NO MODIFICACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL NI DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA.**

CALIDAD DE LOS CEMENTOS

Como se mencionó en el apartado anterior, los cementos Pórtland son conglomerantes hidráulicos que se obtienen por pulverización del clínker y sin más adición que la de piedra de yeso natural.

No obstante, eventualmente puede darse la denominación comercial de cemento Pórtland a aquellos que, además de los componentes esenciales, contienen otras adiciones no nocivas en proporción inferior al 10 %, a fin de mejorar algunas de las cualidades de los morteros u hormigones con ellos fabricados. Entre ellos:

- **CEMENTOS PÓRTLAND RESISTENTES A LAS AGUAS SELENITOSAS**: con bajo contenido de aluminatos, tienen mejor resistencia frente a la acción agresiva del sulfato cálcico.
- **CEMENTOS PÓRTLAND SIDERÚRGICOS**: conglomerantes hidráulicos obtenidos por una mezcla íntima de 30 % de escoria granulada y sulfato cálcico y 70 % de clínker de cemento Pórtland.

	HORMIGONES, MORTEROS (LECHADAS) BASE CEMENTO	SISTEMAS BASE CEMENTO-POLÍMEROS	HORMIGONES MORTEROS RELLENOS (LECHADAS) BASE RESINAS EPOXI	HORMIGONES MORTEROS RELLENOS (LECHADAS) BASE POLIÉSTER
Resistencia a compresión, N/mm^2	20-70	10-60	55-110	55-110
Módulo elástico, KN/mm^2	20-30	1-30	0,5-20	2-10
Resistencia a flexión, N/mm^2	2-5	6-15	9-29	8-17
Resistencia a tracción, N/mm^2	1,5-3,5	2-8	9-29	8-17
Elongación a rotura, %	0	0-5	0-15	0-2
Coeficiente lineal de expansión térmica n/nº	7-22 x 10^{-6}	8-20 x 10^{-6}	25-30 x 10^{-6}	25-30 x 10^{-6}
Absorción de agua, 7 días a 25 ºC, %	5-15	0,1-0,5	0-1	0,2-0,5
Temperatura máxima de uso bajo carga ºC	Por encima de 300 ºC depende del diseño de la mezcla	100-300	40-80	50-80
Tiempo de desarrollo de las resistencias a 20 ºC	1-4 días	1-7 días	6-48 horas	2-6 horas

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE REPARACIÓN MÁS EMPLEADOS

(Fuente: «Morteros de reparación»).

- **CEMENTOS PÓRTLAND DE ALTO HORNO**: 30-70 % de clínker de cemento y el resto escoria granulada y sulfato cálcico. Pueden llegar a contener adiciones de sustancias no nocivas en proporción no superior al 1 % a fin de mejorar algunas cualidades de los conglomerantes o morteros y hormigones con ellos fabricados.

- **CEMENTOS SIDERÚRGICOS-CLÍNKER**: 70 % de escoria y el resto clínker y sulfato cálcico. Pueden llegar a contener adiciones de sustancias no nocivas en proporción no superior al 5 %.

- **CEMENTOS SIDERÚRGICOS SOBRE-SULFATADOS**: se obtienen por mezcla íntima de escoria granulada y sulfato cálcico, en proporción tal que el producto resultante contenga 5-12 % de trióxido de azufre (SO_3) y con una adición de cal, clínker de Pórtland o cemento Pórtland en cantidad total no superior al 5 %.

- **CEMENTOS PUZOLÁNICOS**: se obtienen por mezcla íntima de una puzolana y clínker de cemento Pórtland, con la adición eventual de yeso o anhidrita para regular su fraguado. Se denomina puzolana al producto natural de origen volcánico capaz de fijar cal a la temperatura ambiente y formar compuestos de propiedades hidráulicas. Por extensión, el término se aplica también a otros productos naturales o artificiales con análogas propiedades (cenizas volantes, tierra de diatomeas y arcillas activadas).

La calidad de los cementos influye en la elasticidad, solidez, retracción, estabilidad de volumen, color, porosidad y permeabilidad del mortero.

La elección de un cemento idóneo para ser destinado a morteros de enlucido debe necesariamente responder a la satisfacción de los siguientes requisitos:

- **PLASTICIDAD O MANEJABILIDAD**
- **ADHERENCIA**
- **RETENCIÓN DE AGUA**
- **RETRACCIONES**
- **RESISTENCIAS**

PLASTICIDAD

La plasticidad, cualidad fundamental en el mortero, depende de la calidad y cantidad de cemento, de la calidad de la arena, de su dosificación y mezcla y de la forma en que se realiza el amasado, recordando en todo momento que es el cemento –y no el exceso de arena fina y el agua– el que debe aportar la manejabilidad del mortero. Esta propiedad debe conservarse el tiempo suficiente para colocar el ladrillo en su posición y nivel y realizar debidamente el raseo de la pared.

El cemento más plástico es el que requiere más agua a constancia de un parámetro, por ejemplo, el diámetro de la torta empleada en la mesa de sacudidas.

ADHERENCIA

Por adherencia se entiende la capacidad del mortero fresco para absorber las tensiones normales o tangenciales a la superficie de contacto mortero–soporte. En muchas circunstancias puede tratarse de la principal cualidad exigida a un mortero, en particular porque de ella depende la resistencia de las paredes de la obra ante las solicitaciones de cargas excéntricas, transversales o de pandeo. Sin embargo, presenta causas distintas según se trate de un mortero fresco o de uno endurecido.

En el primer caso –mortero fresco– la adherencia responde a las propiedades reológicas de la pasta del aglomerante, ya sea cemento o cal. Su ensayo, pese a no estar normalizado por UNE, puede ser comprobado aplicando el mortero entre los dos elementos a unir y separándolos tras unos minutos. La huella que deja en ambas superficies definen si la adherencia será buena o deficiente.

En la segunda posibilidad –con mortero endurecido– la adherencia depende ante todo de la naturaleza del soporte, de su porosidad y rugosidad, de la granulometría del granulado y del grado de humedad del soporte en el momento de su aplicación.

Esta propiedad ha de tenerse muy presente al tratar de determinar la calidad de un enlucido. La capa puesta en contacto directo con el soporte puede llegar a sufrir una rápida desecación y perder de esta manera su plasticidad. En consecuencia, no penetraría en los intersticios necesarios para asegurar una buena adherencia. Por lo tanto, urge proteger el revoque de la acción de un soporte adsorbente.

Además, la dosificación de cemento, con independencia de las resistencias, viene a estar limitada precisamente por la adherencia del revestimiento, lo que viene a influir en las posibilidades de que el mortero tenga una buena trabajabilidad, plasticidad y poder de retención de agua. Esto exige una buena granulometría de la arena y una gran finura del conglomerante que, por otra parte, afecta a las resistencias cuanto más elevadas sean.

Aquí tiene lugar una situación especial, que tiene que ver con que las resistencias muy altas no son aconsejables, lo que vuelve casi imprescindible el tener que recurrir a las adiciones para que así desciendan las resistencias.

Sin embargo, la obtención de una buena adherencia y a la vez de una baja resistencia no es compatible con una débil retracción hidráulica. Los revestimientos que presentan las fisuras menos nocivas y visibles se consiguen con cementos muy finos y poco reactivos que, en contrapartida, son los que producen mayores retracciones hidráulicas (aproximadamente el doble) aunque la adherencia del mortero pueda ser diez veces mayor. La norma general regula para los cementos una resistencia máxima de 50 kp/cm^2 a los 28 días y considera excesivas las que superen este límite.

Por último, influye también el intervalo de tiempo que transcurre entre la puesta en obra de las diferentes capas. El cumplimiento de todos los requisitos mencionados permitirá que el mortero penetre mejor en todos los intersticios del soporte y quede bien adherido.

RETRACCIONES

A partir de los resultados arrojados por diversos ensayos y muestras, se estima que las adiciones realizadas al cemento, en líneas generales, implican el aumento en las retracciones excepto cuando se trabaja con la caliza.

RESISTENCIAS

Se suele creer que los morteros más resistentes son los mejores. No obstante, los ensayos de carga de muros y pilares demuestran que la resistencia del mortero ejerce menos influencia sobre la resistencia del muro de ladrillo que la que se le suele adjudicar. Esto se debe a que una excesiva resistencia del mortero tiende a concentrar los efectos de cualquier pequeño asiento –dando lugar a unas grietas relativamente grandes– mientras que un mortero más débil es capaz de amoldarse a los pequeños asientos.

Además, en este último caso, se ha comprobado que cualquier rotura producida tiende a aparecer en forma de grietas capilares en las juntas, donde son menos apreciables. En este punto el criterio unánime recomienda utilizar cementos con resistencias mínimas de 300-350 kp/cm^2, con arreglo al ensayo Rilem-Cembureau; por lo tanto, se estima que el porcentaje máximo a realizar sea un 30 %.

Es fundamental que las pastas contengan la cantidad estricta de agua para que lleve a efecto correctamente su hidratación. Para el cemento Pórtland, la cantidad de agua requerida para el amasado suele estar comprendida entre 24-30 %.

En la práctica por lo general se recurre a mezclas con arenas con curvas granulométricas convenientes (gruesas, medias, finas y fíllers). En la preparación de morteros para terrazos, el estudio queda centrado en mezclas con arenas finas e, incluso, arenas finas con fíllers mezclados con cemento.

ARENAS

Las arenas, pertenecientes al grupo de los áridos, tienen unas propiedades muy favorables para el mortero, motivo por el cual se suele recurrir a ellas a estos fines. Entre las principales cualidades hay que nombrar:

- **MENOR COSTE ECONÓMICO CON RESPECTO AL CEMENTO.**
- **RESISTENCIA AL DESGASTE.**
- **DISMINUCIÓN DE LA RETRACCIÓN DE LA PASTA PURA (MORTERO).**
- **MANEJABILIDAD DEL MORTERO.**

Por lo general en un mortero los granos de arena son más duros y resistentes que la pasta de cemento endurecido que rodea, debido a la selección a partir del origen de las arenas: rocas duras, compactas y resistentes. Sin embargo, se recomienda tener especial cuidado para evitar que el cemento empleado resulte insuficiente para envolver a todos los granos de arena.

HORMIGÓN

Como se ha podido comprobar en el capítulo anterior, tanto el hormigón en masa como el hormigón armado tienen una amplia difusión en las actuales técnicas constructivas. Por lo tanto, y una vez más en este apartado, se insistirá sobre las propiedades que el hormigón como material aglomerado debe reunir para garantizar una buena calidad.

El hormigón es un material compuesto por cemento, agua, árido fino y árido grueso. Su resistencia mecánica depende de su composición y ejecución (agregado, dimensión de la pieza, compacidad) y, en esencia, de la relación agua/cemento, en peso, empleada.

Asimismo, depende de las condiciones de conservación –temperatura y humedad– y de las resistencias intrínsecas del conglomerante –cementos y eventuales adiciones–.

La consistencia de un hormigón que no ha iniciado el periodo de fraguado (hormigón fresco), es la propiedad en virtud de la cual opone resistencia a la deformación y, por lo tanto, ofrece más o menos docilidad al momento de llenar adecuadamente un encofrado y no dejar espacios vacíos.

Esta propiedad se determina por medio del cono de Abrams en una pruebas reglamentadas por las normas UNE 7103 y UNE 7102.

En la primera de ellas se mide la pérdida de alzado del tronco del cono de hormigón cuando se ha retirado el cono que hace de molde. El cono se llena en tres capas de 1/3 del alzado cada vez y se las empuja 25 veces con una barra metálica de 16 mm ø y el extremo redondeado.

En la segunda, lo que se mide es el incremento de diámetro de la base inferior del tronco sometido a sacudidas según la norma.

ESPECIFICACIONES Y COMPROBACIONES

A continuación se detallan las especificaciones y comprobaciones básicas a observar al momento de solicitar un hormigón a una central y al recibirlo en la obra:

Medida máxima del árido	Inferior a 5/6 de la mínima separación entre armaduras
Tipo de cemento	En función de las condiciones del sitio de volcado del hormigón
Consistencia	Según características del encofrado y las armaduras
Resistencia mínima a 28 días	De acuerdo con las exigencias del cálculo

COMPACTACIÓN

La normativa vigente determina que los procesos de compactación, picado, apisonado y vibración de los hormigones en la obra se deben llevar a cabo por medio de procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas, de forma que se eliminen los vacíos sin que se produzca la segregación.

La compactación se debe mantener hasta suprimir las posibles cavidades, sobre todo en vértices y aristas, ya que el proceso resulta más dificultoso cuando se halla impedida la ordenación granulométrica del granulado, como ocurre en el fondo y costados de los encofrados.

La calidad de una mezcla aumenta con la compactación: a igualdad de compactación, una disminución de agua por debajo de la cantidad óptima de dosificación repercute en un descenso de resistencia y un aumento de la cantidad de agua por sobre dicho límite disminuye los vacíos y baja la calidad de la mezcla.

Existen diferentes sistemas de compactación:

- **COMPACTACIÓN POR PICADO**: se emplea en hormigones de consistencia blanda y fluida y en hormigones armados donde no puede penetrar el vibrador de aguja. Procedimiento: mediante una barra metálica, que se introduce en la mezcla de hormigón 30 veces por minuto para que atraviese la capa de cal a consolidar y penetre en la inferior.

- **COMPACTACIÓN POR APISONADO**: para elementos de poco grosor y gran superficie horizontal y hormigones de consistencia plástica y blanda. Procedimiento: con un pisón de diversas formas que tiene una barra y un pie, se actúa por tandas que suelen ser de 15 a 20 cm de grueso. Los pisones neumáticos obtienen mejores resultados.

- **COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN**: el más adecuado para hormigones de consistencia seca, se emplea para lograr hormigones de resistencia elevada o en estructuras de hormigón visto. Reduce el tiempo de desencofrado, economiza cemento y obtiene mejores resistencias ya que requiere menos agua de pastado.

Las máquinas que se utilizan para esta forma de compactación se denominan vibradores y pertenecen a tres grupos bien diferenciados:

Baja frecuencia: 1.500 a 2.000 ciclos por minuto	Sólo ponen en movimiento la fracción gruesa del granulado.
Media frecuencia: 3.000 a 6.000 ciclos por minuto	Ponen en movimiento la fracción media o granulado fino.
Alta frecuencia: 12.000 a 20.000 ciclos por minuto	Sólo afectan a la fracción de finos (pasta). Facilitan la colocación ordenada de las fracciones del granulado en posición de máxima densidad.

Hay tres tipos de vibradores:

Vibradores internos o de aguja	Cilindro metálico de 35 a 125 mm de diámetro, de frecuencias que pueden alcanzar los 12.000 ciclos. Se recomienda no utilizar vibradores internos con menos de 6.000 ciclos de frecuencia.
Vibradores de superficie	Bandeja a la que se sujeta un elemento vibrador que se va moviendo por toda la superficie que debe vibrar. Adecuado para grandes pavimentos de hormigón.
Vibradores externos	Sistema muy específico para talleres de prefabricación. Actúan sobre los encofrados, que deben ser totalmente estancos para impedir pérdidas de pasta o lechada.

CENTRIFUGADO

Es un sistema de compactación que requiere que los elementos hormigonados susceptibles de compactación puedan ser girados respecto de uno de sus ejes, lo que lo vuelve prácticamente exclusivo para formas de revolución: palos/estacas, balaustres, tubos, esferas.

Este sistema tiene la desventaja de segregar las fracciones del granulado ya que, a causa de la fuerza centrífuga, la fracción gruesa se proyecta con más fuerza sobre el encofrado que la fracción de finos. En consecuencia, en los elementos de hormigón la fracción de finos del granulado se acumula al interior de la pieza y los gruesos al exterior.

Este fenómeno, sin embargo, puede resultar ventajoso para las cañerías de conducción de fluidos, ya que la máxima compacidad corresponde a la superficie por donde pasa el líquido.

En la actualidad el centrifugado para tubos de hormigón destinados a las conducciones se realiza mediante sistemas abiertos de rodillos –que imprimen la rotación de la pieza– y por contacto, con velocidades entre 2 r/min. al comienzo y 20 r/min. en su mitad final.

Para concluir, se recuerda que este sistema por lo general va unido a unas condiciones de curado especial –autoclave– que permiten el desencofrado con bastante rapidez.

CURADO

El curado –una de las operaciones más importantes en la ejecución del hormigón– requiere ciertas precauciones, tanto en cuanto al sistema elegido como durante todo el proceso, desde que se prepara la mezcla hasta que acaba el periodo de fraguado y endurecimiento.

Al ejercer una importante influencia sobre las resistencias mecánicas finales y las características fisicomecánicas y de durabilidad, ocurre que un mismo sistema no siempre es válido para todos los hormigones. Por lo tanto, se ha de elegir un curado que se adecue al tipo de cemento empleado en la elaboración del hormigón.

Existe un sistema de curado específico para piezas de taller o prefabricadas conocido como ***CURADO A VAPOR***.

Como cualquier sistema de autoclave, éste parte de acelerar la maduración del hormigón mediante el vapor húmedo, de manera que las reacciones de hidratación que intervienen durante el fraguado y endurecimiento se completan mejor y con mayor rapidez, resultando en unas retracciones casi insignificantes.

Tanto la temperatura como la duración del curado al vapor dependen de las características del cemento. El criterio aceptado al respecto estipula una temperatura entre 20 y 80 °C durante 2 a 5 horas después de que la masa inicia el proceso de fraguado, con una humedad dentro de las cámaras de presión no inferior al 95-98 %.

Asimismo, cuando no se utilicen temperaturas superiores a 40 °C, el proceso se habrá de extender hasta que el hormigón alcance el 70 %, como mínimo, de su resistencia de proyecto.

RESISTENCIA AL GEL Y A LAS TEMPERATURAS ELEVADAS

El aumento de volumen producido por el paso del agua del estado líquido al sólido (gel) genera fuerzas considerables y provoca el aumento de la presión hidrostática del agua libre restante, que ejerce tensiones sobre las paredes de los capilares, más fuertes cuanto más pequeño sea su diámetro.

Cuando el esfuerzo supera la resistencia de la mezcla a la tracción, se produce la ruptura. La norma UNE 7062 regula el ensayo de resistencia al gel.

Con respecto a las temperaturas bajas, se debe recordar que el frío actúa sobre las reacciones químicas durante la hidratación del cemento, ocasiona importantes retrasos e incrementa el tiempo de fraguado. En consecuencia, se han de tomar las siguientes precauciones a la hora de elaborar el hormigón en tiempo frío:

- **ELEGIR EL CEMENTO DE MAYOR CALOR DE HIDRATACIÓN Y ENDURECIMIENTO MÁS VELOZ,** si las condiciones en la obra lo permiten.
- **INCORPORAR A LA MEZCLA DEL HORMIGÓN UN ADITIVO AIREANTE** que no ataque las armaduras ni supere el 5 % de la mezcla.
- **AUMENTAR LA DOSIFICACIÓN DE CEMENTO.**
- **DISMINUIR LA DOSIFICACIÓN DE AGUA** (consistencia seca).
- **CALENTAR EL AGUA**, si es factible también los granulados, a no más de 40 °C.
- **RECORDAR QUE ESTAS PRECAUCIONES** comportan un incremento de retracción.

Llegado el momento de introducirla en los encofrados, la temperatura de la pasta de hormigón no debe ser inferior a 5 ºC. Asimismo, las normas vigentes prohiben verter el hormigón sobre armaduras, encofrados y otros elementos con una temperatura igual o inferior a 0 °C.

En lo que respecta al momento ideal de desencofrado, se recuerda que no se han de contar aquellos días en que la temperatura no supera los 4 ºC.

La superficie hormigonada debe ser protegida correctamente del frío y la desecación posibles tras una exposición prolongada al viento y al sol; para lograrlo, se aconseja utilizar lonas, arpilleras y los sacos vacíos de cemento. Si pese a estos cuidados no se puede garantizar que el hormigón no fue perjudicado, se recurre al fraguado de las muestras necesarias para realizar los ensayos de información pertinentes (artículo 70 de la instrucción EH-82).

De todas maneras, es posible comprobar si el frío alcanzó a afectar a la mezcla hidratada con una simple observación microscópica.

Tras analizar las precauciones convenientes al elaborar un hormigonado en temperaturas bajas, haremos lo propio para el proceso llevado a cabo en condiciones opuestas, es decir, en tiempos calurosos. En estos casos se aconseja:

- **IMPEDIR QUE SE EVAPORE EL AGUA DE AMASADO Y DISMINUIR** lo más posible la temperatura de la mezcla de hormigón.

- **PROTEGER DEL SOLEAMIENTO** a todos los materiales con que se elabore el hormigón y los encofrados.

- **PROTEGER DEL CALOR EXCESIVO**, la humedad relativa baja y el viento, factores que aceleran la evaporación del agua y del hormigón fresco, resultando en la pérdida de resistencia y el aumento de la retracción con las consiguientes fisuras.

- **PROTEGER DEL SOL Y VIENTO** para que conserve su humedad, una vez vertido el hormigón en los encofrados. También es posible aportar humedad o incrementarla al regar las protecciones de superficie.

Finalmente, y con independencia de las precauciones señaladas, se recuerda que no se debe hormigonar con temperaturas superiores a 40 °C.

PERMEABILIDAD

La mezcla de hormigón se distingue por un alto contenido de poros que se comunican entre sí en mayor o menor proporción, de tal manera que se considera que un hormigón poroso es más permeable cuanto mayor sea la conexión en su red capilar.

La permeabilidad del hormigón es función de:

- **LA NATURALEZA Y DOSIFICACIÓN DEL CEMENTO.**
- **EL CONTENIDO DE AGUA.**
- **LA NATURALEZA Y TAMAÑO DE LOS GRANULADOS.**
- **EL SISTEMA DE COMPACTACIÓN.**
- **EL SISTEMA DE CURADO ESCOGIDO.**

La medida de la permeabilidad se puede realizar en laboratorio sobre una probeta cilíndrica sujetada a un recipiente metálico, en el que una de las caras de la misma recibe una presión de agua de valores constantes. Así, la cantidad de agua que aparece en la otra cara libre, o el tiempo demorado en atravesarla, determina el grado de permeabilidad.

DOSIFICACIÓN

Se entiende por dosificación el resultado del cálculo necesario por el cual las proporciones de los diferentes constituyentes de la mezcla permiten obtener un producto de excelente resistencia y compacidad.

La dosificación puede variar según se trate de pastas, morteros u hormigones. En el caso de las pastas y morteros, dicho cálculo tendrá más incidencia en la manejabilidad y trabajabilidad del producto resultante, por la importancia de una correcta aplicación. Además, si se trata de morteros, de la dosificación deben esperarse unos resultados confiables en lo que respecta a adherencia, trabajabilidad, plasticidad, consistencia, estabilidad de volumen y resistencia.

Acción de los componentes que intervienen en cualquier tipo de dosificación:

- **AGLOMERANTE**: rellenar los vacíos existentes entre los diferentes tamaños de los finos del granulado y cubrir la superficie en toda su fracción granulométrica con una delgada película.

- **ÁRIDO**: acción netamente mecánica; amortiguar las contracciones generadas por la evaporación normal del agua de amasado y las retracciones exo y endotérmicas –originadas en la mezcla durante el fraguado y endurecimiento– y facilitar la obtención de las resistencias mecánicas necesarias.

- **AGUA**: hidrolizar el conglomerante y servir de solución para las reacciones resultantes del proceso de fraguado.

La relación agua/cemento (coeficiente de dividir el volumen de agua de amasado entre la cantidad –en peso– de cemento interviniente en la dosificación) tiene una incidencia notable en cualquier tipo de dosificación. Por ejemplo, una relación alta, si bien mejora la trabajabilidad, da morteros y hormigones porosos y de resistencias bajas.

En lo que respecta a la dosificación del cemento, la instrucción vigente establece dos limitaciones que señalamos a continuación:

- **CANTIDAD MÍNIMA DE CEMENTO POR M^3 DE HORMIGÓN**: 150 kg en el caso de hormigones ligeramente armados; 250 kg si se trata de hormigones armados.

- **CANTIDAD MÁXIMA DE CEMENTO POR M^3 DE HORMIGÓN**: 400 kg (límite sólo superable previa justificación experimental y autorización del director de obra).

Esquema establecido para la dosificación de un hormigón estructural adecuado:

- **FIJAR LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN** en función de las necesidades del proyecto y determinar su resistencia media.

- **ELEGIR EL TIPO DE CEMENTO** según la clase de obra y las posibles condiciones agresivas del medio.

- **DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO** de acuerdo al tipo de cemento, la granulometría empleada, las dificultades para llenar bien el encofrado y la resistencia media exigida.

- **PRECISAR EL TAMAÑO MÁXIMO** del granulado en función de los elementos armados (considerar que el tamaño máximo no puede superar los 5/6 de la distancia libre entre las armaduras).

- **ANALIZAR LA CURVA GRANULOMÉTRICA** del granulado total a fin de que se ajuste a las necesidades del hormigón que se proyecta.

- **ESTUDIAR LA CONSISTENCIA ADECUADA** para el sistema de compactación elegido.

- **CALCULAR LAS CANTIDADES NECESARIAS** de cada componente para 1 m^3 de hormigón.

- **REALIZAR ENSAYOS SOBRE LA DOSIFICACIÓN CALCULADA** para verificar los valores y efectuar las correcciones correspondientes.

Para concluir, se estima oportuno añadir que las investigaciones y la práctica arrojan entre sus resultados la conveniencia de realizar las dosificaciones en relación al peso y no al volumen. Caso contrario, ciertos morteros pueden bien estar sobredosificados en arena, bien resultar pobres en relación a la dosificación establecida, todo lo cual contrarresta cualquier medida preventiva que se haya adoptado en relación a las granulometrías de las arenas.

RELACIÓN A/C	DOSIFICACIÓN DE CEMENTO (300 kp/cm^2)	
	RESISTENCIAS A 28 DÍAS (kp/cm^2)	
	Machaqueo	Cantos rodados
0,4	545	370
0,5	440	300
0,6	350	240
0,7	280	190
0,8	225	155
0,9	180	122
1,0	145	100

DIFERENTES RESISTENCIAS ENTRE LOS HORMIGONES OBTENIDOS CON ÁRIDOS DE MACHAQUEO Y ÁRIDOS DE CANTO RODADO

(Fuente: «Cemento Portland blanco y sus aplicaciones»).

CAUSAS DE ALTERACIÓN

En este apartado se plantea un acercamiento a diversos procesos –físicos, mecánicos y químicos–que tienen la capacidad de afectar de manera negativa a los aglomerantes a base de yeso, mortero y mortero de cemento. Se hace una mención especial al tema del color y sus posibles alteraciones y, por último, se analizan los efectos de la acción química del agua en sus distintas composiciones.

Básicamente, los aglomerantes reciben tres usos principales: para ***REVESTIMIENTOS*** (revoque, estuco, enfoscado), como ***AGARRE O UNIÓN*** y como ***JUNTA***. Su deterioro puede responder, en líneas generales, a las siguientes causas:

- **EXISTENCIA DE MATERIALES DEFECTUOSOS O DE MALA CALIDAD.**
- **SOMETIMIENTO A CARGAS SUPERIORES A LAS TOLERABLES POR EL MATERIAL.**
- **DETERIORO NATURAL POR LA ACCIÓN DEL TIEMPO Y DE LOS AGENTES ATMOSFÉRICOS; EFECTOS DE LA POLUCIÓN**.

En el primer caso habrá que pensar en sustituir los materiales con irregularidades por otros similares pero de calidad deseable. En el segundo caso, lo más lógico consiste en reducir tales cargas corrigiendo los defectos estructurales que provocan semejante situación.

Finalmente, si se trata de un proceso de degradación por envejecimiento natural, lo aconsejable es intentar frenar el proceso y, en todo caso, sustituir los morteros deteriorados por otros similares de buena calidad. Los elementos más afectados por este tipo de alteración son los enlucidos y rejuntados. En consecuencia, y por ser considerados elementos protectores de las fábricas, requieren renovaciones periódicas.

ALTERACIÓN DEL YESO

El principal motivo de alteración radica en la fuerte higroscopicidad –tendencia a la absorción de agua– del sulfato cálcico, propiedad que, además de la solubilidad del sulfato, conlleva un aumento considerable del volumen y la pérdida de cohesión interna del yeso.

Estos fenómenos no impiden el uso del yeso en fábricas y exteriores, aunque se han de tomar especiales precauciones.

En primer lugar, se deben utilizar yesos similares a los empleados en aquellos sitios donde este material ha sido el aglomerante tradicional en la construcción.

Por lo general, estas clases de yeso incluyen algunas impurezas, como arcillas impermeables, que pueden obstruir los poros y así aumentar su impermeabilidad frente a la lluvia y la humedad.

En segundo lugar, se debe descartar su empleo en condiciones de humedad persistente.

La acción del agua sobre el barro y el yeso puede resultar especialmente grave.

Puede producir la vuelta a la fase plástica del aglomerante y provocar la pérdida casi total de su consistencia y sus propiedades resistentes.

En consecuencia, la protección del yeso contra los efectos de la humedad es fundamental, ya que muchas veces no es suficiente con adicionar algún otro aglomerante o elemento (por ejemplo paja) que aumente la cohesión.

CEMENTOS	- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-88). (Real Decreto 1312/1988. BOE 28 de octubre de 1988). - Norma UNE 80 301/88: “Cementos. Definiciones, Clasificación y Especificaciones”. - Norma UNE 80 101/84: “Métodos de ensayo de cementos. Determinación de la resistencia mecánica”. - Norma UNE 80 102/87: “Métodos de ensayo de cementos. Ensayos físicos. Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen”. - Norma UNE 80 106/86: “Métodos de ensayos de cementos. Ensayos físicos. Determinación de la finura de molido por el permeabilímetro Blaine”.
CEMENTO ALUMINOSO	- RC-88, UNE 80 301 (España). - R 2511 (Japón). - Decreto 26-5-65 (Nº 595) (Italia). - NEN 3550 (Holanda). - BS 915 (Reino Unido). - GOST 965 (URSS).
CEMENTO EXPANSIVO	- ASTM C 845 (USA). - GOST 11052 (URSS).
ADITIVOS	- Norma UNE 83 200: “Clasificación y Definiciones”. - Norma UNE 83 258: “Determinación de la consistencia por medio de la mesa de sacudidas”. - Norma UNE 83 259: “Determinación del contenido de aire ocluido”. - Norma UNE 83 260: “Determinación del tiempo de fraguado en mortero”. - Norma UNE 83 281: “Reductores de agua (Fluidificantes)”. - Norma UNE 83 282: “Superplastificantes-Superfluidificantes o reductores de agua de alta actividad”. - Norma UNE 83 283: “Aceleradores de fraguado”. - Norma UNE 83 284: “Retardadores de fraguado”. - Norma UNE 83 286: “Inclusores de aire”. - Norma UNE 83 291: “Anticongelantes”. - Norma UNE 83 297: “Morteros proyectados”. - Norma UNE 83 298: “Morteros sin retracción”. - Norma UNE 83 299: “Líquidos de curado”.
HORMIGÓN INYECTADO EN ÁRIDOS PRECOLOCADOS	- C 937-80 (1985): “Standards Specification for Grout Fluidifier for Preplaced Aggregate Concrete”. - C 940-87: “Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplace Aggregate Concrete in the Laboratory”. - C 941-87: “Standard Test Method for Water Retentivity ef Grout Mixtures for Preplaced Aggregate Concrete in the Laboratory”.

NORMATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA AGLOMERANTES, ÁRIDOS, MORTEROS, HORMIGONES Y ADITIVOS

(Fuente: «Morteros de reparación»).

ÁRIDOS	- Norma UNE 7 050 85 (1R): “Cedazos y tamices de ensayo”.
MORTEROS CON POLÍMEROS	NORMAS JAPONESAS (JIS): - JIS A 1171: “Method of mailing test sample of polymer - Modifier mortars in the laboratory”. - JIS A 1172: “Method of test for strenght of polymer - Modified mortar”. - JIS A 1182: “Method of test for compressive strenght of polyester resin concrete”. - JIS A 1183: “Method of test for compressive strenght of polyester resin concrete using portions of beams proben in flexure”. - JIS A 1184: “Method of test for flexural strenght of polyester resin concrete”. - JIS A 1186: “Measuring methods for working life of polyester resin concrete”. NORMAS ASTM: - C 881-78 (1983): “Standard Specification for Epoxi Resin Base Bonding Systems for Concrete”. - C 882-78 (1983): “Standard Test Method for Bond Strength of Epoxi Resin Systems used with Concrete”. - C 884-78 (1983): “Standard Test Method for Thermal Compatibility between Concrete and an Epoxi Resin Overlay”. - D 2103: “Standard Specification for Polyethylene Film and Sheeting”. - C 939-80 (1985): “Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced Aggregate Concrete (Flow Cone Method). - C 1059-86: “Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh to Hardened Concrete”. NORMAS ACI: - ACI 548R-77 (1981): “Polymers in Concrete” (Abstract). - ACI 503R-80 (1984): “Use of Epoxi Compounds with Concrete”. - ACI 503.1-79: “Standard Specification for Bonding Hardened Concrete Steel, Wood, Brick and Other Materials to Hardened Concrete with Multi-Component Epoxi Adhesive”. - ACI 503.2-79: “Standard Specification for Bonding Plastic Concrete to Hardened Concrete with a Multi-Component Epoxy Adhesive”. - ACI 503.3-79: “Standard Specification for Producing a Skid Resistant Surface on Concrete by the use of a Multi-Component Epoxy System”. - ACI 503.4-79: “Standard Specification for Repairing Concrete with Epoxy Mortars”.

NORMATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA AGLOMERANTES, ÁRIDOS, MORTEROS, HORMIGONES Y ADITIVOS
(Fuente: «Morteros de reparación»).

HORMIGONES	- Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado (EH-88). (Real Decreto 824/1988. BOE 28 de julio de 1988). - Norma UNE 83 301: “Fabricación y conservación de probetas”. - Norma UNE 83 309: “Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión”. - Norma UNE 83 310: “Determinación de la permeabilidad”. - Norma UNE 83 311: “Determinación del tiempo de fraguado”. - Norma UNE 83 313: “Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams”. - Norma UNE 83 314: “Determinación de la consistencia. Método de Vebe”. - Norma UNE 83 315: “Determinación del contenido de aire en el hormigón fresco, por el método de presión”.
HORMIGONES CON FIBRAS	- Norma UNE 83 500-1: “Clasificación y Definiciones. Fibras de Acero para el refuerzo de Hormigones”. - Norma UNE 83 500-2: “Clasificación y Definiciones. Fibras de Polipropileno para el refuerzo de Hormigones”. - Norma UNE 83 503: “Medida de Docilidad por medio del cono invertido”. - Norma UNE 83 504: “Fabricación de probetas para los ensayos de laboratorio”. - Norma UNE 83 505: “Extracción y conservación de probetas testigo”. - Norma UNE 83 506: “Refrentado de probetas con mortero de azufre”. - Norma UNE 83 507: “Rotura por compresión”. - Norma UNE 83 508: “Determinación del Indice de tenacidad a compresión”. - Norma UNE 83 509: “Rotura a flexotracción”. - Norma UNE 83 510: “Determinación del Indice de tenacidad de resistencia a primera fisura”. - Norma UNE 83 511: “Determinación de la resistencia a cortante”. - Norma UNE 83 512-1: “Determinación del contenido de fibras de acero”. - Norma UNE 83 512-2: “Determinación del contenido de fibras de Polipropileno”.
HORMIGONES PROYECTADOS	- ACI 506.1R-84: “State of the Art Report on Fiber Reinforced Shotcrete”. - ACI 544.1R-82: “State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete”. - ACI 544.2R-82 (1983): “Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete”. - ACI 506-66 (1983): “Recommended Practice for Shotcreting”. - ACI 506.2-77 (1983): “Specification for Materials, Proportioning and Application of Shotcrete”. - ACI 506.3R-82: “Guide to certification of shotcrete nozzlemen”. - ACI 523.1R-67 (1982): “Guide for Cast in Place Low Density Concrete”. - ACI 523.2R-68 (1982): “Guide for Low Density Precast Concrete Floor, Roof, and Wall Units”.

NORMATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA AGLOMERANTES, ÁRIDOS, MORTEROS, HORMIGONES Y ADITIVOS
(Fuente: «Morteros de reparación»).

ALTERACIÓN DE LOS MORTEROS

Algunas causas de deterioro del mortero son asimilables a las que provocan la alteración de otros materiales pétreos. Así, puede haber causas de tipo mecánico y otras de carácter fisicoquímico.

Dentro del primer grupo, un motivo muy claro y posible de alteración tiene que ver con la capacidad resistente del mortero. Cuando esta capacidad es superada por una carga mayor, es muy probable que resulte en la rotura del mortero. Esto, sin embargo, no siempre implica la ruina de la fábrica ya que se pueden llegar a producir mecanismos de reasiento de los elementos primarios entre sí o mediante partes de mortero en buen estado.

En estos casos lo más pertinente es intentar reducir las cargas que produjeron la rotura. Restituir la capacidad mecánica suele ser difícil y costoso, pero se justifica en ciertas condiciones especiales, por ejemplo cuando dichos morteros constituyen la base de capas pictóricas. Puede ser factible entonces acudir a consolidantes que devuelvan su cohesión interna. Por otro lado, si la pérdida de resistencia amenaza con provocar la ruina general de la fábrica, se recomienda una sustitución parcial; bien eliminando el mortero disgregado con un rascado de juntas e intersticios, bien inyectando el nuevo mortero en grietas y fisuras para devolver así la cohesión a la fábrica.

Asimismo, la alteración puede ser generada en las tensiones que ocasionan los diferentes coeficientes de dilatación térmica de los distintos materiales, fenómeno que se manifiesta con unas microfisuras que, entre otros efectos, facilitan la entrada de agua.

Las causas de carácter fisicoquímico, por su parte, tienen que ver con la acción de elementos externos como el agua o procedentes de la polución. Aquí es importante hacer hincapié en el hecho de que cuanto mejor sea la calidad del mortero mayor será su resistencia a la entrada del agua, cuyos efectos, además, serán de menor gravedad.

Entre los efectos del agua cabe destacar:

- **DISOLUCIÓN DEL CARBONATO CÁLCICO**: suelen ser los menos graves.
- **ARRASTRAR SULFATOS** provenientes de la polución o de otros compuestos de fábrica.
- **PROPICIAR PROCESOS DE MIGRACIÓN SALINA** que resultan en la aparición de eflorescencias y la escamación de las superficies.

ALTERACIÓN DEL CEMENTO

El cemento, al igual que el resto de los aglomerantes sintéticos habituales (resinas) presenta un gran inconveniente: la diferencia existente entre sus propiedades fisicoquímicas y las de los aglomerantes tradicionales. El cemento adquiere una resistencia mucho mayor, a la par que cuenta con un módulo elástico claramente superior. Al ser más resistente y más rígido, puede llegar a acentuar el proceso de deterioro de los materiales antiguos, lo que en definitiva suele traer aparejado la rotura e incluso la disgregación entre el cemento y dichos materiales, con la consiguiente pérdida de cohesión de la fábrica.

Estos resultados indeseables también son provocados por la dilatación térmica del cemento, muy diferente a la de piedras o ladrillos. Se ha de recordar entonces que ante variaciones de temperatura considerables es probable que se generen tensiones causantes de fisuras, las cuales evidentemente aceleran la alteración y ruina de la fábrica.

TIPO DE EFLORESCENCIA	ION SOLUBLE	% QUE PRODUCE RIESGO DE EFLORESCENCIA
Carbonato cálcico	Ca^{++}	0,20
Sulfato cálcico	Ca^{++}	0,10
Sulfatos alcalinos	$Na^{+} + K^{+}$	0,05
Compuestos de magnesio	Mg^{+}	0,005
Sulfatos	$SO4^{-}$	0,15

RIESGO DE EFLORESCENCIAS DEL YESO

(Fuente: «Manual del yeso». Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas - UPM. Abril, 2001).

La densidad, al igual que la elevada conductividad térmica del mortero de cemento, pueden favorecer la formación de humedades de condensación. Asimismo, su escasa porosidad, y por lo tanto su impermeabilidad –incluso al vapor–, impiden una circulación normal y la evaporación del agua existente al interior de las fábricas, permitiendo la aparición de tensiones internas.

La conjugación de todos estos fenómenos puede provocar el desprendimiento de la capa superficial impermeable, más rígida y de diferente coeficiente de dilatación.

Por otro lado, también pueden traer consecuencias negativas ciertos factores que tienen que ver con la composición química del mortero de cemento, mucho menos estable que en los aglomerantes tradicionales.

El cemento por lo general contiene iones libres y sales solubles que pueden dirigirse hacia otras partes de la fábrica, ocasionando variados problemas (eflorescencias, deterioros por recristalización, etc.).

Asimismo, este material es sensible a la acción de los sulfatos disueltos en agua (lluvia ácida en ambientes muy polucionados), que provocan su disgregación. En el caso del hormigón armado, si el agua ácida logra penetrar hasta las armaduras inicia su corrosión y favorece un aumento de volumen, todo lo cual resulta en su disgregación.

Las causas de degradación del cemento endurecido se pueden resumir en tres grandes grupos:

- **DESCOMPOSICIÓN DE ALGUNO DE SUS CONSTITUYENTES** con disolución y arrastre del hidróxido de calcio.
- **FORMACIÓN DE SALES SOLUBLES** debido a la reacción entre el hidróxido de calcio y otros constituyentes con sustancias agresivas, y por presencia de óxidos de magnesio.
- **FORMACIÓN EN LOS POROS DE COMPUESTOS EXTERNOS** de mayor volumen que los productos iniciales de reacción; origina tensiones internas en el hormigón con posterior agrietamiento.

- Polvo o moho > Aplicar un blanqueador

– Blanca > Eflorescencias

– Oscura > Cepillar con agua oxigenada

- Mancha totalmente blanqueada > Sulfato
- Mancha reducida en parte > Analizar la pintura
- Mancha no afectada > Aplicar un blanqueador (mancha desaparecida: Mercurio-Sulfato-Humo-Polvo; mancha no desaparecida > laboratorio)

– Amarilla o marrón > Cepillar con ácido oxálico

- Mancha suprimida permanentemente > Hierro
- Mancha no suprimida> Aplicar un blanqueador

- Blancas o incoloras - Decoloración blanca

- Raspar con papel de lija > Decoloración desaparece
- Aplicar agua oxigenada o blanqueador en los alrededores

- Mirar desde distintos ángulos> Si el orden de la sucesión de manchas se invierte > Probablemente mancha de brillo (debido a la pintura)

- Mancha de aspecto graso > Lavar con éter

- Mancha reducida > grasa
- No hace efecto: acumulación de yeso crudo

- Otros tipos: espectro de juntas, decoloraciones, humedad.

IDENTIFICACIÓN DE MANCHAS EN REVESTIMIENTOS DE YESO Y SUS TERAPIAS

(Tabla elaborada a partir del texto Tratado de Rehabilitación, «Revestimientos continuos: evolución de técnicas constructivas. Acabados actuales»).

En primer lugar, la lixiviación o disolución del $Ca(OH)_2$, más intensa bajo la acción de aguas dulces, origina rezumados blancos o goteras en la superficie del hormigón y da paso a la descomposición de los hidrosilicatos e hidroaluminatos cálcicos. Este proceso de arrastre del $Ca(OH)_2$ se reduce debido a la carbonatación de la capa exterior del hormigón (por reacción del $Ca(OH)_2$ con el CO_2 del aire).

Con respecto a las agresiones por bicarbonatación, su desarrollo tiene lugar cuando el agua –con dióxido de carbono libre en forma de ácido carbónico débil– actúa sobre el cemento endurecido. El exceso de dióxido de carbono destruye la capa de carbonato cálcico del hormigón y forma bicarbonato cálcico fácilmente soluble.

EFLORESCENCIAS Y CRIPTOFLORESCENCIAS

Las sales que se forman en los morteros de cemento se introducen en las viejas fábricas, incluso después del endurecimiento del mortero, al entrar en contacto con el agua de lluvia. Pasan al interior por la red de poros y, al secarse, cristalizan causando daños serios por el importante aumento de volumen.

Las eflorescencias se presentan como películas en superficie, de color blanquecino, al evaporarse el agua que las contiene disueltas. Se les denomina criptoflorescencias cuando la formación es interna. En todo ello influye la humedad ambiental, que al oscilar produce movimientos ininterrumpidos en las eflorescencias.

Entre las sales patógenas más frecuentes se encuentran:

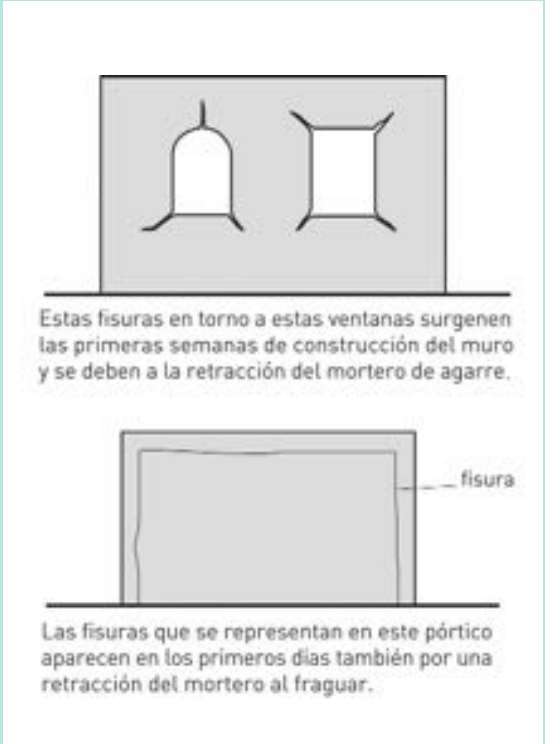
- **SULFATO CÁLCICO**: se trata de una sal poco soluble que con el cemento forma una sal muy expansiva; puede disgregar soportes pétreos o de ladrillo y revocos.
- **SULFATO DE MAGNESIO O SAL DE EPSOM.**
- **SULFATO DE SODIO O SAL DE GLAUBER:** muy soluble; cristaliza con facilidad y con gran aumento de volumen.
- **CLORURO DE SODIO**: se disuelve fácilmente.
- **NITRATO DE SODIO Y POTASIO.**
- **ÁLCALIS**: procedentes del terreno o de las piedras, ladrillos o cemento.
- **CARBONATO DE SODIO.**

Es conveniente que los morteros que se vayan a utilizar en tareas de restauración de monumentos sean analizados con anterioridad, a fin de conocer los elementos alcalinos de la mezcla y prevenir los daños que podría sufrir la fábrica original en contacto con el nuevo mortero, recordando que la cristalización de las sales es el más importante mecanismo de fractura de los morteros.

La resistencia inherente del mortero a las roturas debería probarse mediante ensayos de cristalización de sales aplicadas a sus fábricas.

Otros minerales con gran capacidad de agresión sobre el hormigón:

- **SALITRE DE AMONÍACO Y SULFATO DE AMONIO**: de los más perjudiciales. Compuesto principalmente por nitrato de amonio, el salitre de amoníaco se hidroliza con facilidad y provoca una reacción ácida con el hidróxido de calcio. En esta reacción el nitrato de calcio formado, muy soluble en agua, es arrastrado del hormigón.



Fisuras en obras de fábrica debido a la retracción del mortero. Es esencial mantener buenas proporciones en la mezcla del mortero y proteger el muro durante las primeras semanas.

- **SUPERFOSFATOS** constituidos por fosfato monocálcico y cierta cantidad de ácido fosfórico libre: muy agresivos.

- **CLORURO DE POTASIO**: aumenta la solubilidad del hidróxido de calcio y acelera los procesos de corrosión.

Otro tipo de agresión tiene lugar bajo la acción de soluciones de ácidos con pH inferior a 7 o bien de ácidos polisilíceos y fluosilíceos. En efecto, los ambientes contaminados de las zonas industriales pueden contener cloro o cloruro de hidrógeno, que al ser disuelto en el agua absorbida a las superficies del hormigón, forma sales solubles que aumentan su volumen.

Antes de adentrarnos en el desarrollo de cuestiones relevantes acerca de la acción química del agua, analizaremos la acción de los álcalis sobre el hormigón, planteando dos situaciones posibles de agresión:

- **AGRESIÓN POR ATAQUE EXTERIOR DE SOLUCIONES CONCENTRADAS DE ÁLCALIS**. Si el hormigón se satura de hidróxido sódico o potásico y luego se seca, como consecuencia de la acción del CO_2 en el aire, en los poros del hormigón se forma sosa y potasa que al cristalizar lo destruyen por expansión. Si además el cemento tiene un alto contenido de aluminato tricálcico, la agresión puede ser más seria.



Típicas eflorescencias en el cemento por exceso de agua de amasado.

- **AGRESIÓN POR INCOMPATIBILIDAD DE LOS ÁLCALIS EXISTENTES EN EL PROPIO HORMIGÓN**, tanto sea en los granulados o en el cemento. En el clínker de cemento Pórtland hay compuestos alcalinos, en mayor o menor proporción, y los granulados pueden contener sílice modificada. A temperatura normal, el ópalo de calcedonia y algunos vidrios volcánicos reaccionan con los álcalis del cemento y, como resultado de los sedimentos gelatinosos de color blanco que surgen en la superficie del granulado reactivo, producen hinchamientos y fisuras. Esta presión puede significar el colapso al cabo de 10 o 15 años de terminada la obra.

ALTERACIÓN DEL CEMENTO ALUMINOSO

El cemento aluminoso, al tener distintas propiedades y comportamiento que el cemento Pórtland, impide comparar sus respectivos hormigones a partir de, por ejemplo, las resistencias mecánicas.

Por su naturaleza, el cemento aluminoso presenta dos características diferenciales a ese respecto: la conversión de sus hidratos y la hidrólisis alcalina.

La conversión es espontánea pero transcurre con diferente velocidad, en función de ciertas circunstancias iniciales (por ejemplo una relación agua/cemento superior a 0,4, la presencia en los áridos de finos con álcalis y dosificaciones de cemento bajas –inferiores a 400 kg/m^3–) y condiciones externas (temperatura y humedad ambientales) que puedan afectar al hormigón de cemento aluminoso.

Las fuertes caídas de resistencia y los aumentos de porosidad que la conversión llegue a producir pueden aparecer en cualquier momento, en un plazo de semanas hasta años, pero siempre antes del final de la vida útil de servicio prevista para el elemento o estructura en cuestión.

La ejecución deficiente del hormigón de cemento aluminoso también es causa de conversión y de fallos, como lo es la falta de conocimiento acerca de este material y la manera correcta de empleo. Pero si se emplea adecuadamente no tiene por qué haber fallos. Lo importante es poder reconocer cuándo las dificultades para su utilización son demasiado serias, caso en el que se debe desistir de su empleo.

Ante todo, es preciso proceder a inspecciones visuales y a pruebas sencillas para localizar los elementos y estructuras realizados con hormigón de cemento aluminoso y poder determinar su situación actual y el grado de conversión que presentan. Con ello se trata de asegurar, si es posible, que al elemento le queda una resistencia residual suficiente. Para concluir, se incluyen algunas consideraciones referentes al uso del cemento aluminoso:

- **CALCULAR LOS HORMIGONES** con arreglo a la resistencia residual del cemento aluminoso.
- **DOSIFICAR LOS HORMIGONES** con no menos de 400 kg de cemento aluminoso por metro cúbico.
- **AMASAR CON UNA RELACIÓN AGUA-CEMENTO** inferior a 0,4, incluida la humedad del árido si corresponde.
- **AMASAR Y COLOCAR EN OBRA** con temperatura inferior a 25 ºC.
- **EMPLEAR ÁRIDOS EXENTOS** de materia orgánica y de finos consistentes en limos y arcillas (potencial aporte de álcalis).
- **AMASAR CON AGUA LIMPIA Y POTABLE**. No utilizar agua de mar.
- **UTILIZAR HERRAMIENTAS Y EQUIPOS LIMPIOS**, exentos de yeso, cal u otros cementos.
- **LOS ENCOFRADOS DEBEN SER ESTANCOS**; verificar que no pierden lechada por las juntas.
- **COMPACTAR AL MÁXIMO**, mediante vibración.
- **CURAR EN HÚMEDO DURANTE 24 O 48 HORAS**. Evitar la desecación superficial del hormigón y disipar el calor de fraguado con riego de agua.
- **PROCURAR QUE EL HORMIGÓN** no sea sometido a temperaturas y humedades elevadas.

ALTERACIÓN DEL HORMIGÓN

Este punto pretende ofrecer una sucinta exposición de los problemas que puede presentar el hormigón como conglomerante, ya que el tema ha sido ampliamente desarrollado en el capítulo anterior.

Por durabilidad del hormigón se entiende el tiempo durante el cual es capaz de mantener sus resistencias sin presentar señales de fisuración o deterioro. El hormigón endurecido contiene, además de los agregados, las sustancias originadas en la hidrólisis de los componentes del clínker. Entre ellas se encuentra el $Ca(OH)_2$ o portlandita, en cantidades importantes.

Este hidróxido de cal es un compuesto químico altamente reaccionable, lo que significa que puede ser atacado en mayor o menor grado por los compuestos de reacción ácida. Su proceso de carbonatación es lento.

También los hidrosilicatos e hidroaluminatos, formados en la hidrólisis de los compuestos del cemento, son susceptibles de ataque. Sin embargo, dada su naturaleza salina de ácidos débiles, lo son en menor medida. Y los áridos, según su constitución química, pueden a su vez contener componentes atacables o transformables.

La composición química del cemento Pórtland es:

óxido de calcio (CaO), 65 %
dióxido de silicio (SiO_2), 20 %
trióxido de aluminio (Al_2O_3), 5 %
óxido férrico (Fe_2O_3), 5 %
óxido de magnesio (MgO), menor del 5 %

La composición química del cemento aluminoso:

óxido de aluminio (Al_20_3), 50 %
óxido de calcio (CaO), 40 %
óxido férrico (Fe_2O_3), 5 %
dióxido de silicio (SiO_2), 5 %

COMPOSICIONES QUÍMICAS

CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO		MEDIDAS DE PROTECCIÓN	
SO^3 en el agua subterránea	SO^3 en la arcilla	Elementos prefabricados de hormigón	Para los hormigones preparados in situ Hormigón recubierto por el terreno, rodeado de arcilla
Menos de 300 mg/l	Menos del 0,2 %	No son precisas medidas de protección especiales	No son precisas medidas de protección especiales, salvo el evitar el empleo de hormigones flojos (1:7 o menos), si el agua subterránea contiene unos 200 mg/l de SO^3. En estos casos, no deben emplearse mezclas de menor riqueza que la 1:2:4. Si se desea ser previsor, debe emplearse cemento sulforresistente, con dosificación superior a la 1:2:4.
300-1000 mg/l	0,2 a 0,5 %	Los hormigones ricos de cemento Pórtland, por ejemplo 1:1:3, no sufrirán probablemente daños serios durante unos años. Deben emplearse cementos Pórtland puzolánicos sulforresistentes, cementos sobresulfatados o aluminoso.	Los hormigones ricos de cemento Pórtland (1:1:3) no sufren daños en los primeros años si el hormigón es compacto y homogéneo. En la mayor parte de las obras, en las que aparecen principalmente sales de magnesio y de sulfato sódico, es recomendable el empleo de hormigón 1:2:4 de cemento puzolánico, cemento Pórtland sulforresistente, cemento sobresulfatado o cemento aluminoso.
Más de 1000 mg/l	Más de 0,5 %	Los hormigones muy compactos de cemento Pórtland no es probable que sufran daños importantes hasta pasados 10 a 20 años, excepto si concurren circunstancias muy desfavorables. Debe emplearse cemento sobresulfatado, sulforresistente o cemento aluminoso.	Se recomienda emplear cemento aluminoso, o cemento sobresulfatado.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN AL ATAQUE QUÍMICO SEGÚN LAS CONDICIONES DEL TERRENO

(Fuente: «El cemento Pórtland y otros aglomerantes»).

Todo lo dicho implica que, en realidad, el hormigón está constituido por un conjunto de sustancias que no suelen ser estables. En consecuencia, si se pretende lograr un hormigón lo suficientemente durable, hay que evitar o al menos reducir la extensión de estas reacciones de transformación química o alotrópica para que no se originen los cambios de volumen en el hormigón endurecido.

A continuación se señalan los principales factores que favorecen la disminución de la durabilidad del hormigón:

FACTORES INTERNOS

CEMENTO

CONTENIDO DE* CaO *LIBRE: un clínker en proporción mayor a 2 o 2,5 %, debido a la combinación incompleta de sus óxidos, puede dar lugar a ensayos expansivos ya que el CaO libre se hidrata tras el tiempo final de fraguado y ocasiona un aumento de volumen. Luego de algunos días o incluso semanas aparecen fisuras de tipo centrífugo. Esta posibilidad puede ser determinada con anterioridad gracias al ensayo de autoclave para los cementos o al ensayo de las agujas de Le Chatelier.

***CONTENIDO DE* MgO**: la hidratación del MgO después del fraguado produce expansión y rotura del hormigón. El efecto es más retardado que en el caso anterior (algunos meses). El contenido máximo de MgO en un clínker se establece en un 5 %.

***CONTENIDO DE* C_3A *Y* C_4AF**: la reacción de los iones $SO_4^=$ sobre las fases hidratadas del C_3A puede adquirir tal intensidad que la masa cementante puede llegar a pulverizarse completamente. La forma de impedir que estos iones penetren en el hormigón depende, por un lado, de las condiciones del propio hormigón. La compacidad es la principal propiedad a considerar frente a la agresión. En segundo lugar, depende de los procedimientos por impermeabilización y otros diseños constructivos como drenajes y desvíos, que impiden que las aguas con sustancias nocivas entren en contacto y accedan por capilaridad en el hormigón.

ÁRIDOS

Los áridos que constituyen el hormigón deben contener sólo sustancias estables. Las principales causas que residen en los áridos y pueden reducir la durabilidad se pueden clasificar en:

- ***ROCAS ÍGNEAS***: dan lugar a una estructura granular y se pueden obtener áridos densos de buena calidad, con una dureza y tenacidad adecuadas, si es que no fueron afectados por las acciones de la meteorización (disminuye la cohesión).

- ***ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS***: dentro de las primeras, las calizas son las que dan las mejores calidades de áridos. Las restantes pueden contener aglomerados arcillosos, silíceos, pizarras o materiales blandos, por lo cual deben ser analizadas con cuidado antes de su utilización. Por su parte, las rocas metamórficas proceden de las sedimentarias por transformación térmica y ofrecen una gran variedad de calidades.

- ***PRESENCIA DE SULFUROS O DE YESO***: la formación de sulfoaluminatos conlleva la destrucción del hormigón.

ADITIVOS

Los aditivos al hormigón son sustancias que modifican, sobre todo, las propiedades reológicas, el contenido en aire ocluido, el tamaño de los poros, los tiempos de fraguado y endurecimiento, la resistencia a fenómenos como la helada y el carácter hidrófugo.

Si bien la elección de los aditivos responde a la necesidad de mejorar las cualidades del hormigón, pueden aportar sustancias extrañas capaces de reducir la durabilidad y de causar efectos indeseados y contrarios al fin buscado. Los aditivos más conocidos son:

- ***PLASTIFICANTES***: son sustancias orgánicas reductoras del contenido de agua, cuyo efecto es más intenso cuanto más larga es la cadena carbonada. Su empleo (0,2 % en peso sobre el cemento) permite lograr un hormigón más compacto y por tanto impenetrable; también se puede utilizar para aumentar la docilidad. Algunos posibles destinos: hormigón con armaduras densas, en prefabricados, en centrales de hormigón cuba y en encofrados deslizantes.

- ***REDUCTORES DE AGUA**:* su acción es sobre todo física y complementan así la fracción fina de la granulometría de los cementos y cierran los poros capilares. En consecuencia provocan la reducción de la penetrabilidad, la disminución de la exudación y de la sedimentación. Indicados en la técnica del hormigón por bombeo y por inyección en hormigones pobres, es conveniente conocer a priori su composición y comportamiento.

- ***INCLUSORES DE AIRE**:* reducen el tamaño de las burbujas de aire ocluido en el hormigón entre las 10 y 300 m y provocan su distribución homogénea en la masa. De acción análoga a la de los aditivos plastificantes, aumentan la trabajabilidad del hormigón, disminuyen la retracción que precede al fraguado y mejoran la resistencia a las heladas.

- ***INHIBIDORES DE CORROSIÓN**:* la acción más agresiva para las armaduras es la del ion cloruro; en estos casos puede convenir el uso de recubrimientos con resinas epoxi. La mejor protección, en definitiva, suele darla un hormigón compacto e impenetrable, exento o con apenas un mínimo contenido en cloruros, sulfatos y electrolitos en general.

- ***ADITIVOS MODIFICADORES DEL FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO**:* pueden acelerar o retrasar los tiempos de fraguado. El empleo de los acelerantes está normalizado ya que puede producir daños importantes. En líneas generales, los acelerantes tienden a dar una disminución de resistencias a largo plazo y los retardadores a un incremento (diferencias proporcionales a su porcentaje con relación al peso del cemento).

FACTORES EXTERNOS

Cuando el hormigón se endurece, tras el periodo de curado, queda expuesto a la acción de iones y sustancias agresivas que pueden proceder de la atmósfera, del terreno, o incluso pueden ser segregadas por materiales adjuntos. La presencia de agua disuelve las sustancias que encuentra antes de entrar en el hormigón y aporta los iones atacantes.

La penetración a través de los capilares en un hormigón compacto es relativamente lenta. Sin embargo, si su porosidad es elevada –muchas veces debido a una relación agua/cemento alta o a problemas en la dosificación o vibrado– la penetración puede ser mucho más rápida, lo que compromete aún más su durabilidad. Asimismo, la presencia de fisuras –por defectos en el curado, por evaporación muy rápida del agua durante el proceso de endurecimiento, por falta de protección o por exceso de finos o de retención de agua– acelera el inicio de las agresiones químicas.

***ACCIÓN DE LOS IONES**:* en principio, todo ion que entra en contacto con el hormigón ocasiona reacciones químicas, mucho más intensas cuando la solución atacante se renueva constantemente; por lo tanto, cobra especial relevancia la permeabilidad del terreno frente a la agresión. Los iones más agresivos son:

- H^+	- Mg^{++}
- Cl^-	- CO_3H^-
- Na^+	- NH_4^+
- K^+	- SO_4

Los últimos cuatro iones nombrados son los más frecuentes. Los límites de la agresividad en función de la concentración varían según las normas de cada país.

DEFECTOS QUE SE OBSERVAN EN LAS PIEZAS O EN EL TRANSCURSO DE LA FABRICACIÓN	MOTIVOS MÁS PROBABLES QUE HAN PODIDO CONTRIBUIR EN LA APARICIÓN DE LOS DEFECTOS	
	MATERIALES Y PROCESO	ELEMENTOS MECÁNICOS
Distribución irregular del granito en la cara vista	Falta de homogeneidad. Exceso de plasticidad.	Falta de horizontalidad. Vibración inadecuada.
Endurece el mortero antes del prensado	Falso fraguado o endurecimiento rápido del cemento. Excesiva temperatura de los materiales. Pigmentos.	
La pasta se pega a la goma	Excesiva plasticidad del mortero.	Insuficiente tiempo de vibrado y prensado. Moldes mal ajustados.
Exudación de agua	Defectuosa dosificación. Falta de retención de agua.	Irregularidades en el prensado. Mal ajuste de los moldes.
Piezas alabeadas	Fraguado y endurecimiento lento. Defectuosa dosificación. Diferencia en resistencias entre ambas caras (bajas resistencias de la cara del revés).	Inadecuada colocación de las piezas. Falta de prensado.
Poca resistencia al golpe	Falta de resistencias del cemento o del mortero. Defectuosa dosificación de ambas caras. Mal curado.	Carga de prensa insuficiente.
Aristas defectuosas	Falta de resistencias.	Carga de prensa insuficiente. Pulido.
Grietas horizontales en los cantos	Arena muy gruesa cara reverso.	Poca presión. Desgaste de los moldes.
Fisuras	Defectuosa adherencia. Mala dosificación (exceso de cemento, finos, agua). Mal curado.	Moldes desgastados.
Coqueras	Dosificación como composición granulométrica de la arena inadecuada.	Falta de vibración.
El granito se desprende	Falta de adherencia o deficiencias en la dosificación y cantidad del mortero.	
Se rompe el granito	Falta de resistencia del granito. Tamaño excesivo del granito respecto a las capas.	Excesiva carga de prensado.
Diferencias en el color	Irregularidades en la dosificación. Falta de homogeneidad en los materiales. Polvo en el granito. Excesiva retención de agua en cara vista.	Distribución irregular de la carga de prensado.
Poca resistencia al desgaste	Poca dureza del granito. Falta de resistencia del mortero. Mal curado.	Carga de prensado insuficiente.
Roturas al pulir	Alabeo de las piezas. Falta de resistencias. Granitos rotos en el prensado. Falta de adherencia. Existencia de fisuras. Mal curado.	Mal ajuste equipo de pulido.

DEFECTOS EN LA ELABORACIÓN DE PIEZAS DE HORMIGÓN BLANCO

(Fuente: «Cemento Portland artificial blanco y sus aplicaciones»).

***ACCIÓN DE LAS HELADAS**:* si el agua capilar presente en el hormigón se congela, aumenta de volumen y produce tensiones internas con las consiguientes grietas; en consecuencia, disminuye la durabilidad del hormigón. El efecto de las heladas es más nocivo cuando estas tienen lugar una vez iniciado el endurecimiento del fraguado, ya que destruyen la estructura.

Hay no obstante ciertos factores que pueden aminorar la acción agresiva de la helada, como un bajo contenido residual de agua capilar, un enfriamiento lento, el efecto de los anticongelantes y adecuados tamaño, forma y distribución de los capilares.

Para reducir el riesgo de fisuración durante ciclos recurrentes de hielo-deshielo, el hormigón debe tener una buena compacidad y una distribución regular de poros de tamaño reducido. Es conveniente que el contenido de aire ocluido esté entre 4 y 6 % y que la relación agua/cemento sea lo más baja posible sin llegar a afectar la trabajabilidad en la puesta en obra. Asimismo, las dosificaciones de cemento no deben ser inferiores a 300 kg/m^3 y deben incluir áridos compactos de baja capilaridad. Aún pueden conseguirse mejores resultados si se elige un cemento con elevado calor de hidratación y contenidos de C_3A y C_3S altos y si se hormigona tomando las precauciones pertinentes.

***INFLUENCIA DEL TERRENO**:* las condiciones que presenta el terreno son decisivas sobre la durabilidad del hormigón. Desde el punto de vista físico influirán las zonas aluviales de poca estabilidad, el estado de los niveles freáticos, la presencia de fallas y de aguas artesianas, la disposición de capas impermeables de arcilla, la porosidad y, por lo tanto, la permeabilidad a aguas libres o estancadas. Y, con respecto a su composición química, se hace fundamental conocer la estratigrafía del terreno, su litología y la dirección en que las aguas o filtraciones del subsuelo transportan los materiales solubles.

CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DE UN CEMENTO

Los criterios generales para elegir un determinado tipo de cemento, por sus propias cualidades y por las condiciones de la puesta en obra, pueden resumirse en:

- **CONSTRUCCIÓN EN SUBSUELO** (fundaciones en general): posible agresión química por acceso al hormigón del agua procedente de los niveles freáticos o de circulación, por ejemplo. Por otro lado, el hormigón suele retener con facilidad su agua de amasado y no está expuesto a evaporaciones constantes por viento y sol.

- **CONSTRUCCIÓN EN ELEVACIÓN** (elementos estructurales): si las cubiertas protegen correctamente no debe haber agresión química; no obstante, el hormigón está expuesto a una intensa evaporación que se tratará de evitar con un curado. Se desaconseja el uso de cementos con elevado grado de finura por su facilidad para la retracción y fisuración.

- **PUESTA EN OBRA DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN MASA**: si la acción agresiva es débil el más indicado es el cemento Pórtland con adiciones activas con una buena puzolana y bajo calor de hidratación.

- **HORMIGÓN DE TALLER Y PREFABRICADOS EN GENERAL**: por lo general se eligen cementos de alta resistencia para los trabajos con tensiones elevadas y cementos de resistencia media cuando las tensiones son reducidas.

ALTERACIONES CROMÁTICAS

Mención aparte merece el problema de los enfoscados en relación con el acabado cromático. La tonalidad que presentan los monumentos y edificios de valor histórico y artístico suele ser consecuencia de los procesos de oxidación y envejecimiento normal de los materiales tradicionales, por lo general morteros de cal, yesos, piedras y ladrillos. En algunos casos puede tratarse de pinturas de base natural que, no exentas de los procesos de envejecimiento que pueden intensificar u oscurecer los tonos, resultan las causantes de pequeñas alteraciones de matices.

No obstante, es conveniente tener en cuenta que la causa principal de alteración de los valores cromáticos tiene que ver con el empleo de materiales nuevos como el cemento o las pinturas sintéticas, sobre todo por las variaciones en su comportamiento con el tiempo.

Además de los problemas de rigidez e impermeabilidad al vapor de agua, y que pueden verse acentuados con el uso de pinturas sintéticas, el empleo del cemento como aglomerante otorga a los morteros una tonalidad difícil de armonizar con la que proporciona la cal.

Por otro lado, la degradación con el paso del tiempo de las pinturas de base natural (pintura a la cal o el temple) puede dejar al descubierto al mortero base, de tonos más oscuros.

Cuando se trata de emprender tareas de restauración de obras de valor histórico, para lograr efectos cromáticos similares lo conveniente es recurrir a los materiales originales. En el caso de las arenas, recordar que suelen ser las responsables de la coloración del mortero; en el caso de los yesos, es fundamental emplear el material cocido de las mismas canteras locales donde se llevó a cabo en otras ocasiones, ya que los colores dependen de las impurezas con que estos se presentan.

ACCIÓN QUÍMICA DEL AGUA

Aguas puras: el agua pura, por su elevada constante dieléctrica, tiene un gran poder disolvente de sales. En consecuencia, a temperatura ordinaria puede disolver la cal (aproximadamente 1,3 g/l).

El exceso de CO_2 transforma el carbonato cálcico en bicarbonato cálcico más soluble, según la reacción:

$$CO_3Ca + CO_2 + H_2O > Ca(CO_3H)_2$$

Aguas selenitosas: se trata de aquellas aguas con un contenido alto de sulfato de calcio (SO_4Ca), sal que se combina con el aluminato tetracálcico que aparece durante la hidratación del cemento y forma sulfoaluminato de calcio o sal de Candlot, conocida como el «bacilo» del cemento por su gran poder de destrucción. Este fenómeno no se produce en los cementos aluminosos, en cuya hidratación se forma el aluminato bicálcico.

La corrosión es la respuesta al contacto de los hidroaluminatos del cemento endurecido con el agua subterránea o ácida que presente iones de sulfato en cantidades superiores a 250 mg/l.

En los poros, donde tiene lugar la formación de etringita, se desarrolla una presión de cristalización que, debido al aumento de volumen, provoca el agrietamiento de la capa de hormigón. Asimismo, se inicia la corrosión de la armadura que favorece la fisuración para permitir la expansión que supone la oxidación del hierro.

En el caso de que el agua contenga sulfato de sodio, éste reacciona en primer lugar con el hidróxido de calcio y posteriormente tiene lugar la formación de la etringita como consecuencia del sulfato cálcico y el hidroaluminato del cemento.

AGUAS MECÁNICAS: con un elevado contenido de sulfato de magnesio –sal de alta solubilidad– son las más agresivas.

El SO_4Mg reacciona con el hidróxido de calcio o cal hidratada ($Ca(OH)_2$) que se forma durante la hidratación del cemento Pórtland, y se forma sulfato de calcio (SO_4Ca).

El ataque prosigue con la formación de sulfoaluminato de calcio o sal de Candlot.

No obstante, si durante su hidratación el cemento no libera cal o si ésta es inmovilizada por puzolanas o escorias presentes en el mismo, la sal de Candlot no se expande y de esta manera no existe el riesgo de destrucción por expansión.

AGUA DE MAR: si bien es peligrosa por contener sulfato de magnesio, los cloruros que la conforman pueden frenar la acción de los sulfatos. Con respecto al agua dulce, se comprueba que, a igual contenido de sulfato de magnesio, resulta notablemente más agresiva por acción de estos cloruros.

Reacciones		A				B							C		
		Debida principalmente a lixiviación incluyendo hidrólisis de los compuestos cálcicos del hormigón				Debida principalmente a transformaciones químicas acompañadas de lixiviación							Transformaciones químicas y expansiones acompañadas de lixiviación con formación principalmente de		
						Acción ácida Procesos de intercambio			Proceso de intercambio Acción				Etringita y yeso	Etringita y yeso	Yeso, hidróxido magnésico, sales amónicas
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Residuo no evaporable					*Ácido carbónico agresivo*		*Magnesio Mg^{+2}*	*Amonio NH_4+*		*Sulfuros S^{-2}*	*Sulfatos (SO_4^{-2}) en presencia simultánea de:*		
	Agresividad del agua para el hormigón	*del agua filtrada*	*en presencia simultánea de CO_2 agresivo o que modifique el pH*		*Contenido de cal (CaO) mg/l*	*pH*	*CO_2 agresivo*	*Dureza temporal*		*Para NO3 * 150 mg/l*	*Para NO3] 150 mg/l*		Mg^{+2} < 100 mg/l NH_4+ < 100 mg/l		*Mg^2 /100 mg/l NH_1] 100 mg/l*
													Cl- < 1000 mg/l	*Cl-= 1000 mg/l*	
		mg/l		*pH*			*mg/l*	*°dH*	*mg/l*				*mg/l*		
I	No agresiva	< 50	-	-	> 100	> 6	< 10	> 2	< 100	< 100	< 50	< 1	< 200	< 250	< 100
II	Débilmente agresiva	De 50 a 150	De 0 a 5	> 6	De 50 a 100	De 5.5 a 6	< 10	De 0,2 a 2	100 a 150	100 a 150	50 a 100	1 a 10	200 a 350	250 a 400	100 a 200
							De 10 a 40	> 2							
III	Medianamente agresiva	De 50 a 150	> 5	< 6	< 50	De 5 a 5.5	< 10	< 0,2	150 a 250	150 a 250	100 a 150	> 10	350 a 600	400 a 700	200 a 350
							De 10 a 40	De 0,2 a 2							
							De 40 a 90	> 2							
IV	Muy agresiva	> 50	De 0 a 5	> 5.5	-	De 4 a 5	De 10 a 40	< 0,2	250 a 500	250 a 500	150 a 250	-	600 a 1200	700 a 1500	350 a 600
							De 40 a 90	> 2							
							> 90	(2)							
V	Extremadamente agresiva	> 50	> 5	< 5.5	-	De 3 a 4	-	-	> 500	> 500	> 250	-	> 1200	> 1500	> 600

AGRESIVIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAS DISUELTAS
(Fuente: Gomá, F.: «El cemento Portland y otros aglomerantes»).

	APENAS AGRESIVAS	AGRESIVAS	MUY AGRESIVAS
Valor del pH	6,5-5,5	5,5-4,5	Por debajo de 4,5
Anhídrido carbónico agresivo para la cal (CO_2) en mg/l según la prueba del mármol de Heyer	15-30	30-60	Más de 60
Amonio (NH_4^+) en mg/l	15-30	30-60	Más de 60
Magnesio (Mg^{2+}) en mg/l	100-300	300-1500	Más de 1500
Sulfatos (SO_4^{2-})	200-600	600-2500	Más de 250

GRADO DE AGRESIVIDAD DEL AGUA EN CONTACTO CON EL HORMIGÓN

(Fuente: «El cemento Pórtland y otros aglomerantes»).

SISTEMAS DE DIAGNÓSIS

En el presente apartado el objeto de estudio lo constituye el sistema de ensayos y procedimientos vigentes en la actualidad y aplicables a los áridos, las pastas y los morteros antiguos. Asimismo, se establecen pautas acerca de los controles de calidad y tomas de muestras de los mismos. Cabe señalar que resulta difícil realizar un diagnóstico preciso de los distintos conglomerantes (morteros y pastas) sin tener en cuenta su ubicación y finalidad en el edificio.

Es por eso que este punto de diagnosis se complementa con lo ya visto en otros apartados de esta obra acerca de los distintos revocos, terminaciones y material de junta y sellado. También indicamos que el tema del hormigón, dada su importancia, se ha desarrollado en profundidad en el capítulo anterior.

ANÁLISIS DE ÁRIDOS

La caracterización de los áridos puede estudiarse por medio de una serie de ensayos de laboratorio. No obstante, conviene recordar que los resultados que estos arrojen en realidad tienen una importancia relativa, ya que la aptitud de un árido como material de construcción no sólo depende de las propiedades de sus partículas, sino también de su granulometría.

En consecuencia, es posible alcanzar un árido apropiado a partir de elementos de diferente procedencia y de diversos procesos de machaqueo. Estos son, en la actualidad, los ensayos de caracterización más utilizados:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: permite conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra de árido. El procedimiento consiste en separar las partículas de acuerdo con su dimensión media, mediante tamices adecuados que se disponen correlativamente de mayor a menor abertura de malla.

La serie de tamices UNE, normalizados en España, cuenta con separaciones que siguen una progresión geométrica de razón 21/3. Esto significa que entre dos tamices de dimensiones consecutivas la masa de árido se vuelve doble. Entre un tamaño y el doble existen tres tamices; cada diez tamices, se logra un tamaño diez veces mayor.

La representación gráfica de la granulometría se suele hacer en una gráfica semilogarítmica con porcentajes del material que pasa por cada tamiz en escala normal y los tamaños de aberturas de los tamices en escala logarítmica.

ANÁLISIS DE FORMA Y CARAS DE FRACTURA: la forma de un árido se distingue en las tres dimensiones de un paralelepípedo circunscrito al mismo: la mayor o longitud, la intermedia o anchura y la menor o espesor. El tamaño del árido es la anchura, ya que se corresponde con la abertura del tamiz más pequeño que deja pasar la partícula.

USO O PRODUCTO	REVESTIMIENTOS	MEZCLA BITUMINOSA PARA CAPA RODADURA	MEZCLA BITUMINOSA	GRAVAESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	GRAVA ESTABILIZADA CON AGLOMERANTE	GRAVA SUELTA	HORMIGÓN PARA CANTERA	FINOS	BALASTO	HORMIGÓN HIDRÁULICO
CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS										
Densidad aparente	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Porosidad	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Absorción de agua	•	•	•	•			•	•	•	•
Desgaste “Los Ángeles”	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Micro Deval (MDE)	•	•	•	•	•	•	•			
Deval (DS-DH)								•		
Friabilidad de la arena		•					•			•
Evaluación de la piedra pulida	•						•			
Hielo-Deshielo	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Homogeneidad	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Reacción a los álcalis										•
Contenido en sulfato	•	•	•	•	•	•	•			•
Materia orgánica					•		•			•
Contenido en cloruro						•				•
Contenido en azufre						•				•

Referencias •: A realizar, si es necesario

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE ENSAYOS DE LOS ÁRIDOS

(Fuente: «Manual de áridos. Prospección, explotación y aplicaciones»).

USO O PRODUCTO	REVESTIMIENTOS	MEZCLA BITUMINOSA PARA CAPA RODADURA	MEZCLA BITUMINOSA	GRAVAESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	GRAVA ESTABILIZADA CON AGLOMERANTE	GRAVA SUELTA	HORMIGÓN PARA CANTERA	FINOS	BALASTO	HORMIGÓN HIDRÁULICO
CARACTERÍSTICAS DE PROCESO										
Tamaño de grano	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Módulo de finura										•
Exfoliación	•	•	•				•		•	•
Limpieza	•	•	•	•	•		•		•	•
Angularidad	•	•	•	•	•	•	•			•
Equivalente de arena		•	•	•	•	•	•			•
Evaluación del azul (Ubta-Vbtu)		•	•	•	•	•	•			•
Ridgen (IVR)								•		
Poder de absorción								•		
Capacidad de estriado								•		
Superficie específica Blaine								•		

Referencias •: A realizar, si es necesario

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE ENSAYOS DE LOS ÁRIDOS

(Fuente: «Manual de áridos. Prospección, explotación y aplicaciones»).

Los métodos que se emplean para determinar la forma de las partículas se basan en la medida directa de sus dimensiones. Como los criterios estimativos difieren para cada método sin guardar relación entre ellos, las fórmulas también pueden variar.

De esta manera, por ejemplo, se definen los índices de lajas y agujas como los porcentajes en peso de las partículas que sean lajas o agujas, con respecto a la muestra total.

Para la realización del ensayo se toman como mínimo 200 partículas de tamaño superior a 6,3 mm. A esta fracción a ensayar se la hace pasar, de modo independiente, a través de dos calibres metálicos: calibre de ranuras para la determinación del índice de lajas o calibre de barras para el índice de agujas.

- **ÍNDICE DE LAJAS**: cociente entre el peso del árido que pasa por el calibre de ranuras y el peso total de la muestra ensayada.

- **ÍNDICE DE AGUJAS**: cociente entre el peso de la muestra retenida por el calibre de barras y el peso total de dicha muestra.

Otro criterio de calidad, en relación con la angulosidad, lo constituye la proporción de árido grueso que presente dos o más caras de fractura por machaqueo, entendiéndose por cara de fractura de una partícula al plano de fractura cuya mayor dimensión lineal es al menos el tercio de la longitud máxima de esa misma partícula.

El ensayo en este caso consiste en separar manualmente, en cada una de las fracciones representativas de un árido grueso, las partículas que presentan dos o más caras de fractura y obtener su porcentaje; finalmente se calcula el porcentaje ponderado de la muestra total.

Resistencia al desgaste: se determina por medio de la máquina de Los Ángeles. El ensayo se lleva a cabo introduciendo 5 o 10 kg de muestra de roca con granulometría específica en un tambor de acero provisto de un entrepaño lateral; a continuación, con una carga abrasiva correspondiente a cada granulometría de ensayo, se somete la muestra a 500 o 1.000 vueltas (velocidad: 33 r/minuto).

- **GRANULOMETRÍAS FINAS**: designaciones A, B, C y D; tamaño de árido: entre 40 y 2,5 mm.

- **GRANULOMETRÍAS GRUESAS**: designaciones E, F y G; tamaño de árido: entre 80 y 20 mm.

Finalizado el periodo de vueltas, se retira el material del tambor y se lo hace pasar por el tamiz 1,6 (UNE) a fin de separar los finos producidos por desgaste y rotura del árido. El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original de la muestra y la masa de esta muestra al final del ensayo, expresada como tanto por ciento de la masa original, debiendo indicarse la granulometría ensayada.

Por último, cabe añadir que el ensayo de Los Ángeles no se limita a la caracterización mecánica del material, ya que también ofrece información adicional sobre la forma y homogeneidad de las partículas y sobre la estructuración y uniformidad de los acopios. Por otra parte, se recuerda que los resultados del mismo pueden sufrir considerables alteraciones en función de la forma de la partícula siendo que, a modo de ejemplo, unas partículas más lajosas presentarán con seguridad un mayor coeficiente de desgaste.

Limpieza y plasticidad: el ensayo de equivalente de arena permite precisar la presencia de determinados materiales pulvurentos con capacidad de incidir de forma negativa en el comportamiento de la arena como árido. Se trata de un procedimiento rápido que determina un índice representativo de la proporción y, en cierto modo, de las propiedades de los materiales (polvo, arcilla, etc.) presentes en el árido fino.

El método consiste en colocar una cantidad de árido en una probeta graduada –llena en parte de una solución tipo–. Tras agitarla, se vuelve a llenar la probeta hasta una altura establecida. Finalmente, se establece el equivalente de arena por el cociente de lecturas entre la superficie de la arena y la alcanzada por la posible suspensión de arcilla tras 20 minutos de reposo.

A fin de valorar la presencia de elementos arcillosos en los áridos finos, se ha desarrollado un método que se basa en las propiedades de adsorción de las arcillas y su consiguiente efecto decolorante sobre soluciones acuosas de azul de metileno. El azul de metileno es adsorbido por arcillas, hidróxidos de hierro y materiales orgánicos gracias a la actividad superficial y fisicoquímica de estos elementos.

La prueba arroja el índice de azul de metileno, el cual indica la cantidad (gramos) de azul de metileno cada 100 gramos de muestra seca.

Por otra parte, para determinar las propiedades plásticas –vinculadas a un posible contenido limo-arcilloso– de los áridos finos y suelos empleados en la construcción de terraplenes, se recurre a los ensayos del límite líquido y del límite plástico.

Los valores que suelen darse como representativos de las características plásticas de un suelo son el límite líquido y el índice de plasticidad (diferencia entre el límite líquido y el límite plástico).

- **LÍMITE LÍQUIDO**: humedad con la que un surco que separa dos mitades de una pasta de suelo, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de unos 13 mm, cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1 cm.

- **LÍMITE PLÁSTICO**: humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de 3 mm de diámetro, rodando el mencionado suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa sin que se desmoronen los cilindros.

PULIMENTO: el ensayo del pulimento acelerado reproduce de forma acelerada el pulimento experimentado por los áridos de un pavimento bajo la acción del tráfico real, de manera que determina un coeficiente de pulido acelerado que, al mantener cierta correlación con el coeficiente de resistencia al deslizamiento medido sobre los pavimentos, refleja las características deslizantes de una superficie.

El ensayo se realiza con probetas que contienen partículas de árido embebidas en un mortero de cemento, que se montan en una rueda especial de ensayo formando una pista artificial de piedra. La rueda se acopla a la máquina de pulimento y sobre ésta actúa un neumático liso sobrecargado. Se adicionan materiales abrasivos, como arena silícea o polvo de esmeril, en regímenes especificados bajo condiciones húmedas, en dos periodos de tres horas de duración y girando ambas ruedas a una velocidad de 320 r/min.

Antes de someter las probetas al proceso de pulimento se debe medir el grado de rugosidad de cada probeta humedecida, para lo cual se utiliza el péndulo de fricción. De este modo es posible determinar el ***COEFICIENTE DE ROZAMIENTO INICIAL***; esta medida se ha de repetir a cada hora a lo largo del ensayo para estudiar la evolución que experimenta el coeficiente. Al término del ensayo, la medida obtenida resulta ser el ***COEFICIENTE DE PULIDO ACELERADO*** alcanzado por el árido.

Para la mayor parte de los áridos, durante todo el procedimiento es posible observar un gradual descenso del coeficiente de rozamiento, algo más brusco al comienzo del periodo de alimentación de cada uno de los dos abrasivos empleados.

ADHESIVIDAD A LOS LIGANTES BITUMINOSOS: la adhesividad (capacidad de que el ligante moje al árido y lo recubra en su totalidad) es un factor muy importante en el árido destinado a las carreteras, tanto como resulta ser la resistencia al desplazamiento del ligante, ante el riesgo de que el agua y el tráfico lo dejen descubierto y lavado.

Uno de los métodos más empleados (sólo aplicable a mezclas bituminosas no abiertas), a fin de evaluar la adhesividad de los áridos a los ligantes bituminosos, es el ensayo de inmersión-compresión (norma NLT-162), que permite obtener un índice de la pérdida comparando las resistencias a compresión simple logradas entre unas probetas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua.

A fin de realizar una evaluación directa de la adhesividad pasiva entre el árido grueso (material retenido en el tamiz de 2,5 mm) y el ligante, es posible valorar visualmente si el betún que envuelve las partículas de árido continúa cubriéndolas tras un periodo de inmersión en agua (norma NLT-166). El área cubierta estimada se expresa como superior o inferior a 95 %.

Para determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos respecto de un árido fino se ha de recurrir a la norma NLT-313, donde se describe el procedimiento a seguir. En líneas generales, el ensayo consiste en introducir el árido envuelto por el ligante (o mezcla árido-ligante) en diversas soluciones de carbonato sódico de concentraciones crecientes, observando cual de ellas produce el desplazamiento del ligante.

FINURA DEL POLVO MINERAL: de gran importancia por su actividad superficial, su evaluación puede efectuarse, aunque relativamente, por medio de la determinación de su densidad aparente en tolueno (NLT-176). A mayor cantidad de finos, mayor volumen de sedimentación y menor densidad.

Actividad del polvo mineral: el ensayo del coeficiente de emulsibilidad permite valorar la calidad del polvo mineral de acuerdo con su influencia en la acción del agua sobre las mezclas bituminosas (NLT-180). El valor de dicho coeficiente guarda una relación directa con el poder emulsionante del polvo mineral respecto a los ligantes bituminosos en presencia de agua.

En las condiciones de ensayo, el coeficiente de emulsibilidad se define como la máxima cantidad de ligante bituminoso, dispersable en forma de emulsión directa en agua, mediante un gramo de polvo mineral.

Si la cantidad de ligante es mayor, la emulsión se invierte. De esta forma, la base del método es la determinación del punto de inversión, considerando que las emulsiones directas –ligante en agua– se diluyen en agua y las inversas –agua en ligante– no se diluyen.

CONTROL DE CALIDAD DE LOS ÁRIDOS

Al ser muchos los factores que intervienen en la industrialización de los áridos (variabilidad del yacimiento, tratamiento, manejo y transporte, etc.), el control de calidad debe ser llevado a cabo con sumo cuidado a fin de obtener un producto que se adecue a las especificaciones vigentes. En éstas se definen tanto aquellas cualidades deseables de un árido como los límites para su valoración mediante ensayos normalizados.

Aspectos fundamentales para la organización del control de producción en la planta:

- **DEFINIR LAS AUTORIDADES** en relación con la calidad.
- **DESIGNAR A LOS REPRESENTANTES DE LA DIRECCIÓN** para el control de la producción.
- **REVISAR EL SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN**.
- **CONTROL DE DOCUMENTOS** para el sistema de calidad.

CARACTERÍSTICAS	FRECUENCIA MÍNIMA	OBSERVACIONES
1. Distribución de tamaño de partículas	1 por semana	
2. Forma de partículas gruesas	1 por mes	Aplicado frecuentemente a áridos de machaqueo y a gravas sin triturar.
3. Contenido en finos	1 por semana	
4. Equivalente de arena, y azul de metileno	A requerimiento	Sólo en los casos en que el contenido en finos exceda del valor establecido en la correspondiente norma.
5. Resistencia al hielo y deshielo	_ años	
6. Contenido en cloruros	1 por semana _ años	Áridos marinos Áridos no marinos
7. Contaminantes ligeros	A requerimiento	Determinadas arenas naturales y gravas
8. Sustancias orgánicas	1 por año	Determinadas arenas naturales y gravas
9. Resistencia al fuego	1 por año	
10. Densidad	1 por año	
11. Absorción de agua	1 por año	
12. Densidad volúmica	1 por semana	Sólo para áridos ligeros
13. % partículas trituradas	A requerimiento	Sólo para gravas trituradas
14. Afinidad al ligante bituminoso	_ años	
15. Resistencia a la fragmentación	2 por año	
16. Resistencia al desgaste	2 por año	

ENSAYOS A REALIZAR EN EL CONTROL DE PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS

(Fuente: «Manual de áridos. Prospección, explotación y aplicaciones»).

TOMA DE MUESTRAS

A fin de llevar a cabo los ensayos que permitan valorar las cualidades de los áridos, primero se han de realizar unas muestras representativas, que se pueden tomar como bloques en los frentes de cantera o en los depósitos de arenas y gravas (durante el proceso de fabricación o como productos finales en los acopios).

En el primer caso, para extraer bloques en los frentes de cantera, recordar que estos deben ser representativos del propio frente: si se encuentran variaciones en sus materiales constituyentes, tomar muestras diferentes que recojan esas diferencias.

En el segundo caso, la toma de muestras en los yacimientos granulares debe estar orientada a determinar:

- **LA NATURALEZA LITOLÓGICA Y EL ESTADO DE LAS PARTÍCULAS CONSTITUYENTES.**
- **LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL DEPÓSITO Y DE LOS COMPONENTES INDIVIDUALES, ARENAS Y GRAVAS.**
- **LA HOMOGENEIDAD DE LA ESTRUCTURA Y LA PRESENCIA DE MATERIALES DESECHABLES O CONTAMINANTES.**
- **OTRAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y QUÍMICAS.**

Cabe aclarar que suele ser fácil extraer el material en cantidades adecuadas, para preparar las muestras, gracias a sondeos de helicoide o retroexcavadoras con alcance suficiente.

Por último, las necesidades de trituración en la planta se suelen determinar en función del porcentaje de material retenido en las mallas de 75 y 150 mm.

NORMAS Y ENSAYOS DE PASTAS

PASTAS DE CAL GRASA: gran rendimiento y lentitud de endurecimiento. Agua: agente de plasticidad.

PASTAS DE YESO: aglomerante de fraguado rápido. La determinación del tiempo de fraguado, la estabilidad volumétrica y la resistencia exigen una preparación previa. Según norma UNE 7064, usar una solución de bórax a 1'1 % en el agua de amasado.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

Ensayo de la aguja de Vicat: rellenar con pasta normal un molde troncocónico de 6 cm de base superior, 9 cm de base inferior y de 4 cm de altura. Penetrar la sonda a cada minuto hasta el inicio del fraguado; luego, cada cuarto de minuto.

Se considera que el fraguado comienza cuando la aguja penetra hasta 1 mm del fondo del recipiente y que su fin queda determinado si la profundidad de la huella de la aguja no supera los 2 mm.

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA

Utilizar pastas normales sobre probetas de 4 x 4 x 15 cm. Dejar fraguar durante 24 horas a temperatura ambiente y posteriormente desecar en estufas con tiraje regulado, a 40 °C, hasta lograr un peso constante.

La resistencia a la flexión se determina con la balanza de flexión o balanza Michaelis; la resistencia a la compresión, por medio de prensas hidráulicas especiales.

CARACTERÍSTICAS	FRECUENCIA MÍNIMA	OBSERVACIONES
17. Resistencia a la abrasión		Sólo áridos para firmes desgastados
18. Resistencia a la abrasión mediante huella	2 por año	Sólo áridos para firmes desgastados
19. Resistencia al pulido	_ años	Sólo áridos para firmes desgastados
20. Estabilidad de volmen		
21. Contenido en conchas	1 por año	Sólo para áridos marinos
22. Materia soluble en agua	1 por semana	Sólo áridos para firmes artificiales
23. Pérdida al fuego		Sólo áridos para firmes artificiales
24. Reducción por secado		
25. Expansión hinchamiento		
26. Contenido en compuestos sulfurosos	1 cada 5 años	
27. Reacción alcalina	A requerimiento	
28. Desintegración de los silicatos bicálcicos	2 por año	Sólo para escorias metalúrgicas
29. Desintegración del hierro	2 por año	Sólo para escorias metalúrgicas
30. Influencia de la cal viva	2 por año	Sólo para escorias metalúrgicas
31. Desgaste al sol	2 por año	Sólo para basaltos jóvenes alcalinos
32. Estudio petrográfico	1/5 años	

ENSAYOS A REALIZAR EN EL CONTROL DE PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS

(Fuente: «Manual de áridos. Prospección, explotación y aplicaciones»).

ENSAYOS PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA

AGUJA DE CHATELIER: para medir la expansión (la separación de los extremos de las agujas determina la expansión de la pasta).

REFRACTÓMETRO: para medir la retracción y la expansión de forma simultánea y continua. Se usan probetas de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm de pasta normal; el comparador (medidor con tolerancia +- 1 mm) determina la estabilidad volumétrica del ensayo.

En la actualidad se utilizan bastante las pastas de cemento cola, por su gran adherencia, particularmente en la aplicación de cerámicos y enlucidos de superficies muy finas.

ANÁLISIS DE MORTEROS ANTIGUOS

Las propiedades del revoco son de difícil comprobación ya que, por ejemplo, las pruebas de absorción y difusión de agua no dan una idea adecuada de las cualidades de la mezcla. En cuanto a la porosidad en los morteros constituidos por materiales minerales como el tamaño de los poros, distribución y cantidad total, es posible comparar un mortero con otro.

Las probetas estándar para pruebas mecánicas son prismas de 30 x 70 x 150 mm tomadas en molde de acero y mantenidas sin humedad durante un tiempo pero, en estas condiciones, las cales no fraguan sino que se secan.

Además, existe la posibilidad de que exista demasiado dióxido de carbono en el aire. Estas pruebas se destinan para hormigones y morteros de Pórtland y otros aglutinantes hidráulicos.

Los morteros de cal y los hidráulicos de cal no deben ser tratados como los de cemento Pórtland, ya que su proceso de fraguado es diferente y las pruebas estándar no fueron pensadas para estos últimos.

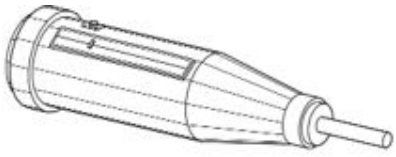
Al no contar con pruebas de laboratorio fiables sobre las cualidades de los revocos antiguos, muchos investigadores aconsejan reproducir los viejos morteros con la misma clase de cal y arena, y misma dosificación, y haciendo estudios in situ.

No obstante, aunque se realice con la mayor precisión posible no existe la garantía de que se conseguirán una resistencia y porosidad iguales a las del mortero original, que por otra parte no suele tener nada de constante por ser una mezcla de componentes heterogéneos dosificados al azar.

ANÁLISIS QUÍMICO

Un método de examen para los morteros, rápido y poco costoso, es el desarrollado por Hanna Jedrzejewska. Permite clasificar las diversas muestras estudiadas en diferentes categorías, partiendo de la base de que el mortero está formado de tres componentes esenciales, con los que se puede determinar el porcentaje medio de una sola operación.

Básicamente, se trata de sumergir la muestra de mortero en una solución ClH, lo que permite calcular su contenido en carbonato cálcico, midiendo la cantidad de gas carbónico desprendido a lo largo de la reacción. Por otro lado, la arena –o su parte de silíceo– es insoluble en el ácido.



Esclerómetro Schmidt. Mide el índice de rebote de una masa (martillo) de acero proyectada contra la superficie del material ensayado. Mide la dureza de una capa superficial de 3 cm de espesor.

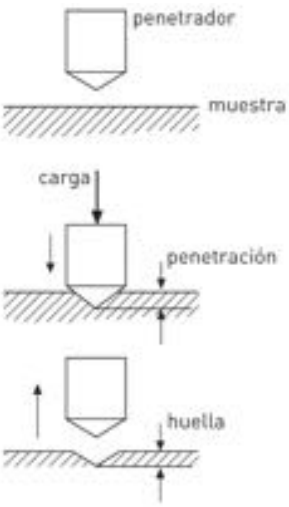
El peso del residuo insoluble respecto al peso total de la muestra define el porcentaje de arena. La solución, con calcio procedente de la cal carbonatada y la caliza, tiene también otros elementos solubles que estarían constituidos sobre todo de silicatos que confieren al mortero sus propiedades hidráulicas.

ANÁLISIS PETROGRÁFICOS

Desde el punto de vista de la mineralogía, el estudio de la arena es igualmente decisivo, básicamente porque empleando este método no es factible conseguir resultados seguros. Las arenas, procedentes de diferentes sitios, pueden tener iguales componentes y hasta incluso la misma granulometría.

En consecuencia, sería un error afirmar de antemano que dos morteros con cualidades distintas implican dos fases diferentes de la construcción. Y, al mismo tiempo, no se debe confiar en que dos morteros, con iguales características petrográficas, sean contemporáneos.

Al igual que con el análisis químico, el análisis petrográfico no ofrece información de máxima confiabilidad, pero da líneas de acción de gran utilidad.



Ensayo de dureza de materiales por penetración.

Estos estudios permiten identificar los granos de arena, evaluar con cierta precisión las proporciones de caliza y distinguir al resto de los elementos (yeso, caliza picada, fragmentos cerámicos, entre otros).

A su vez, es relevante conocer si existen puzolanas y en qué medida y si fueron adicionados al mortero con un fin.

Finalmente, el examen petrográfico también permite estudiar el ataque lento de ciertas partículas de silicio a la cal. Es posible que se formen silicatos solubles e interesa distinguir aquellos obtenidos con intención y aquellos otros que aparecieron por calcinación de las calizas arcillosas seguida de hidratación.

ANÁLISIS TERMODIFERENCIAL Y TERMOGRAVIMÉTRICO

Se trata de métodos que permiten observar y medir, a lo largo de un calentamiento progresivo de la muestra, los efectos endo o exotérmicos o las variaciones de peso como consecuencia de los cambios de fase y las reacciones químicas producto del aumento de la temperatura.

De esta manera se detecta la presencia de materias orgánicas cuya descomposición ocasiona características variaciones gravimétricas.

La presencia de yeso ($CaSO_4$ $2H_2O$), por otra parte, se comprueba por un importante efecto endotérmico debido a la deshidratación progresiva.

Estos análisis permiten confirmar los resultados de los métodos químicos y algunas veces pueden detectar sustancias que no fueron percibidas en ellos.

ANÁLISIS MICROSCÓPICO-PLANOMÉTRICO

Permite determinar de forma precisa la proporción de arena y aglomerante de la mezcla, característica esencial de un mortero.

Para ello, se examina sobre un corte pulido de una muestra de mortero, con el que se mide la superficie ocupada por los diversos componentes. Estos datos se pueden extrapolar a todo el volumen.

ENSAYOS FÍSICOS

Para lograr una eficaz definición de las propiedades de los morteros analizados y facilitar las comparaciones, es fundamental que se lleve a cabo una rigurosa determinación de las características físicas de las muestras: densidad relativa y absoluta, porosidad, dureza, resistencia a tracción y compresión y color.

EXAMEN MICROSCÓPICO

Este examen, si bien presenta el inconveniente de que no permite observar más que una mínima parte de la muestra (aumento 100-400x), resulta indispensable para una descripción detallada de los elementos constitutivos del mortero y del aglomerante.

Sólo por este medio es posible determinar, con absoluta confiabilidad en los resultados, la presencia y caracterización de los constituyentes hidráulicos, así como establecer analogías con otros morteros a partir de ciertos aspectos típicos del aglomerante. Para este tipo de investigación se suele recomendar la técnica metalográfica u observación con luz reflejada.

No obstante, conviene recordar que este análisis es poco eficaz en la comprobación de la cal aérea.

EXAMEN MACROSCÓPICO

Ideado para observar ciertas cualidades que no pueden ser analizadas correctamente más que con una lupa binocular con aumento de 6 a 10 veces: grosor y naturaleza de los granos de arena, proporción y color del aglomerante y homogeneidad de la muestra.

Es muy importante que se preparen los cortes de igual manera que para los ensayos microscópicos: impregnando y consolidando la muestra con un producto adecuado, por lo general resina o mezcla de resinas sintéticas, y una vez consolidado puliendo el corte sin provocar desgarramientos.

Hay que señalar que el uso de algunas resinas implica la desecación perfecta de las muestras y que en todo caso la resina debe ser totalmente incolora para no modificar el tinte natural del mortero.

Se trata de un procedimiento simple, rápido y menos costoso que otras técnicas.

BIBLIOGRAFÍA

Aglomerants i Conglomerants. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 319. Barcelona, 1978.*

Artes de la cal. *Ignacio Gárate Rojas. Munilla-Lería. 2º ed. Madrid, 2002.*

Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento. *Julián Rezola Izaguirre. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1976.*

Cemento blanco. *Julián Rezola Izaguirre. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid, 1976.*

El cemento aluminoso y sus hormigones. *José Calleja Carrete. Agrupación Nacional de Constructores de Obras. Madrid.*

El cemento Portland y otros aglomerantes. *F. Gomá. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1979.*

Fisuras y grietas en morteros y hormigones. *Albert Joisel. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1981.*

Introducció a la ciència dels materials de construcció. *Vicenç Bonet i Ferrer. U.P.C. Monografía nº 8,31. Barcelona, 1995.*

Manual de áridos. *AA.VV. E.T.S. de Ingenieros de Madrid. 1999.*

Manual de prevención de fallos en los morteros monocapa. *AA.VV. Colegio Oficial de Aparejadores y Arq. Técnicos de Murcia. Murcia, 1997.*

Manual del yeso. *Luis de Villanueva Domínguez-Alfonso García Santos. CIE Investigaciones Editoriales. Dossat. Madrid, 2000.*
Morteros de reparación. *AA.VV. Grupo Español del Hormigón. Boletín nº 4. Dic. 1989.*

Recomendaciones prácticas para el empleo de los distintos tipos de conglomerantes. *Torroja-García de Paredes-J. Nadal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Técnicas tradicionales de construcción y patrimonio histórico. *AA.VV. Diputación General de Aragón.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Influencia del tipo de curado sobre un conglomerante cal-toba-yeso. Álvarez Cabrera.

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (I)

PATOLOGÍA DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES

PATOLOGÍA DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES

PATOLOGÍA DE PUERTAS, VENTANAS Y CRISTALES



PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

PATOLOGÍA DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES

INTRODUCCIÓN.....13

LESIONES MECÁNICAS.....19

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES.....79

DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL DE ACABADO.....115

SUCIEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES.....145

PATOLOGÍA DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES

INTRODUCCIÓN 13

CAUSAS 13

SINTOMATOLOGÍA 17

LESIONES MECÁNICAS 19

MUROS PORTANTES 25
(Causas de las lesiones,
Intervenciones en muros de carga dañados)

MUROS NO PORTANTES 49
(Causas de las lesiones,
Actuaciones de reparación y prevención)

ARCOS Y BÓVEDAS 72

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES 79

HUMEDAD POR CAPILARIDAD 81

HUMEDAD POR FILTRACIÓN DE AGUA 93

HUMEDAD POR CONDENSACIÓN 98

HUMEDADES EN MUROS DE SÓTANO 109

DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL DE ACABADO 115

ACABADOS CONTINUOS 116

ACABADOS POR ELEMENTOS 130

SUCIEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES 145

SUCIEDAD POR DEPÓSITO DE PARTÍCULAS 148

SUCIEDAD POR LAVADO DIFERENCIAL 150

TÉCNICAS DE LIMPIEZA 152

LOS MATERIALES DE FACHADA 159

BIBLIOGRAFÍA 161

INTRODUCCIÓN

La degradación de los cerramientos exteriores se debe, en buena parte de los casos, a la acción de diversos factores de origen externo.

Ello es consecuencia directa del hecho de ser la fachada un elemento constructivo expuesto permanentemente a la intemperie. Si bien en ocasiones tienen una influencia más o menos determinante ciertas cuestiones del proyecto o ejecución de la obra, así como de los materiales empleados.

De este modo, las causas ambientales y de tipo físico-químico se superponen a menudo con las de origen técnico y mecánico.

CAUSAS

Las alteraciones de tipo físico-químico afectan, en mayor o menor grado, a los materiales utilizados en una fachada. La porosidad del material y el tamaño de los poros son causas de tipo intrínseco que, en presencia de determinadas condiciones extrínsecas, derivan en la aparición de diversas lesiones.

De este modo, la composición y calidad de los materiales empleados es la mejor prevención ante la agresión físico-química de fenómenos externos (agua, humedad, sales solubles) que son, por lo tanto, inevitables.

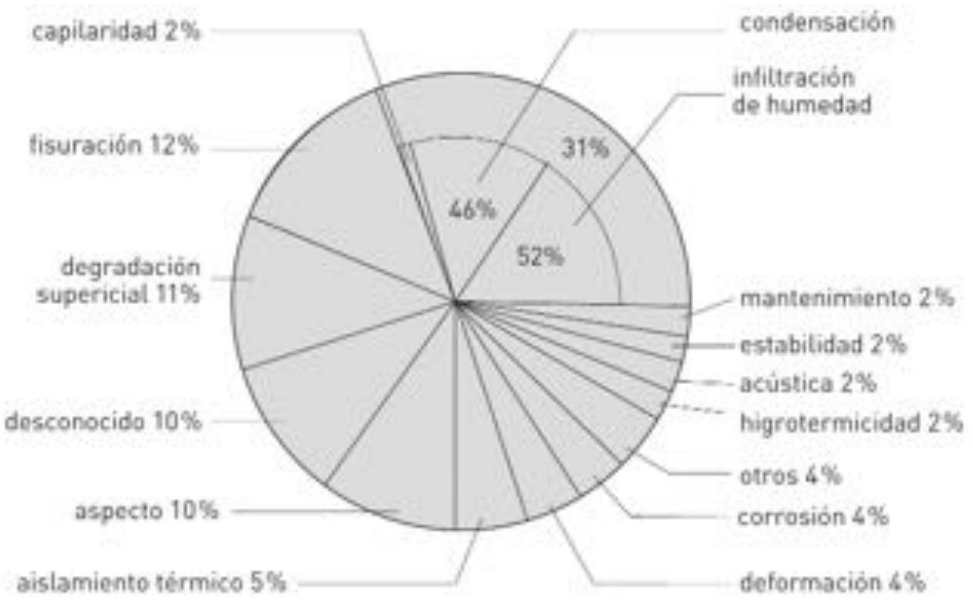


Diagrama del estudio sobre las causas de deterioro en las obras de fábrica.
Bélgica 1977-1979.

El uso de materiales escasamente porosos impedirá que los agentes nocivos penetren en el interior del muro, limitando la agresión de éstos a la superficie, donde es más fácil de detectar, combatir y eliminar.

Las alteraciones físicas se deben fundamentalmente a factores relacionados con la intemperie. Por ejemplo, los aumentos de volumen que se producen en el muro de cerramiento como consecuencia de la cristalización de las sales que contiene éste en el interior de los poros y que pueden llegar a provocar la disgregación de la estructura interna de los materiales como consecuencia de las fuertes tensiones creadas.

Otra causa física de gran importancia en muros de cerramiento son las oscilaciones de temperatura, en ocasiones extremas en un espacio breve de tiempo.

Ello genera importantes tensiones de tipo mecánico, sobre todo cuando existe una incapacidad del cerramiento para seguir los movimientos de dilatación y contracción de la estructura o cuando ambos elementos (estructura y cerramiento) manifiestan movimientos de tipo divergente.

De origen físico son también la congelación del agua contenida en los poros, capaz de generar fuertes tensiones que ocasionan la rotura del material por sobrepasar éste su resistencia a tracción; y la contaminación atmosférica, que puede provocar reacciones de tipo químico en la superficie e interior de los materiales de fachada.

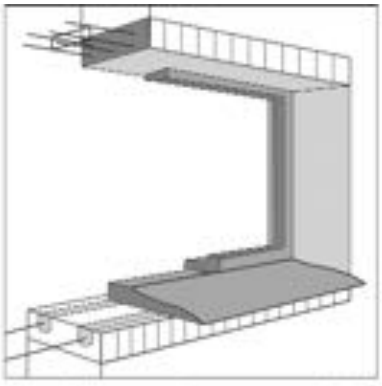
Las causas mecánicas son aquéllas que se originan en tensiones ejercidas sobre el muro y que pueden conducir a éste hacia su aplastamiento, deformación, pandeo y fatiga, manifestándose principalmente a través de fisuraciones más o menos aparentes.

La particularidad de este tipo de lesiones es que su aparición incrementa la vulnerabilidad del muro ante las agresiones físicas y químicas, acelerando la acción de éstas y el proceso de deterioro general.

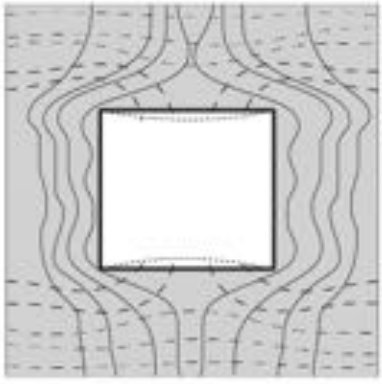
La acción de sobrecargas y los movimientos inherentes a todo edificio, además de los introducidos por asentamientos diferenciales, son los fenómenos que causan con mayor frecuencia lesiones de tipo mecánico en muros portantes.

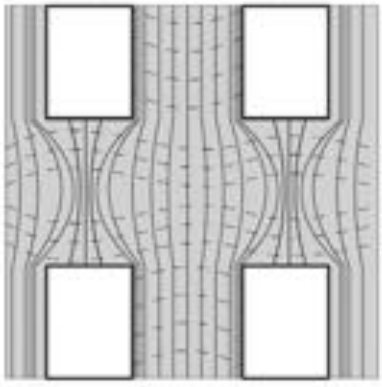
En cerramientos sin misión estructural, encontramos sobre todo empujes introducidos por deformaciones en los forjados e incompatibilidades de deformación entre estructura y cerramiento ante la acción de fenómenos térmicos y de humedad.

Finalmente, integramos dentro del grupo de las causas técnicas tanto los defectos de proyecto como los de ejecución. La cantidad de factores causantes es muy amplia. Desde una elección inadecuada de los materiales, sin tener en cuenta aspectos como las condiciones externas de clima a que se va a ver sometida la fachada y la orientación de ésta.



soluciones actuales para repartir las fuerzas en torno a las aberturas





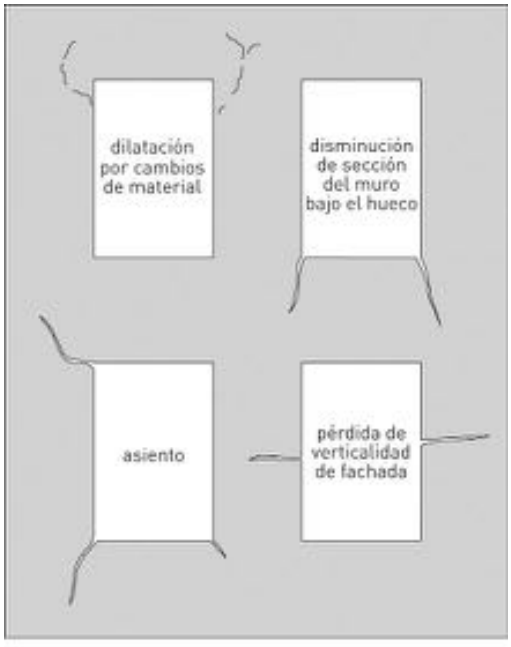
isostática de compresión.

isostática de tracción.

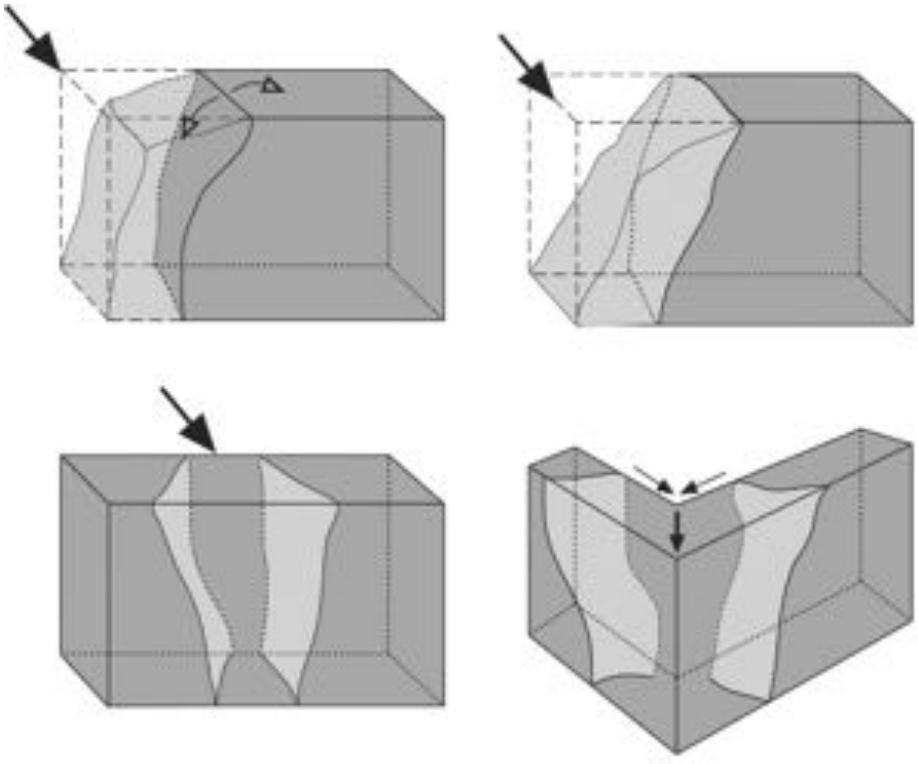
Esquemas de tensiones en torno a los huecos de fachada en muros de carga.

Hasta el error común de considerar que estructura y cerramiento son dos elementos que funcionan de modo independiente y no prever las necesarias juntas capaces de absorber las deformaciones diferenciales entre ambos.

El diseño de fachadas poco funcionales y totalmente planas, sin protecciones superficiales adecuadas, son el medio perfecto para la aparición de humedades de filtración y de fenómenos de ensuciamiento. En ocasiones, ni siquiera se prevé la introducción de cornisas y protecciones geométricas, antiguas soluciones que siguen siendo todavía hoy muy válidas.



Fisuras y grietas características en torno a los huecos de las ventanas de un muro.



Esquemas de pertubación causada por la introducción de una fuerza horizontal, perpendicular al plano del muro.

En cuanto a los errores de ejecución, afectan sobre todo a los acabados superficiales. En ocasiones, llegan a omitirse elementos contemplados en el proyecto, como pueden ser los goterones en las cornisas. Y es que, al ser éste el último trabajo que se realiza en un edificio, suele contar con las menores calidades y garantías.

SINTOMATOLOGÍA

En las siguientes páginas, se contiene una descripción detallada de los síntomas relacionados con los fallos más corrientes en cerramientos exteriores, tanto portantes como no portantes. En general, teniendo en cuenta que toda arquitectura manifiesta sus daños a través de grietas y fisuras, obtendremos buena parte de la información necesaria a través de la forma, grosor y dirección de éstas.

Pero más importante que la propia grieta es su evolución, siendo necesario realizar un análisis en profundidad sobre su origen y efectos. Y es que toda construcción está fisurada, en mayor o menor medida, hecho que sólo indica que el elemento afectado o los que colindan con éste están trabajando de diferente modo a como se proyectó en origen.

En cuanto a las intervenciones posteriores a la detección de la lesión y la determinación de la causa, veremos las diferentes técnicas de reparación, consolidación, protección y refuerzo para cada lesión concreta. Sin perder de vista que, en el caso de las fachadas, por su propia concepción arquitectónica, será a menudo necesario realizar intervenciones que respeten su diseño y sus acabados originales. En este caso, estaremos a menudo hablando con más propiedad de restauración que de rehabilitación.

LESIONES MECÁNICAS

Las principales lesiones mecánicas en muros, tanto de carga como no portantes, se manifiestan y desarrollan principalmente a través de la aparición de grietas y fisuras. Este fenómeno, altamente expresivo, permite identificar con premura y diagnosticar con bastante exactitud de qué mal padece la estructura.

Por ello, en materia de patologías, conocer a fondo la fisura y extraer de ella toda la información que ésta pueda aportarnos es esencial a la hora de llevar a cabo un diagnóstico.

Una fisura es siempre un síntoma de agotamiento del material constructivo, causado por la aplicación de solicitaciones directas o indirectas que éste no puede soportar y que pueden llevarle hasta la rotura. Ello sucede cuando la deformación causada por la solicitación supera la capacidad de deformación elástica del material.

La diferencia entre fisura y grieta estriba básicamente en el tamaño. Entre unas micras y dos milímetros, se trata de una fisura. Por encima de esta medida, es considerada como grieta. Mientras que la primera afecta sólo a una cara del cerramiento o, en ocasiones, únicamente a su acabado superficial, la grieta se presenta en todo su espesor.

Hay que advertir que estos síntomas se manifiestan con un cierto retraso en las estructuras portantes. Al contrario de lo que sucede con aquellos elementos cuya única función es separar o cerrar compartimentos en planos verticales u horizontales, llamados cerramientos no portantes o elementos de partición, y que suelen ser los primeros que nos avisan de la existencia de una lesión en el edificio.

Existe una categoría de elementos constructivos portantes que son, simultáneamente, de cerramiento, es decir, que forman parte de la estructura resistente y al mismo tiempo ejercen la función de separación. Estos elementos (muros de carga, forjados) manifiestan los síntomas con bastante celeridad.

Como puerta abierta a la penetración de agua y otros agentes nocivos, las fisuras y grietas pueden ser vivas, es decir, no estabilizadas; o muertas. En el primer caso, sus dimensiones varían a lo largo del tiempo. Por ello, antes de acometer cualquier reparación hay que comprobar que las fisuras o grietas han alcanzado su estabilidad y, de todos modos, determinar y eliminar las causas que las originan.

Ambos tipos pueden aparecer tanto en elementos estructurales portantes como en cerramientos, así como en muros no estructurales a los que se somete a cargas no previstas.

Detectar la lesión es tarea sencilla, dado que grietas y fisuras actúan como aviso. Sin embargo, al determinar los fenómenos causantes, son frecuentes los errores.

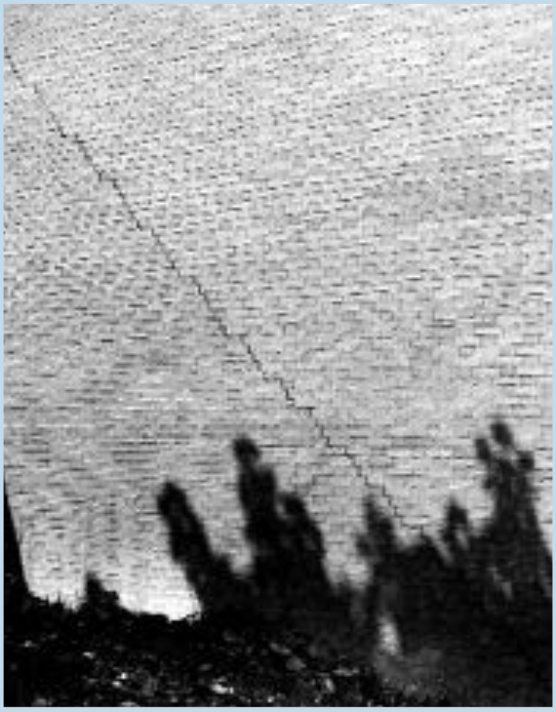
Es necesario conocer la progresión de la lesión y estudiarla de manera minuciosa, dado que la causa puede manifestarse a través de múltiples síntomas diferentes. Raramente, detrás de una lesión, se esconde una única causa. Al contrario, en la mayoría de las situaciones, una serie de factores actúan simultáneamente en el deterioro del elemento. Sólo en los casos en los que la rotura es ocasionada por una acción mecánica, ésta se muestra como causa principal, aunque no única ni primera.

La forma que presenta la fisura en su aparición aporta información valiosa acerca de la causa originaria, de su peligrosidad y de la violencia o lenta progresión con que actúa. De manera general, las lesiones mecánicas suelen desarrollar fisuras aisladas. Por ello, la aparición de fisuras en familias o en mapa, ramificadas o muy cercanas unas a otras, permite suponer una lesión superficial, poco peligrosa. Suelen deberse a retracciones hidráulicas y de dilatación térmica o a fenómenos consustanciales al material.

Sin embargo, la detección de pocas fisuras aisladas hace pensar en el desarrollo de tensiones de tipo mecánico, que serán normalmente de cortante o de flexión. Las primeras nacen a una distancia próxima a los vínculos, mientras que las segundas suelen aparecer en el punto medio de la luz de flexión del elemento, elevándose de modo simétrico y con una inclinación que viene determinada por el material y la magnitud de las tensiones desarrolladas.

Una fisura que se origina en la parte inferior de una pared y que, inclinándose, se dirige hacia la parte superior, indica que esta pared está sometida a una flexión. Si la fisura se origina en un empuje del suelo, surgirá en la parte superior de la pared, dibujando una línea inclinada que se dirige hacia el suelo.

Si la lesión nace de un esfuerzo de cortante, la fisura se producirá en su fibra neutra y se propagará hacia los bordes.



Grieta evidente debida al asiento diferencial de este muro.



Este resalto del muro no ha podido absorber sin rotura las dilataciones y movimientos higrotérmicos propios de este tipo de materiales.

Las solicitaciones de tracción simple, por su parte, imponen al muro un alargamiento superior a su alargamiento unitario, lo cual ocasiona la aparición de fisuras perpendiculares a la línea dibujada por la acción de la tracción.

En muros donde el grado de adherencia entre mortero y ladrillos es pobre, las fisuras dibujan perfectamente el escalonamiento de las juntas del aparejo, recorriendo un camino quebradizo.

El material y la técnica con que se ha ejecutado el cerramiento condiciona la forma de aparición de las grietas o fisuras.

Por ejemplo, el sistema constructivo de las obras de ladrillo facilita la aparición de lesiones, al estar sometido a movimientos importantes.

Cabe distinguir dos trayectorias fundamentales en el recorrido de una grieta. Cuando ésta aparece separando el elemento unitario (ladrillos, bloques, mampuestos) del mortero que lo amalgama, puede tener su origen en determinados defectos de ejecución, causantes de una deficiente adherencia entre ambos componentes. Pero también puede deberse a esfuerzos de tracción o de rasante en las juntas, superiores a los que éstas son capaces de absorber.

La segunda posibilidad es que la grieta rompa y atraviese el elemento unitario, algo que suele ir unido a una rotura entre mortero y elemento, idéntica a la del punto anterior.

Los muros de ladrillo producen movimientos y deformaciones frecuentes, pero en cambio también presentan una mayor capacidad de adaptación, generando con facilidad arcos de descarga en su propia estructura interna.

De este modo, un fallo local de pequeña magnitud puede ser absorbido sin introducir grandes trastornos en el resto de la estructura. No obstante, este tipo de muros desarrolla también lesiones mecánicas, que no son exclusivas de las construcciones antiguas, aunque sí más frecuentes.

Una vez que se ha iniciado y detectado la lesión, es necesario determinar su tipo y su importancia, así como localizar la causa. Se procederá de la siguiente manera:

- **ACTUANDO SOBRE LA CAUSA: DETENIENDO LA LESIÓN Y ELIMINANDO EL ORIGEN.**
- **ACTUANDO SOBRE EL EFECTO: CONSOLIDANDO EL MURO.**



Menospreciar la fuerza de las raíces es un grave error. Los árboles e incluso arbustos de cierto porte deberían guardar una mínima distancian con respecto a muros de obra de fábrica o encadenados superficiales.

TIPO DE CARGA	ORIGEN	CÓMO INFLUYEN
VERTICALES	Peso propio	Se añade a las cargas permanentes.
	Sobrecargas	Las sobrecargas imprevistas o superiores a las prevsitas en proyecto.
	Asentamientos diferenciales	Descenso de nivel de una parte de la obra, como consecuencia de la compresión de los materiales utilizados o de la estabilización del terreno donde apoyan.
HORIZONTALES	Vientos Sismos Explosiones Choques Empujes de tierras	Pueden ocasionar importantes daños en muros de fachada, ya sean estructurales o de cerramiento, y en tabiques internos. En edificios de muros sin misión estructural, son los de fachada los que recogen las cargas horizontales para trasladarlas a través de forjados y pilares hasta la cimentación.
DEBIDAS A MOVIMIENTOS PROPIOS	Dilataciones y retracciones térmicas	Generan fisuras y grietas al impedir la dilatación y contracción del elemento
	Movimientos plásticos	Incompatibilidad de deformaciones entre elementos rígidos y elásticos

ANÁLISIS DE LAS CARGAS MÁS COMUNES QUE OPERAN SOBRE LOS MUROS SEGÚN SU TIPO Y SUS EFECTOS

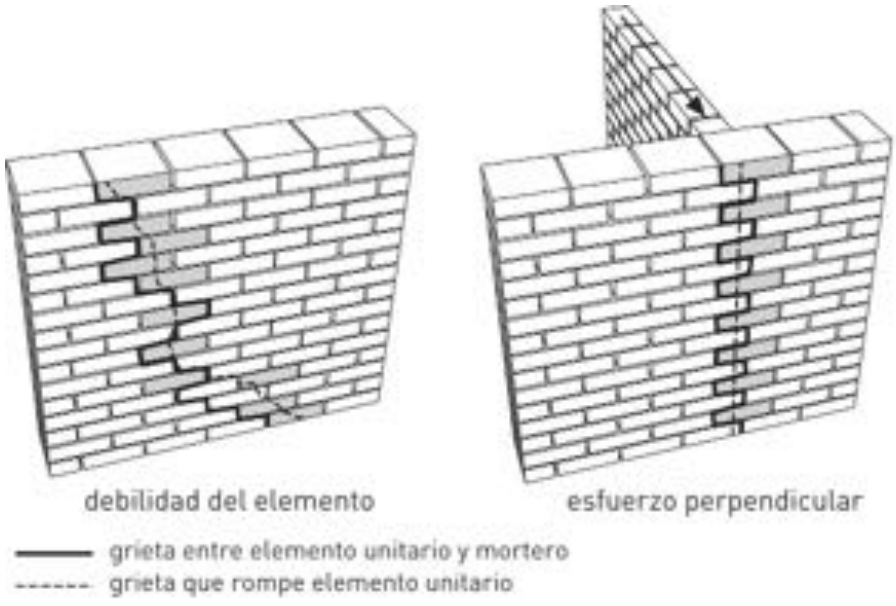
En lesiones evolutivas, es decir, no estabilizadas, será en ocasiones conveniente realizar una consolidación preventiva provisional, anterior a la propia eliminación de la causa. E incluso adoptar medidas encaminadas a minimizar los daños que un posible hundimiento podrían ocasionar. En muros de carga, siempre deberán efectuarse los apeos necesarios, que detengan los efectos de la lesión en progreso al descargar la estructura de sus funciones resistentes.

La consolidación del muro consiste, básicamente, en el tratamiento de las fisuras, mediante un simple masillado, una inyección de resinas epoxídicas, el relleno de las fisuras con un mortero hidráulico o la sustitución del mortero anterior, si éste es de deficiente calidad, por uno nuevo.

El masillado es una técnica eficaz a la hora de proteger las fisuras activas de las infiltraciones de agua. En previsión de futuros movimientos, es conveniente usar masillas elásticas.

Si la fisura es de gran magnitud, deberá tratarse en la medida de lo posible como si fuese una junta de dilatación o estructural.

En cuanto a la inyección de resinas epoxídicas, hay que destacar que este preparado adopta, una vez endurecido, una resistencia incluso superior a la del propio paramento, devolviendo a la sección su capacidad original para soportar cargas.



Esquemas de grietas en muros de obra de fábrica.

Si el ancho de la fisura es superior a 5 mm, debe procederse a un sellado provisional, que se retira tras el endurecimiento de la resina. La ventaja de estos procedimientos reside en un tiempo de aplicación muy corto, debido a que su total endurecimiento se alcanza de manera muy rápida. Debe controlarse siempre la gran cantidad de calor que se desprende y supervisar posteriormente el sellado, con el objeto de detectar posibles fugas.

Otra opción es rellenar las fisuras con un mortero de resinas o un mortero hidráulico sin retracción, que permitan restablecer el monolitismo de la obra. Como preparación, será preciso limpiar detenidamente la fisura a efectos de conseguir una buena adherencia.

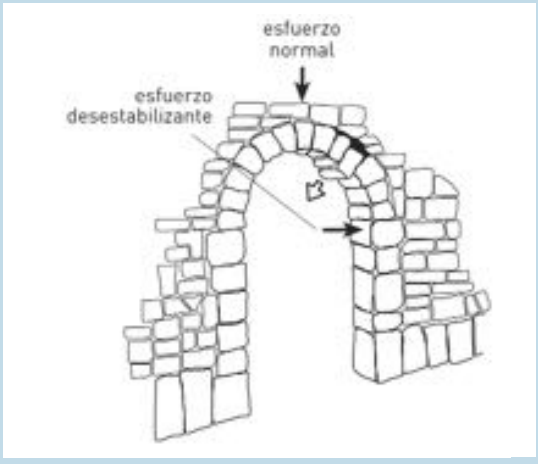
La erosión de las juntas de un muro de mampostería puede ser provocada por la agresión de los agentes atmosféricos o por la deficiente calidad del mortero utilizado.

Si las piezas se hallan en buen estado, para reponer la capacidad mecánica bastará con retirar el mortero viejo, hasta una profundidad de tres o cuatro centímetros, en función del espesor del muro, y rellenar las juntas con morteros nuevos, ligeramente expansivos. Es conveniente que éstos no sean excesivamente fuertes y estén dotados de cierto grado de cal, usando arena gruesa, con ausencia de finos, para favorecer la difusión del vapor que libere la fábrica. Previamente a la aplicación, deben eliminarse las humedades de cualquier tipo y, en el caso de que la superficie de la piedra sea muy lisa, picar ésta para mejorar la adherencia del mortero. Asimismo, limpiar las juntas y piezas, humedeciéndolas para mejorar la adherencia.

Estas cuatro técnicas son correctas en la reparación de grietas y fisuras en muros no portantes y en lesiones que no revisten gravedad en muros de carga. Las actuaciones especiales, en muros estructurales y no estructurales, dependen de las circunstancias observadas en el proceso de diagnóstico de la lesión y se desarrollan en sus correspondientes capítulos.



La pérdida del aglomerante entre los ladrillos obedece a varias razones. Las principales son falta de conglomerantes fuertes y la erosión atmosférica.



Lesión mecánica. Aparición de cargas incompatibles con el sistema constructivo del elemento portante.

MUROS PORTANTES

En materia de acciones mecánicas, el comportamiento de los muros de carga resulta tan complejo que muchos de los problemas que se manifiestan a través de ellos tienen su origen en otras partes del edificio, tales como las cimentaciones, el terreno o la estructura horizontal. Ello viene determinado con frecuencia por dos factores: una mala concepción inicial o las modificaciones introducidas en el edificio con el tiempo.

El origen de las lesiones puede hallarse en fenómenos externos o internos, distinguiéndose dos grandes grupos de causas. En primer lugar, las lesiones relacionadas con el terreno, las cimentaciones, sus movimientos y su desplazamiento.

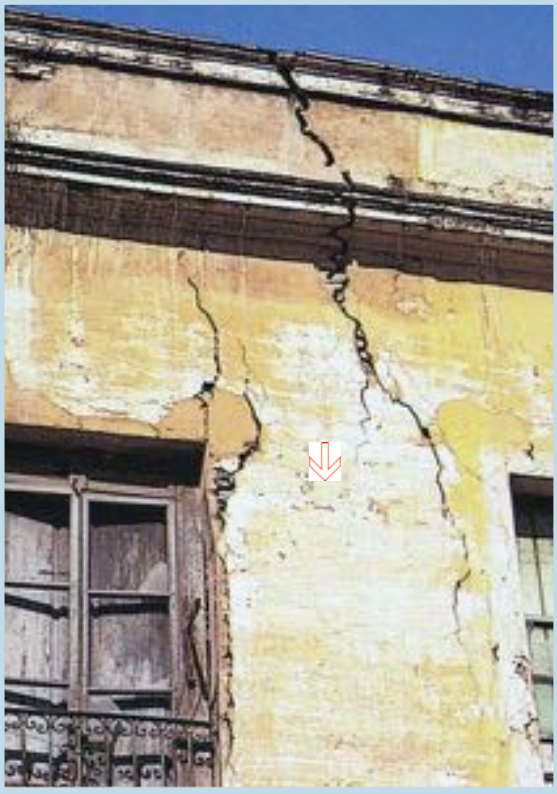


Todo este gran dintel ha descendido apareciendo múltiples grietas y provocando la rotura del acrsitalamiento.

En este punto, las actuaciones de reparación estarían básicamente dirigidas a efectuar recalzados, refuerzos del terreno y de los cimientos y corregir los problemas de las aguas subterráneas.

El segundo grupo estaría integrado por las lesiones cuyo origen se halla en las propias características constructivas del edificio y en los materiales utilizados.

Entre ellas, podemos considerar aquéllas debidas a incompatibilidades entre las deformaciones y la estructura existente, así como a la generación de esfuerzos secundarios no previstos en el proyecto original. Aunque las manifestaciones externas de estas lesiones son semejantes a las anteriores, su terapia se enfoca de manera completamente diferente, mediante la reducción de cargas, la rigidización de los muros, la consolidación de la estructura o la introducción en ella de nuevos elementos.



El revoque, más si éstees débil, es lo primero que nos señala sobre la existencia de un descenso parcial del edificio.

Las incompatibilidades de deformación o de movimiento entre revestimientos y fábrica base son quizás la causa más directa de la aparición de grietas y fisuras, provocando las lesiones del tipo más claro y abundante. Además, se trata de lesiones que aceleran o desencadenan las agresiones de tipo físico-químico.

En todos los casos, las intervenciones de reparación vendrán determinadas por el tipo de edificio. Si es de carácter histórico se ha de optar siempre por soluciones reversibles e identificables.

A. CAUSAS DE LAS LESIONES

LESIONES POR CEDIMIENTO O ASIENTO

Las lesiones por asientos o por acomodaciones del terreno no sólo pueden presentarse al poco tiempo de construido el edificio, como consecuencia de su entrada en carga cuando ésta es superior a la admisible, sino en cualquier momento de su vida útil.

La consolidación natural del suelo, un cambio en las propiedades físicas y mecánicas de éste o la construcción de un nuevo edificio en la medianera pueden provocar la aparición de asientos en la edad madura del edificio.

Existen otros muchos supuestos, como la demolición de una construcción de pocas plantas y el levantamiento en el mismo solar de un nuevo edificio más alto.

En este caso, el aumento de solicitaciones introducirá un asiento que puede arrastrar consigo a los muros medianeros de los edificios colindantes. Un mal dimensionado o un sistema de cimentación inadecuado pueden ser también causa de lesiones.

El cedimiento afecta tanto a muros de carga como a estructuras porticadas, siendo independiente el descenso del plano de apoyo de la altura en que se ocasione.

Como consecuencia de este fenómeno, las formas rectangulares y flexibles del plano mural son deformadas por cortante y forzadas a transformarse en formas romboidales, provocando la aparición de fisuras. Siempre y cuando no existan problemas de mala ejecución de la obra, estas fisuras pueden ser de pequeñas dimensiones y estabilizarse al cesar el proceso de adaptación del edificio.

En este caso, se trata de lesiones que no revisten importancia, cuya reparación se limitará a la comprobación del final del movimiento y a la consolidación del muro, para restaurarle parte de la capacidad mecánica perdida.

La cosa cambia si estas lesiones se producen en un muro portante afectado por defectos de obra o por una baja calidad de los materiales empleados. Entonces la lesión puede revestir mayor importancia, pudiendo provocar incluso la aparición de problemas de carácter secundario.

La gravedad se presenta cuando, como consecuencia de la distorsión ocasionada por el asentamiento, los elementos flexionados pierden su apoyo, se agrietan los muros de arriostramiento perpendiculares a los de carga, se reducen los vínculos entre muros y se disminuye de modo ostensible el monolitismo del conjunto.

Cuando el giro es importante, se produce un desplazamiento de la resultante de los pesos y una redistribución de las cargas verticales sobre los distintos muros, causando el aplastamiento de los más solicitados.

La forma que dibujan las fisuras y grietas está en función del tipo de asiento, el sistema de cimentación empleado y el propio muro. La fractura que se produce suele ser parabólica, situando su foco sobre la vertical que pasa por el punto de mayor descenso de la cimentación. Las ramas pueden invertir su sentido a partir de los puntos de inflexión o extremos de la zona afectada por el asiento.

Si el asiento se genera de forma brusca, la rotura será por cortante y no por flexión, alejándose la posibilidad de que el muro se acomode ni de que origine arcos de descarga. En este caso, las fisuras no establecen diferencia en su recorrido entre mortero y ladrillo y se marcan más verticalmente, desdibujándose su carácter parabólico. Es frecuente que aparezcan desgarros y aplastamientos en los bordes de los labios.

Sin embargo, un asiento lento, producido por un agotamiento progresivo del suelo, apenas genera cizallamiento o cortante violento, introduciéndose las fisuras de forma paulatina.

En los muros ciegos, la parábola se manifiesta más tendida. En cambio, en planos de muros con huecos, éstos serán los puntos débiles por los que empezará a aparecer la lesión.

Igualmente ocurre en muros de cerramiento de estructuras de pórticos. La fisura adopta en estos cerramientos un carácter más vertical, estando la pendiente en función de la relación entre superficie de huecos y de muro, así como de la esbeltez de los primeros. Puede llegar a mostrarse como una superposición de ramificaciones concéntricas.

Como efecto del descuelgue que se produce en los antepechos, los alféizares pueden quedar lesionados por flexión.

Salvo en el caso de asientos bruscos, los muros se fisuran antes que la propia estructura.

El descenso de pilares sobre zapatas o pilotes provoca una flexión en las vigas de los pórticos, sobre las que se apoyan los cerramientos, generando en éstos las roturas por cortante.

El eje de las fisuras parabólicas se sitúa, en este caso, en coincidencia con el eje del pilar sobre el que se ha producido el asiento.

Un caso peculiar de asientos son los producidos en edificios esquineros, en los cuales el encuentro entre dos zanjas sin continuidad introduce en el suelo una superposición de presiones.

La excentricidad mecánica que se produce en este punto, falto de vínculos, provoca que el asiento de esquina se acompañe de un leve giro de la parte baja del edificio, en ocasiones orientado incluso hacia la propia edificación.

Esta parte descolgada puede consolidarse instantáneamente en un nuevo plano de apoyo, quedando estabilizada la fisura. O, por el contrario, si el fenómeno se acompaña de un empuje horizontal de la cubierta o el forjado, aumentar su actividad hasta la rotura total.

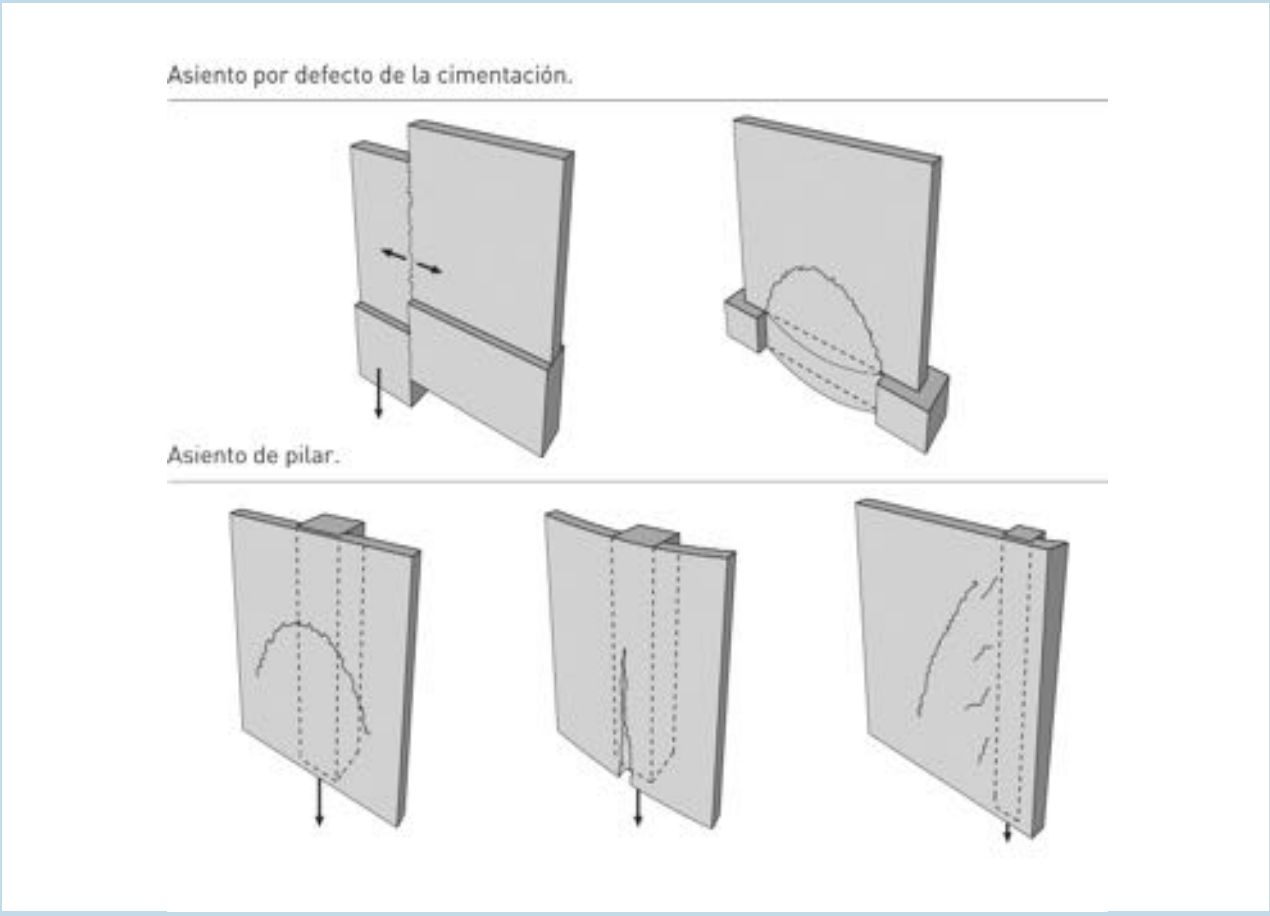
Al detectar la existencia de los síntomas descritos, es necesario proceder con urgencia al apuntalamiento del techo o del dintel afectados, descargando el peso que gravita sobre esa zona, de manera que deje de trabajar como elemento sustentante, y disponiendo los mecanismos que impidan el desmoronamiento por su propio peso.

De lo contrario, es probable que un nuevo incremento de la deformación origine la pérdida del apoyo.

Si el sistema se halla exento de ligazones, en ocasiones puede llegar a producirse un derrumbe en cadena.

La posible rotura a compresión de los muros puede provocar asimismo un caída generalizada. La descarga de los forjados puede hacerse sobre bases sólidas delimitadoras de las zonas cedidas, bien mediante el empleo de elementos verticales (pies derechos) y horizontales (durmientes y sopandas), bien mediante transmisores de esfuerzos a modo de tornapuntas.

También puede lograrse una base de apoyo de apeo provisional colocando, bajo el mismo elemento en movimiento, tablestacados a modo de pequeños pilotes que comprimen el suelo en su entorno, generando una capacidad para resistir nuevas solicitaciones.



Asientos de distintos tipos de cimentaciones y sus efectos sobre los muros de cerramiento.

Estos mecanismos permiten mantener la estabilidad de la zona en movimiento cuando el elemento resistente se halla descargado.

La prevención de este tipo de lesiones mecánicas por asiento se basa en el uso de materiales con relaciones de elasticidad semejantes. En todo caso, se procurará la existencia predominante de uno de ellos, para aportar la máxima homogeneidad posible al muro.

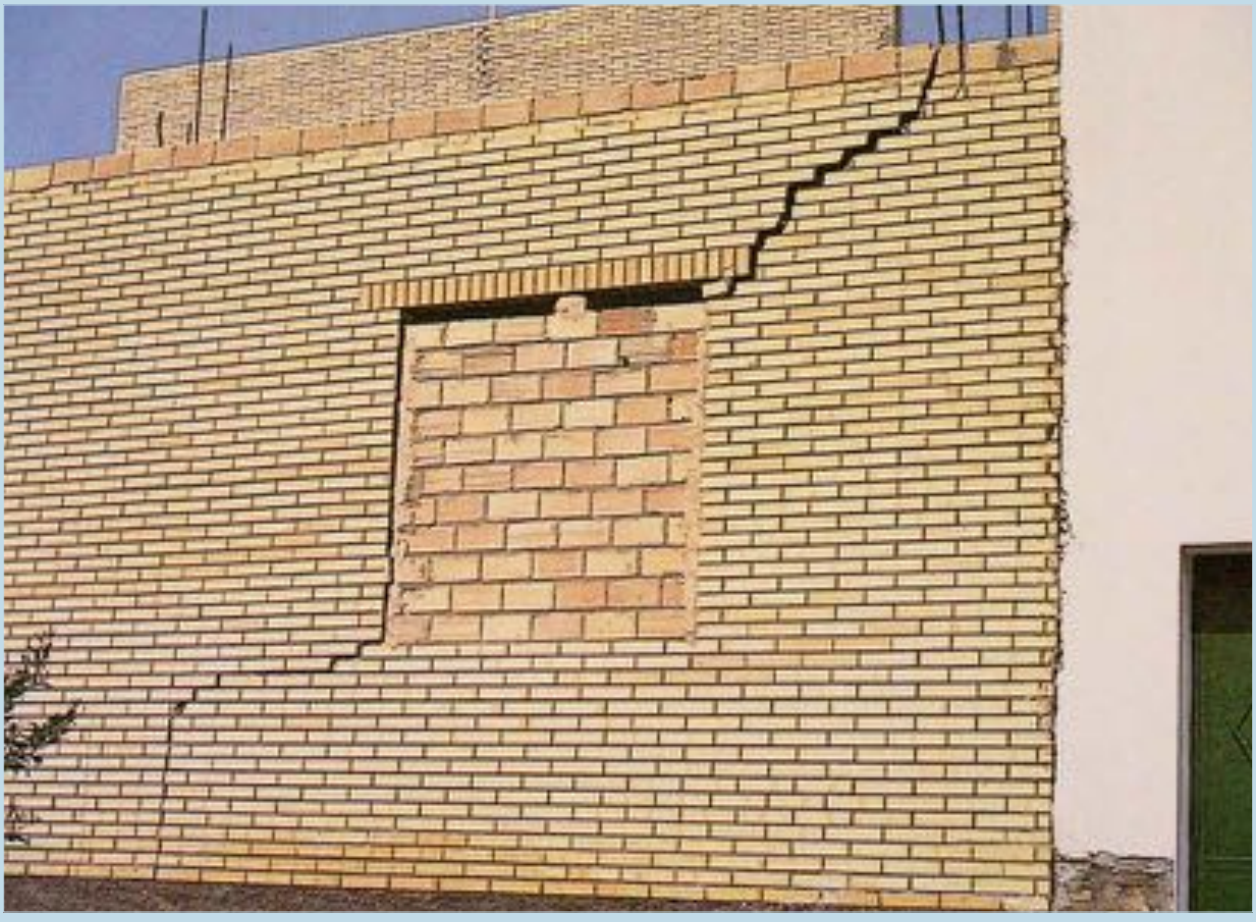
A la hora de enfocar las actividades de reparación, hay que determinar qué grado de estabilización presenta la lesión. Nunca es aconsejable intentar reponer el edificio al estado anterior al inicio del movimiento, sino partir de la deformación que se ha alcanzado.

La consolidación exigirá primeramente un ataque al origen de la lesión, es decir, la estabilización de los movimientos en las cimentaciones.

Suprimir las zonas débiles de huecos y ventanas, mediante su refuerzo con un recercado de huecos, puede contribuir en un primer momento a suavizar las tensiones ejercidas sobre el muro.

Si la lesión está detenida, se procede simplemente a consolidar la base de apoyo originaria y a sustituir las secciones lesionadas en el muro.

Los nuevos materiales de sustitución deben ponerse en carga, para aligerar aquellas partes de la construcción que han asumido el trabajo que dejó de realizar el cerramiento portante. De todos modos, habrá que esperar a que finalice el proceso de adaptación propio del nuevo elemento y el reajuste del resto del edificio.



Este vano o hueco ha sido arriostrado con mampostería para evitar que se siga deformando hasta tanto se logre detener el asentamiento diferencial.

Sólo entonces se procederá a retirar los apeos descargadores, iniciándose una nueva fase de adaptación que generalmente dará lugar a nuevos síntomas, esta vez sin mayores consecuencias.

Una vez reparadas, las variaciones de temperatura propias de las estaciones extremas anuales pueden provocar la reaparición de las fisuras, sin que aumenten sus dimensiones.

LESIÓN POR APLASTAMIENTO

El aplastamiento, como lesión mecánica propia de los elementos portantes, deriva de la fatiga de los materiales, bien por haber alcanzado su límite de resistencia en el tiempo, bien por estar sometidos a tensiones superiores a las que son capaces de resistir.

La descomposición de los materiales de construcción, provocada por reacciones químicas ante la agresión de determinados agentes exteriores, puede asimismo acarrear lesiones por aplastamiento.

Además, esta lesión puede producirse, en modo secundario, por un primer fallo de asentamiento, rotación o cedimiento. Ello sucede cuando la ejecución de la obra no es adecuada, la calidad de los materiales es insuficiente o la gravitación del peso transmitido al exterior de la parábola de descarga sobrepasa los límites de resistencia de estos materiales sobrecargados.

Se trata de un tipo de proceso patológico que no suele detenerse en su movimiento, manifestándose a menudo a través de grietas cortas, quebradizas y verticales, aparecidas sobre los puntos más débiles y acompañadas por una disgregación del material, el abombamiento de los elementos o el desprendimiento de pequeñas lajas.

En muros de carga de ladrillo, el problema queda contrarrestado por su facilidad para generar parábolas locales de descarga. Por ello, la aparición de grietas por aplastamiento es a menudo asociada con el uso de piezas de baja calidad y pobre cochura o de morteros excesivamente flojos. O con una retracción hidráulica y térmica alta.





En materiales duros como la piedra las grietas suelen ser más verticales y confunden a la hora de diagnosticar el origen de las mismas.

En general, puede considerarse que, en un muro donde todos los ladrillos ofrecen una resistencia adecuada, un agotamiento provocado por incapacidad de respuesta ante las cargas externas se manifestaría por problemas de pandeo o de alabeo, pero no de aplastamiento.

Las pequeñas fisuras verticales, ocasionadas por un mortero flojo al aplastarse, pueden llegar a romper el ladrillo por tracción o cortante. Ello es provocado por el desarrollo de tensiones de tracción en el sentido longitudinal de la hilada, produciendo separaciones de las testas de los ladrillos.

Hay que tener en cuenta que la resistencia de los morteros ha de ser siempre menor que la del propio ladrillo, del mismo modo que no debe usarse mortero de resistencia menor a la mitad de la resistencia del ladrillo utilizado.

La consolidación de un muro portante afectado por aplastamiento exigirá, en primer lugar, la descarga del peso que soporta. Al cesar el trabajo mecánico del muro, se limita su esfuerzo, soportando éste únicamente su peso propio.

La descarga de muros afectados por este tipo de lesión ofrece la ventaja de poder utilizar como base de apoyo el área situada inmediatamente bajo la zona a descargar. En edificios antiguos, es conveniente eliminar todo material superfluo que ejerza una carga innecesaria sobre la edificación.

A la hora de proceder a la sustitución de las piezas afectadas, debe extremarse la precaución de utilizar elementos de naturaleza homogénea. Si la lesión ha sido provocada por un cedimiento, al no recuperarse el estado anterior a la lesión, parte de las solicitaciones actuarán sobre los elementos sustituidos, mientras que otra parte se aplicará sobre los recargados.



En edificios muy “largos” es imprescindible la inclusión de juntas estructurales y de cerramiento. Intentar que todo el edificio trabaje como una sola viga, a veces, puede ser muy costoso.



Asiento de magnitud considerable. La fuerza del mismo ha hecho que agriete por igual a ladrillos y mortero.

Si no ha existido cedimiento, la totalidad del peso recaerá sobre el elemento sustituido. Como consecuencia, para la nueva puesta en carga deberá tenerse en cuenta la posibilidad de que se produzcan cedimientos al adaptarse éste.

Cuando el aplastamiento es debido a un exceso de carga, por errores de cálculo o por agotamiento de la capacidad resistente de los materiales, es frecuente el uso de pórticos ocultos, formando una especie de arco que circunda el área afectada y que descarga el muro lesionado.

LESIÓN POR ROTACIÓN O GIRO

Esta lesión, ocasionada normalmente por movimientos anteriores del muro (cedimiento, asiento o aplastamiento) opone grandes dificultades para su diagnóstico, para la paralización de su progreso e incluso para la sustitución de los elementos afectados.

Cuando el cedimiento se sitúa inmediatamente debajo del elemento resistente o muro portante, la rotación puede producirse tanto sobre ejes verticales como horizontales, como consecuencia del arrastre de los elementos vinculados al cedido.

Los esfuerzos horizontales pueden ser provocados por empujes de arcos, bóvedas, cubiertas o edificios colindantes que han sufrido cedimientos, aplastamientos o rotaciones. La existencia en un mismo edificio de dos zonas que soportan cargas muy desiguales provoca en el suelo reacciones distintas.

Por ello, ha de preverse una junta estructural que independice ambas partes y sus respectivos asientos, ya que de lo contrario se genera, bajo el punto de conexión entre ellas, un punto de presión y asiento que provocará el giro de ambas partes en sentidos opuestos.

Esto sucede con frecuencia en torres, que pueden girar hacia el exterior o también hacia el propio edificio, provocando importantes daños en éste e incluso su desplome.

En el diagnóstico, pueden llegar a confundirse los síntomas del giro con los del cedimiento. Ello puede dar lugar a terapias que enmascararán los síntomas, pero no resolverán la lesión en su origen.

El síntoma más común es la aparición de grietas de desencastre verticales, cuyo ancho aumenta progresivamente con la altura, y que se ubican en los muros ortogonales al muro de carga afectado. Pero también es posible que éstas aparezcan solamente en los forjados que se apoyan sobre el muro. Si se detectan grietas de configuración parabólica, deben buscarse las consiguientes de desencastrado en los elementos resistentes inmediatos a la convexidad de la misma.

Si la lesión se encuentra detenida, deben en todo caso adoptarse las medidas preventivas necesarias para evitar que éste pueda reiniciarse en un futuro. Para ello, se absorberán los esfuerzos de la rotación mediante la incorporación de sistemas de arriostramiento o la sustitución de los elementos originarios de la causa.

Si, por el contrario, la lesión se halla activa, será necesario integrar algún sistema que contrarreste los esfuerzos. La opción más común es la incorporación de contrafuertes que transformen el esfuerzo horizontal en vertical con el fin de trasladar el empuje al suelo.

Si no es posible la transmisión de esfuerzos al suelo, puede recurrirse a un atirantado que permita soportar las tensiones adicionales, mediante el agarre a otros elementos de la construcción consolidados. Existen varios sistemas que van desde el grapado de tirantes en diversos puntos del muro rotado a la incorporación de elementos que repartan el esfuerzo en el resto del edificio. Cuando se trata de una actuación de urgencia puede llevarse a cabo un apeo general a través de acodalamientos.

La distancia entre el elemento afectado y su contrapunto ha de ser suficiente para evitar utilizar apeos de grandes longitudes. Los mayores problemas se presentan en edificaciones de gran altura cuando el empuje horizontal se localiza en zonas inalcanzables mediante los sistemas de tornapuntas.

No es conveniente el uso de contrapuntos de madera, dado que la humedad ocasiona en este material constantes variaciones de gálibo que obligan a continuas revisiones de ajuste. Normalmente, se recurre a elementos metálicos telescópicos o al montaje de auténticas estructuras que vehiculen los esfuerzos hacia el suelo. Las edificaciones de baja altura permiten el uso de tornapuntas en abanico.

PÉRDIDA DE LA VERTICALIDAD DEL MURO

La pérdida de la verticalidad del plano mural es ocasionada por la acción de cargas verticales o perpendiculares a él, provocando en ocasiones una cadena de desequilibrios al confluir en el punto afectado empujes mayores a los que es capaz de soportar.

Los vocablos pandeo o alabeo definen estas deformaciones, que pueden ser provocadas por giros en la cimentación o por empujes de la cubierta, arcos, bóvedas y escaleras.

La lesión también puede originarse en el envejecimiento de los morteros y su pérdida de cohesión. Ello provoca que el muro pierda su capacidad mecánica, deje de soportar los empujes normales y comience a manifestar una deformación considerable. En las edificaciones viejas, la pérdida de la capacidad de arriostramiento de algún forjado intermedio es también causa frecuente de fenómenos de pandeo.

La pérdida de la verticalidad de un muro puede llegar a conducir al mismo hacia una rotura brusca. En casos menos graves, este fenómeno se asocia con la aparición de fisuras horizontales y el abombamiento o desprendimiento de lajas, azulejos y plaquetas de los revestimientos. Igualmente, esta lesión se vincula con la rotura por cortante de los aplacados de piedra, el fenómeno del aplastamiento del ladrillo bajo compresión simple y oblicua y el fallo de la adherencia mortero-ladrillo con posterior rotura del segundo.

La flexión del plano mural puede ser ocasionada por dos tipos de empujes la acción de cargas verticales o de cargas perpendiculares.

La acción de las cargas verticales, que provocan una flexión lateral, es frecuente en cerramientos de estructuras porticadas y poco común en muros portantes. El síntoma es siempre un abombamiento exterior del muro, acompañado por la aparición de fisuras horizontales en la cara traccionada y de fisuras internas. En la cara cóncava pueden aparecer roturas por lajas.

La flexión o torsión como efecto de la acción de cargas perpendiculares se produce por un empuje lateral y puede llegar a provocar la rotura brusca del elemento.



En edificaciones antiguas la escasez de arriostre horizontal de paredes, o bien la debilidad de los forjados empleados, provocan el desplome de los muros portantes perimetrales.

Entre sus causas, hallamos las fuerzas horizontales localizadas en una esquina del muro, el fallo de las cabezas de las vigas de un forjado (si son de madera, como consecuencia de la pudrición) o la pérdida de adherencia de los morteros que consolidan dichas cabezas en su entrega al muro. Todo ello anula el papel del forjado como elemento de control del pandeo.

En obras de reciente construcción, la pérdida de la verticalidad de un muro portante solamente puede deberse a errores de proyecto o de ejecución que han causado una no correspondencia entre la capacidad de trabajo real y las solicitaciones a que se halla sometido.

Ello puede ser debido a la superación de la esbeltez máxima de los muros, que nunca debe ser superior a 14, a no ser que los arriostramientos, refuerzos internos o estructuras adicionales garanticen la respuesta ante un posible pandeo.

En muros de carga de doble hoja, la deformación suele producirse de manera simétrica en ambas caras, con la consiguiente rotura de llaves, el abombamiento de las caras externas y la aparición de fisuras horizontales por tracción y de fisuras internas en el mismo plano que los paramentos.

La reparación de muros afectados por el fenómeno del pandeo se realiza fundamentalmente mediante la introducción de soportes o la creación de puentes y arcos. Ambos sistemas ofrecen la ventaja de poder ser embutidos dentro del propio muro.

La introducción de soportes, ya sean metálicos o de hormigón, permite aumentar la inercia de la sección transversal del muro. Una posibilidad muy eficaz es recrecer los forjados por su parte superior y anclar en la nueva capa de compresión nuevas sujeciones.

Por su parte, la creación de puentes y arcos, que arranquen de pisos inferiores o de la cimentación, permite arriostrar y controlar la esbeltez del muro.

ROTURA POR AUMENTO DE SOBRECARGA

Generalmente, en el cálculo de una estructura se adoptan coeficientes de mayoración de las cargas y de minoración de las resistencias. Por ello, la acción de sobrecargas eventuales no debería provocar, en general, ningún daño, a no ser que sobrepasen determinados límites no previstos en el proyecto.

En este caso, nos hallamos ante una lesión que suele producir fisuras fácilmente reconocibles, situadas sobre las isostáticas de compresión y producidas por las tracciones ortogonales a ellas:

- **DE TRACCIÓN**, perpendiculares al esfuerzo.
- **DE COMPRESIÓN**, paralelas al esfuerzo cuando se trata de compresión simple o curvas cuando existe momento.
- **DE FLEXIÓN**, perpendiculares o inclinadas, según la proximidad de la carga al apoyo. Aparecen en gran número y muy juntas unas con otras en la cara de tracción, disminuyendo hasta la fibra neutra.
- **POR PANDEO**, manifestándose perpendiculares a la directriz del elemento en el vano.
- **DE CORTANTE**, generadas con extrema rapidez. Pueden llevar al muro hacia la rotura. De ahí su peligrosidad.

Dependiendo de la causa de la sobrecarga, el foco de las fisuras puede situarse en el punto de aplicación de ésta o, por el contrario, en el extremo opuesto. En ambos casos, el eje de la parábola que se forma coincide con la línea de aplicación de la fuerza.

Las concentraciones de cargas provocan siempre acciones mecánicas contenidas en el plano del muro y aplicadas en un punto del mismo. Pueden ser provocadas por una gran variedad de causas, como son los empujes locales de la cubierta, la abertura de huecos en el muro para introducir las cabezas de las vigas que han de constituir un forjado o el apoyo de estas vigas directamente sobre la coronación del muro, sin que medie ningún tipo de durmiente de reparto.

El agotamiento de un muro como consecuencia de la sumisión de éste a solicitaciones excesivas está ampliamente relacionado con el material constructivo. Por ejemplo, en muros de piedra existe casi siempre la seguridad de que la respuesta mecánica va a estar muy por encima de las solicitaciones demandadas, siendo la mayor carga a soportar la del propio peso del muro. Existen no obstante excepciones, que pueden deberse a fallos en el material (betas terrosas en un sillar, por ejemplo, que pueden ocasionar la rotura en un elemento esbelto) o a roturas mecánicas accidentales.

La aparición temprana de la sintomatología permite incluso corregir la lesión durante la ejecución de la obra, antes de que entre en servicio la estructura. Si los síntomas se muestran tras su entrada en carga, es necesario proceder a una actuación de urgencia que detecte el origen y determine el refuerzo adecuado.

En ocasiones, los efectos de las sobrecargas excesivas no se manifiestan hasta mucho tiempo después de la puesta en servicio de la estructura, apareciendo finalmente cuando se superpone otra lesión de evolución progresiva, como puede ser el envejecimiento de los materiales o la disgregación de éstos como consecuencia de agresiones externas.

El sometimiento de un muro portante a tensiones excesivas obliga, como medida inmediata, a una reducción de las cargas. Bien limitando el uso, bien redistribuyendo las cargas.

En el primer caso, la limitación del peso que ejerce presión desde encima de los forjados es altamente efectiva en muros de ladrillo cerámico con grosores de 15 cm. Sin embargo, en muros de mayor grosor, el propio peso quita eficacia a esta medida.

En cuanto a la redistribución, es posible descargar las zonas más críticas del muro portante mediante la modificación del recorrido de las cargas, siempre y cuando existan otras secciones sometidas a solicitaciones menores. Al entrar en carga las zonas menos solicitadas, obtendremos un reparto más equilibrado de las tensiones en el muro.

Ello puede ejecutarse mediante el desplazamiento de las aberturas en plantas superiores, la generación de arcos de descarga, la conversión de arcos en dinteles o de dinteles en arcos, según convenga, y la mejora del trabado con las paredes transversales.

Si los forjados están constituidos por vigas (de madera, hormigón o metálicas), resulta altamente efectivo partir la luz de éstas. Si el espacio lo permite, pueden añadirse nuevos elementos verticales (pilares) que permitan trasladar una parte de las solicitaciones al suelo.

Una segunda opción es hacer entrar en carga los muros transversales ya existentes o, en su caso, aumentar las solicitaciones que reciben éstos.

Si las tensiones excesivas proceden de los esfuerzos horizontales generados por una estructura de bóvedas, pueden disminuirse mediante la reducción de las cargas, aligerando los senos si están rellenos de materiales pesados o eliminando cargas imprevistas y superfluas.

Cuando las limitaciones de uso y las redistribuciones de cargas resultan inviables o insuficientes, será necesario recurrir a efectuar derribos parciales en las plantas superiores, siempre que esta medida un tanto drástica no represente pérdidas importantes, como puede suceder en el caso de edificios con valor histórico. La consiguiente reducción de las tensiones mejorará notablemente la capacidad de respuesta de los elementos portantes.

Al igual que sucede con la redistribución de las cargas, al efectuar derribos parciales deben tenerse en cuenta las alteraciones que puedan producirse en el equilibrio del sistema constructivo.

DEFORMACIÓN Y GRIETAS EN LAS ZONAS DE DINTELES

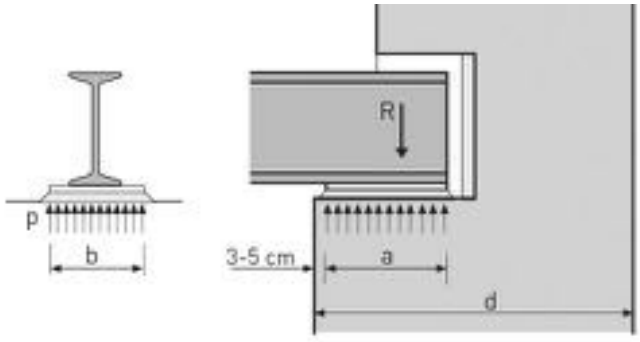
Un hueco abierto en un elemento mural supone una interrupción del cerramiento, que genera condiciones diferenciales dentro del plano mural.

Ello convierte al hueco y su entorno en una zona vulnerable, particularmente afectada por tensiones, que obligan a un tratamiento constructivo especial del mismo. En muros portantes, se detecta a menudo la presión de grandes masas y de tensiones excesivas sobre los huecos.

Ello es debido a la omisión de una solución constructiva sencilla, que consiste simplemente en hacer coincidir verticalmente los huecos.

El arco de descarga previa es el método más común y efectivo para evitar que las cargas superen la capacidad resistente del dintel, cortando y vehiculando dichas cargas antes de que actúen. Ello se consigue mediante la introducción en el muro de un arco que traslade las solicitaciones a los macizos. Aunque este sistema es el que transporta más naturalmente las cargas fuera del vano, no hay que olvidar los problemas que comporta a la hora de efectuar su cierre con carpintería.

Tradicionalmente, la madera y la piedra han sido los materiales más utilizados en dinteles. El ladrillo introdujo la técnica del sardinel, posibilitando un efecto de arco mediante piezas rectas y aumentando la resistencia del dintel gracias a una mayor capacidad de transmisión de esfuerzos al muro.



$$p = \frac{R}{a.b} \leftarrow = \mathbf{s}\ adm$$

p la tensión sobre la pared debe ser menor o igual que la admisible
R reacción de la vigueta sobre la pared (kp)
a longitud del apoyo (cm)
b ancho del apoyo (cm)
s tensión admisible en la fábrica en kp/cm²
s adm s^* / x
s^* tensión de cálculo de la obra de fábrica
x coeficiente de seguridad (1,65)

Es importante conocer las fuerzas que descarga el dintel de un vano sobre el muro de carga para no producir lesiones o deformaciones inaceptables.

Más tarde aparecen los sardineles armados, en las obras de ladrillo visto. En las estructuras lineales modernas son las propias vigas o viguetas, de hormigón armado, prefabricadas o metálicas, las que hace función de dintel o de descarga previa. De este modo, se alcanza una solución cómoda de los vanos, eliminando prácticamente las técnicas anteriores.

La deformación o rotura de un dintel se convierte en el único supuesto en que una lesión del hueco traslada sus daños al muro, provocando lesiones secundarias en la estructura y pudiendo llegar a producir hundimientos importantes en el edificio, sobre todo cuando sobre el hueco descansan forjados o cubiertas.

Hay que señalar que, en ocasiones, el agrietamiento alrededor de los huecos no es debido a una lesión propia de éstos, sino de la estructura del edificio, que se manifiesta primeramente a través de estos puntos más débiles. Por ello, no hay que desechar su rol de denuncia de lesiones externas, que pasarían quizás desapercebidas en un muro ciego.

Por ejemplo, la aparición de grietas en los ángulos del hueco se originan normalmente por movimientos de la estructura, tales como asientos o fallos en crujías internas. Su manifestación es proporcional a la gravedad del fenómeno causante.

El comportamiento propio de los muros de fábrica hace que éstos generen con facilidad y de manera natural arcos de descarga que vehiculan las tensiones hacia las secciones macizas que rodean el hueco.

Este comportamiento depende de la amplitud del hueco, el tipo de muro y la calidad del trabado, manifestándose más eficaz a partir de cierta altura.

La rotura se producirá, fundamentalmente, en dinteles excesivamente flexibles, no armados o insuficientemente armados. La deformación, por su parte, aparece cuando el dintel no puede romperse por flexión, al disponer del armado suficiente, originando en consecuencia una flecha excesiva.

La aparición de fisuras que arrancan de la línea de las jambas, de manera inclinada y simétrica, constituye la principal sintomatología. Normalmente, tales fisuras dibujan la parábola de descarga del vano, por encima del dintel. En ocasiones, aparecen también pequeñas fisuras en los apoyos, debidas al giro de los ladrillos que sirven de durmiente al dintel. Este se romperá a través de fisuras transversales, aparecidas en la parte central de la cara inferior del mismo.

En las caras laterales, estas fisuras se manifestarán verticalmente, inclinándose ligeramente hacia el centro de la luz del cargadero. Las grietas a la altura de las jambas suelen significar desplomes o presiones internas sin contrarresto adecuado.

La aparición de grietas en forma de paréntesis sobre el dintel, que pueden ir acompañadas de otras horizontales, no deben ser causa de alarma, ya que normalmente se generan por un escaso recubrimiento de la pieza estructural, de distinto coeficiente de dilatación que el material de acabado.

En muros de ladrillo, cuando la lesión tiene su origen en un cedimiento, simplemente habremos de sustituir el dintel dañado tras eliminar la causa que lo produjo. Sin embargo, en la mayoría de las roturas, deberá procederse a apuntalar con urgencia e investigar dónde acaba la influencia de las fisuras del arco de descarga, para analizar el último punto de la recomposición de la fachada, una vez sustituido el dintel. En los acabados continuos es aconsejable incorporar una tela metálica o arpillera que cubra un espacio amplio, a ambos lados de la línea de unión.

B. INTERVENCIONES EN MUROS DE CARGA DAÑADOS

Las intervenciones de reparación en muros de carga dependen, fundamentalmente, del estado y gravedad de la lesión, de su evolución y de la causa de ésta.

Creación de una estructura paralela a la ya existente	Adosado de un nuevo muro por la cara interna Estructuras auxiliares o porticadas de metal u hormigón armado
Rigidización del muro	Cosidos y grapados Mediante tirantes, vistos o encastrados Mediante cercos o arcos Aplicación de contrafuertes Fábrica armada
Consolidación del elemento	Relleno de los huecos Pasadores transversales Revestimientos armados Retícula cimentada

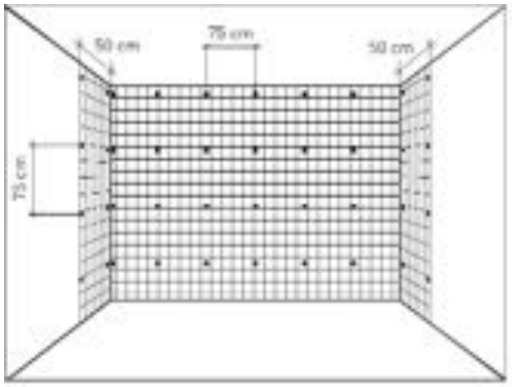
DISTINTAS SOLUCIONES PARA MUROS DE CARGA CON LESIONES MECÁNICAS O ESTRUCTURALES

En ocasiones, las medidas alcanzarán al elemento completo. En otros casos, será suficiente limitarse a zonas puntuales.

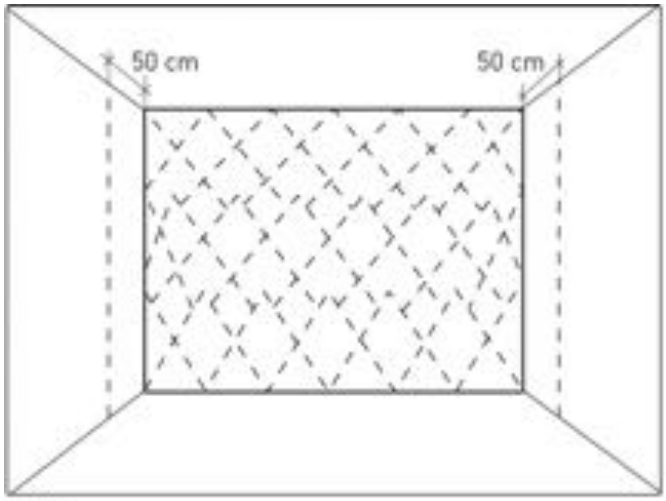
Los tratamientos que implican una sustitución parcial presentan un problema de divergencia estética (dimensiones, color, aspecto) entre los materiales de nueva incorporación y los originales.

Ello es especialmente notable en muros pétreos, pero también en elementos cerámicos. Ante la complejidad de conseguir materiales de sustitución idénticos a los originales, puede optarse por enmascarar el resultado, introduciendo revestimientos coloreados, plaquetas de chapado, etc.

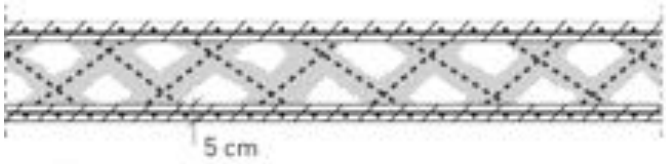
En los edificios de carácter histórico-artístico, que requieren un tratamiento más riguroso, es necesario que la restauración sea identificable, incluso cuando se hayan utilizado materiales iguales a los originales.



Refuerzo de un muro de mampostería por medio de contraparedes de hormigón armado.



vista



sección

1º Quitar el revoque viejo y dejar la mampostería a la vista.
2º Limpieza y lavado de la pared.
3º Rellenar las grietas con mortero de cemento.
4º Perforación de la mampostería
5º Inyección de mezcla de cemento en las perforaciones y colocación de barras de adherencia mejorada.
6º Aplicación de red metálica electrosoldada. Esta malla metálica debe continuar 50 cm sobre las paredes adyacentes.
7º Limpiar bien y aplicar un revoque de mortero de cemento pulverizado de un espesor mínimo de 5 cm.

Refuerzo de un muro de mampostería por la inserción de armaduras.

Cuando actuamos sobre secciones muy debilitadas, sobre todo de muros de ladrillo, será necesario adoptar medidas auxiliares de apuntalamiento. En ocasiones, ante operaciones delicadas, puede plantearse la conveniencia de realizar una consolidación previa al desmontaje. En cualquier actuación que se realice, deberemos asegurarnos de realizar una traba longitudinal y transversal adecuada entre los nuevos elementos y los anteriores.

ADICIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARALELA

En casos especialmente complejos, en los que el muro portante sigue siendo incapaz de soportar las cargas incluso tras la consolidación, puede optarse por adicionar una nueva estructura paralela a la ya existente. Esta absorberá las cargas sobrantes y descargará el muro debilitado, recuperando la seguridad estructural del edificio.

Una de las soluciones más tradicionales consiste en adosar un nuevo muro por la cara interior. Este sistema, que permite mantener prácticamente intacta la imagen externa del edificio, requiere un proyecto preciso acerca del tipo de colaboración de ambos muros en la absorción de las tensiones, cómo se realizará la continuidad y el modo en que se efectuará la conexión entre ellos.

La aparición de las estructuras metálicas y de hormigón armado ha abierto una gran variedad de nuevas posibilidades y fórmulas alternativas.

RIGIDIZACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Como consecuencia de las lesiones anteriormente descritas, la falta de rigidez se presenta como una de las principales deficiencias en muros de carga. Seguidamente, recogemos los sistemas más comunes utilizados tanto en su corrección como en su prevención.

A. COSIDOS Y GRAPADOS

Una vez estabilizada la lesión, actuando sobre las causas de ésta, es necesario proceder a "curar" su sintomatología, manifestada a través de fracturas, grietas o fisuras. Ello resulta esencial en los muros de cargas, que se manifiestan resentidos e incapaces de funcionar mecánicamente según la resistencia prevista cuando el elemento no está consolidado.

Una intervención de mínimos, que no aportará sin embargo ninguna mejora mecánica, consiste en sellar superficialmente la fisura o grieta en su cara externa. Para ello, se procede a aplicar morteros, resinas o siliconas, que protegerán el muro frente al agua y otros elementos agresivos que puedan penetrar en su interior a través de la grieta. Si se rellena en profundidad toda la sección de rotura se consigue mejorar sensiblemente el resultado.

Recuperar la continuidad de las dos partes en que se ha separado el plano requiere conectarlas mediante cosidos de obra, de madera o metálicos. Con ello, se logra que el muro vuelva a trabajar de manera solidaria. Pero es necesario adoptar medidas extremas de seguridad, trabajando por secciones reducidas, de manera progresiva, sobre todo en muros muy debilitados. De lo contrario, podría llegarse a desencadenar un colapso.

El cosido de grietas mediante grapas metálicas es el sistema más utilizado actualmente. Se trata de piezas en forma de U, de sección circular o rectangular, cuyas patas se encastran a uno y otro lado de la grieta y a una distancia de separación entre grapas de entre 30 y 50 cm. Posteriormente, se fijan con mortero. Existe una gran variedad de modelos, con medidas que oscilan entre 25 y 35 cm y que se pueden colocar de modo visto, en la superficie de la pared, o encastradas mediante una regata.

Las ligaduras de obra son sobre todo usadas en muros de gran grosor, como las paredes de tapia o de piedra de doble hoja. Consisten en desmontar el muro, cuidando de hacerlo en forma de traba y siguiendo para ello la zona quebrada. Posteriormente, se reconstruye con ladrillos nuevos y bien trabados.



Técnica tradicional para detener el fisuramiento progresivo de muros de piedra o ladrillo. Muchas de estas grietas se originan por asientos diferenciales, sismos o putrefacción de los elementos originales de arriostre. Esta técnica utiliza cinturones y chapas de acero que evitan los desplazamientos.

Un método históricamente usado como preventivo es el cosido de madera, consistente en intercalar piezas de madera resistente en el sentido de las hiladas, en el momento de su construcción.

Un último tipo de cosido es el que se realiza mediante la inyección de una resina epoxídica de dos componentes a través de sondas alojadas en la grieta, previo sellado de sus labios con silicona. La resina se introduce a través de un inyector de émbolo, insertado en la sonda más inferior. Cuando la preparación fluye por el inmediatamente superior, que actúa como rebosadero, se procede a cerrar el primero y proseguir por el segundo. Y así sucesivamente hasta rellenar completamente la grieta. Puede terminarse colmatando la grieta con algún material que disimule la intervención practicada, de igual calidad de acabado que el resto de la superficie.

Como productos reintegradores, se utilizan normalmente los morteros hidráulicos, de óptima adherencia y comportamiento, y los de resinas epoxídicas, acrílicas y de poliéster.

B. TIRANTES

Se trata de piezas generalmente metálicas o de madera que se aplican en el plano del muro de carga con el objeto de absorber las tensiones originadas por el empuje de arcos, bóvedas y cubiertas y de contrarrestar sus deformaciones. Son aplicables tanto en elementos o secciones pequeñas como de grandes dimensiones.

Tradicionalmente, los tirantes habían sido una solución de tipo protésico, exteriormente visible. Sin embargo, la evolución posterior ha dado lugar a sofisticados sistemas de perforación que permiten esconder las piezas en el interior del muro.

A menudo, encontramos dos componentes: los anclajes, que recogen las tensiones de los muros; y el tirante propiamente dicho que las contrarresta trabajando siempre a tracción. Pero hallamos también soluciones mixtas, que combinan el trabajo de anclajes metálicos con el de las vigas de los forjados. Y hasta un tercer componente, los dispositivos de tesado, que pueden ser desde simples pasadores hasta cuñas de hierro forjado o tensores de rosca invertida, entre otros.

La gama de anclajes existente en el mercado es amplísima, con modelos que van del simple tallo transversal a piezas de gran superficie de transmisión o de tipo más decorativo.

A la hora de optar por este sistema de rigidización, hay que comprobar que la sección del muro donde se aplican los anclajes sea capaz de soportar las tensiones adicionales creadas por éstos. Tampoco hay que perder de vista las ventajas y riesgos que comporta el hecho de utilizar piezas encastradas, es decir, ocultas y difícilmente registrables.

C. CERCOS

Este método consiste en circundar en toda su longitud el conjunto de muros y forjados, a modo de cinturón, mediante unos arcos que pueden ser de madera, metálicos o de hormigón armado, construidos a la altura de los forjados o a nivel de cubierta.

Los cercos de mayor uso son los de hormigón armado, muy efectivos y de sencilla aplicación en intervenciones a nivel de cubierta y en edificios de poca altura. Consisten en insertar un armadura, de grosor variable, en el interior de los muros, rellenando con hormigón los huecos que puedan quedar. A pesar de la facilidad de adaptación de este material, resulta difícil conseguir una continuidad óptima cuando la ejecución se realiza a la altura de los forjados. Además, es posible que se produzca un debilitamiento del muro.

Los arcos de madera, aunque ofrecen buenas soluciones a nivel de traba horizontal, presentan problemas al romper la continuidad vertical de las paredes. Además, con el tiempo pueden manifestar pudriciones en las cabezas de viga encastradas en los muros. Su comportamiento es, sin embargo, muy adecuado en los coronamientos de pared y como base para la estructura de cubierta.

Los cercos metálicos se configuran como una especie de tirantes colocados paralelamente a los muros, por una sola cara o por ambas.

D. CONTRAFUERTES

Este sistema, ampliamente utilizado en la historia tanto como elemento constructivo preventivo como en la reparación de estructuras dañadas, consiste en ampliar puntualmente o linealmente el muro, en los puntos concretos de aplicación de las tensiones o donde éste presente deformaciones importantes.

Mientras que los tirantes trabajan a tracción, los contrafuertes lo hacen a compresión, absorbiendo exactamente los mismos esfuerzos horizontales que aquéllos y trasladando la resultante inclinada hasta el terreno.

La particular forma de trabajo de los contrafuertes, en los cuales las tensiones se vehiculan de manera oblicua, obliga a proyectarlos de modo que se eviten los esfuerzos de flexotracción en los morteros y las piezas. Ello se consigue colocando hiladas perpendiculares al sentido de las tensiones que soportará el contrafuerte, lo cual permite ajustar el dimensionamiento de éste. Por otra parte, hay que extremar el cuidado al realizar su conexión con el muro existente. La traba entre ambos elementos debe evitar el punzonamiento en la parte superior.

Frente a cuadros patológicos en los que se presentan abombamientos importantes del muro, el contrafuerte es una de las pocas opciones que permiten mantener la verticalidad del muro. En algunos casos, su uso es simultáneo con el de los tirantes.

E. ARMADURAS PARA FÁBRICA

Se denomina "fábrica armada" a los muros regularmente armados por tendeles con armaduras prefabricadas. Este sistema previene la fisuración y permite dotar al muro de una capacidad a tracción homogénea, sin alterar sustancialmente las cualidades del material de la fábrica original (exceptuando la tracción añadida). Además, es posible mejorar las prestaciones técnicas frente a solicitaciones localizadas, al colocar mayor cantidad de armado en la zona concreta que lo demande. Ello otorga a este método amplias aplicaciones frente a asientos diferenciales del terreno bajo muros de carga, flexiones de vigas y forjados, contracciones, dilataciones y retracciones de paños largos y concentración de tensiones alrededor de huecos y bajo cargas puntuales.

Las armaduras, que deben ser distribuidas homogéneamente, aprovechan las dos direcciones tensionales que ofrece el tendel (longitudinal y transversal). El EC-6 recomienda armar con el 0,05 % de la sección en muros de hasta 19 cm y con el 0,03 % en muros más gruesos.

En muros capuchinos, el armado puede aplicarse en cada una de las hojas de manera independiente o bien triangulando conjuntamente. Con esta segunda opción se incrementa notablemente la resistencia del muro.

CONSOLIDACIÓN DE MUROS DE CARGA

A. CONSOLIDACIÓN MEDIANTE RELLENO DE LOS HUECOS

La consolidación del muro de carga mediante el relleno de huecos aporta un incremento de la capacidad portante de una determinada sección de éste. Ello permite contrarrestar las situaciones de insuficiencia manifestadas mediante la aparición de grietas verticales de compresión, logrando en ocasiones recuperar una capacidad interna debilitada. O aumentar una capacidad insuficiente para soportar las cargas reales.

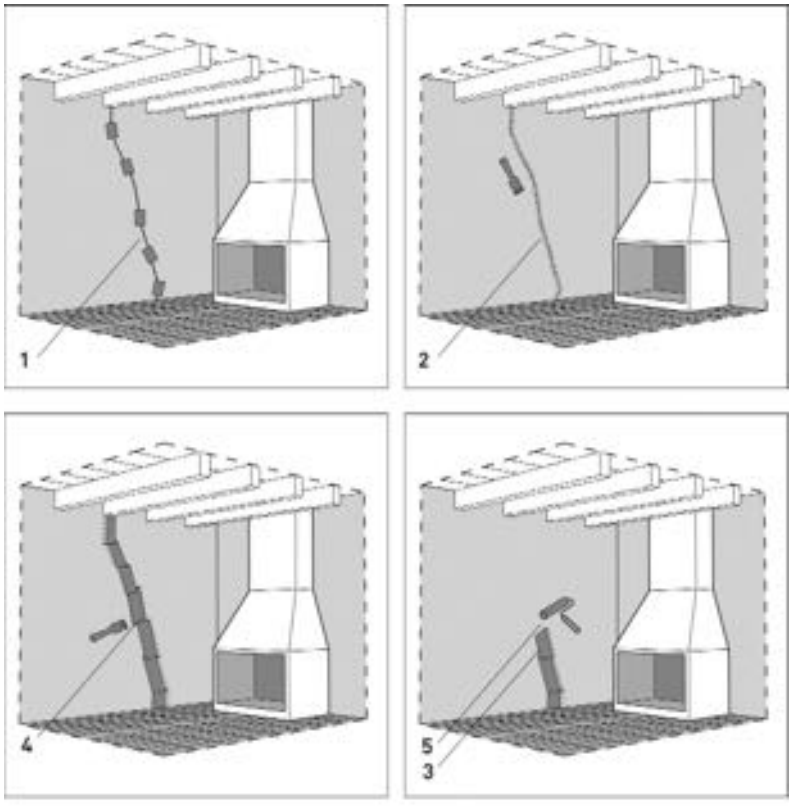
Se trata de sistemas de consolidación complejos, que oponen un alto grado de incertidumbre acerca de su efectividad. Por ello, es preciso realizar siempre un estudio previo, que determine la sección del muro a intervenir y el proceso a seguir.

Y un estudio posterior, que valore los resultados obtenidos. Si se considera necesario, se recurrirá a la realización de pruebas sónicas, ultrasónicas y tomografías y a la extracción de testigos que permitan comparar el grado de desagregación inicial y de consolidación posterior.

El relleno debe aplicarse sobre una superficie amplia y consiste en la introducción de materiales ligantes en el interior de los muros, que cumplen la doble función de colmatar los huecos y de desplazar otros materiales extraños. Tradicionalmente, los preparados (morteros fluidos de cal o de cemento) se han introducido aplicando presión por gravedad.

Las técnicas más actuales incluyen la inyección a presión y el uso de resinas sintéticas y de materiales consolidantes de última generación. Pero se trata de métodos que exigen adoptar mayores precauciones, ya que una presión excesiva o descontrolada provocaría nuevos daños en el muro, de magnitud considerable.

La presión por gravedad es más adecuada para aplicaciones en muros abiertos, que aceptan la infiltración de material cimentante por encima del 10 % de su volumen. Sin embargo, en muros cerrados, que admiten una infiltración de entre el 5 y el 10 % de su volumen, es más conveniente el uso de las inyecciones a presión. Por debajo del 5 % de su volumen, los muros se consideran infiltrables.



Reparación de una grieta en muro portante de mampostería desde el interior.
1. Cocido de la grieta con elementos metálicos cada 30 cm. Estas grampas deben penetrar 2/3 del espesor del muro 2. Relleno de la grieta con material inerte 3 y 4. Aplicación de una malla textil y revoque arriba. Repetir esta operación variando la orientación de las fibras de la malla 5. Pintura final.

La complejidad del sistema y la necesidad de adoptar medidas de seguridad que eviten deformaciones indeseables obliga a apuntalar cuidadosamente la estructura y a realizar las operaciones por etapas. El trabajo debe iniciarse en la sección inferior, rellenando de abajo hacia arriba y consolidando siempre sobre zonas ya consolidadas.

B. PASADORES TRANSVERSALES

Este sistema se aplica sobre todo a muros de doble hoja en cuya construcción no se previó una traba que garantizara el trabajo solidario. La mala distribución de las tensiones puede comportar, con el tiempo, una deformación de ambas hojas, en forma de abombamiento.

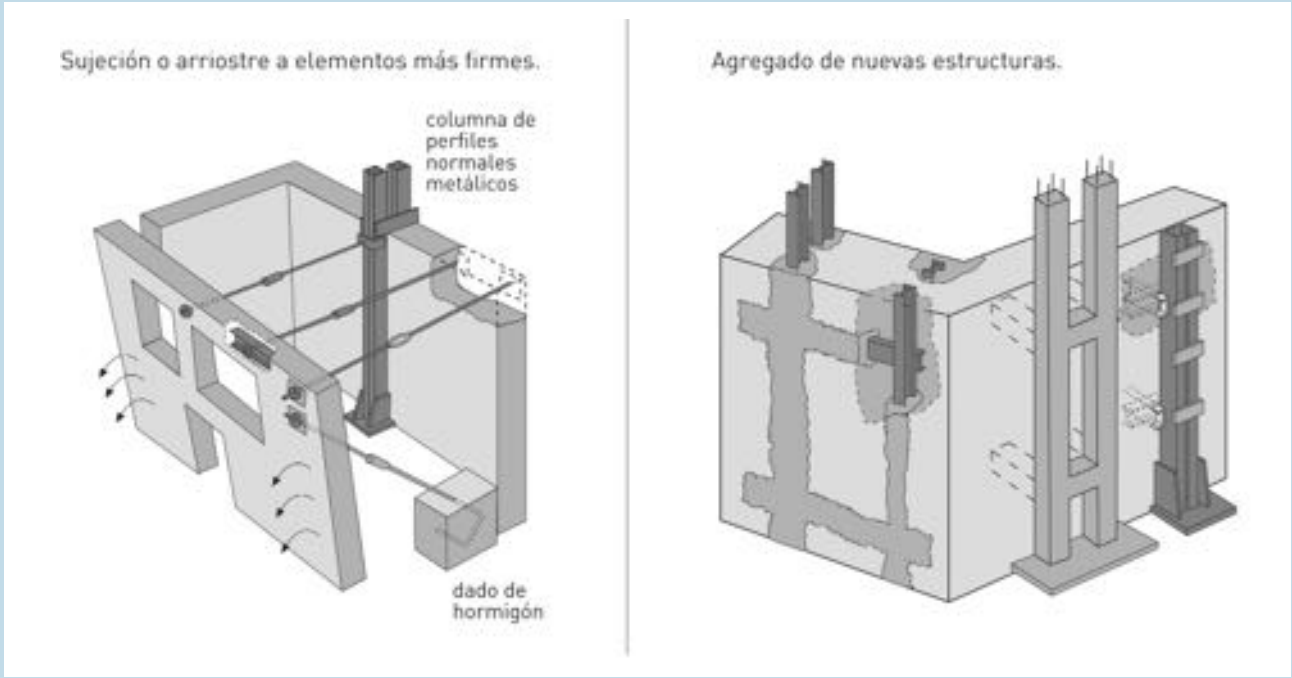
La colocación de pasadores metálicos, a modo de tirantes que atraviesan el muro de un lado a otro, permite atar la zona debilitada, contrarrestando y reduciendo las tensiones existentes y aumentando la capacidad de carga del muro.

Con un rol más preventivo, se utilizan los pasadores de piedra o de madera, colocados normalmente en obra. Estos elementos, de la misma longitud que el grosor del muro, se insertan en éste formando una traba y solidarizando ambas caras. Esta técnica tiene pocas aplicaciones en la reparación, ya que en la mayoría de los casos debería procederse a desmontar la pared.

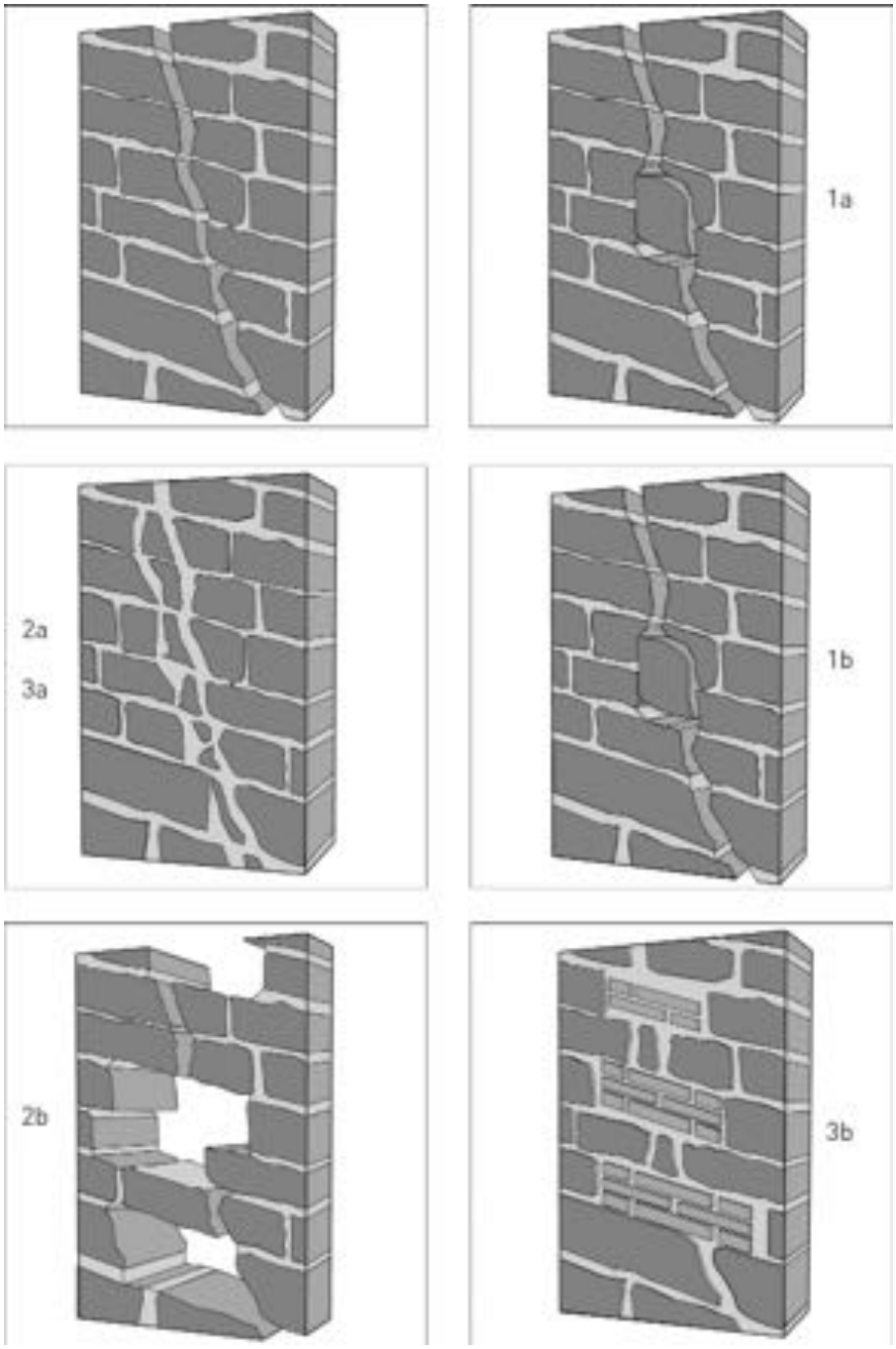
C. REVESTIMIENTO ARMADO

Se trata de la creación de una especie de sandwich, con la colocación en cada cara del muro de un revestimiento armado formado por una placa de hormigón armado con malla electrosoldada, de grosor superior a 5 cm y, en general, a 1/20 del muro a reforzar. El adosado se realiza con la ayuda de un encofrado, facilitando el contacto mediante un picado previo del muro.

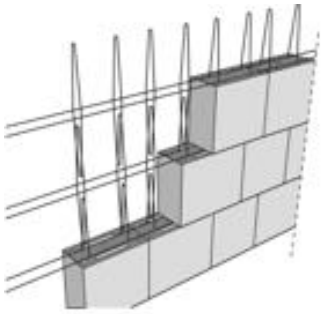
La conexión entre las dos placas situadas en lados opuestos produce una mejora considerable de la capacidad a compresión del muro. Sin embargo, la colocación de revestimientos armados únicamente en una de las caras no produce mejora estructural alguna.



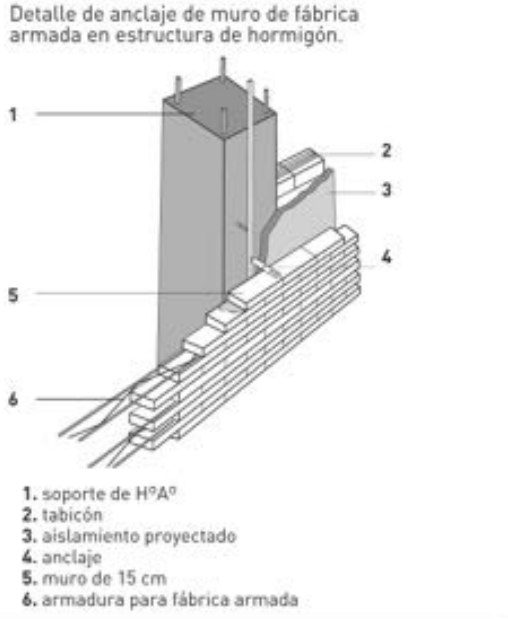
Refuerzo y apuntalamiento de muros de carga con problemas mecánicos y desplome.



Reparación de una grieta en un muro de carga de piedra. En la reparación a la grieta se abre, limpia y rellena nuevamente con material de la misma resistencia que el muro original. La operación b es más completa ya que a la reparación a se le suma un "cosido" de la grieta con ladrillos nuevos. Esta última opción es preferible si no se está seguro de que la grieta esté inactiva.



Esquema de una fábrica armada con armadura espacial o tridimensional de marca registrada. La misma se compone de dos alambres horizontales soldados por anillos verticales distanciados regularmente.

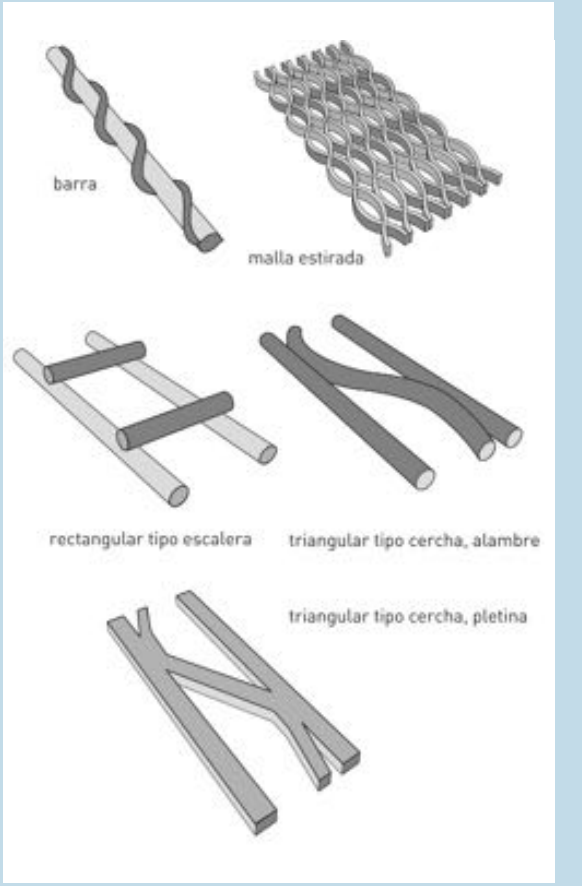


Esquemas que ejemplifican el uso de la fábrica armada en los cerramientos exteriores y sus encuentros con los elementos portantes.

D. RETÍCULA CIMENTADA

Esta técnica, que en realidad combina el cosido con la consolidación mediante pasadores transversales, es una de las más utilizadas en muros de carga. Permite conectar dos tramos de muro mediante la perforación de éste en múltiples direcciones y la introducción de barras de acero, de 10 a 20 mm de diámetro, fijadas posteriormente con morteros. Las perforaciones, de 30 a 40 mm, se realizan de manera oblicua al muro, en coincidencia con las juntas, permitiendo de este modo disimular con facilidad la intervención realizada.

Las retículas cimentadas aportan una considerable rigidización del muro, otorgando un comportamiento unitario que supone una mejora de la capacidad de trabajo.



Diversos tipos de armaduras para fábrica armada.

La técnica del postensado aporta una variación a esta terapia al permitir crear una tensión de compresión en los cables, en la intensidad y sentido deseados. Finalmente, se inyecta pasta cimentante en la perforación.

MUROS NO PORTANTES

Dado que el muro de cerramiento no portante no efectúa trabajo resistente alguno previsto en los cálculos, no reviste lógica hablar de lesiones mecánicas en estos elementos.

No obstante, sí debemos tener en cuenta las consecuencias de acciones mecánicas que actúan sobre estos muros que, por su propia técnica constructiva, no están proyectados para soportar cargas estructurales. La aparición de esfuerzos de tracción origina con facilidad fisuras y grietas cuando el cerramiento se ve incapacitado de soportar las tensiones generadas.

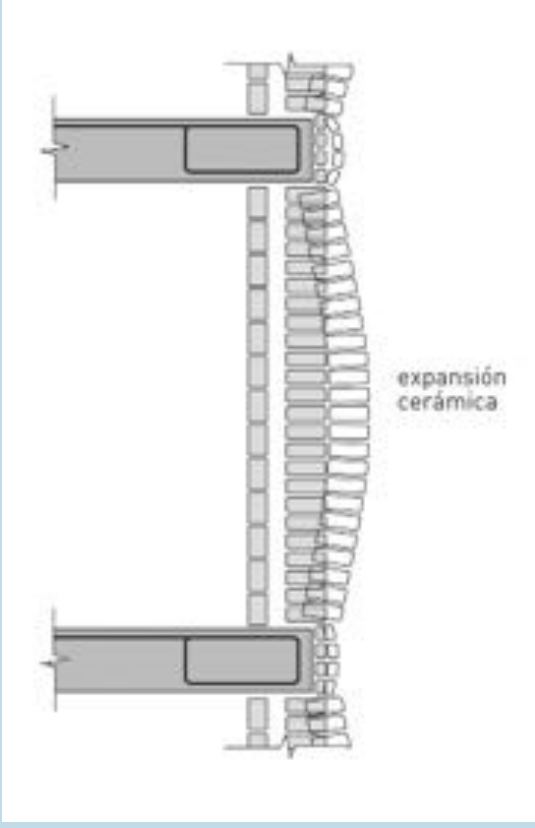
Al tratarse en general de muros de poco espesor y de carácter superficial y necesitar un apoyo lineal continuo en su base, la rotura puede llegar a atravesar todo su grueso, dividiendo el elemento unitario original en dos o más partes.

Estos fragmentos empiezan a actuar de modo independiente, tanto física como mecánicamente, manifestando movimientos y variaciones dimensionales divergentes. Ello dificulta la consolidación y reparación del muro.

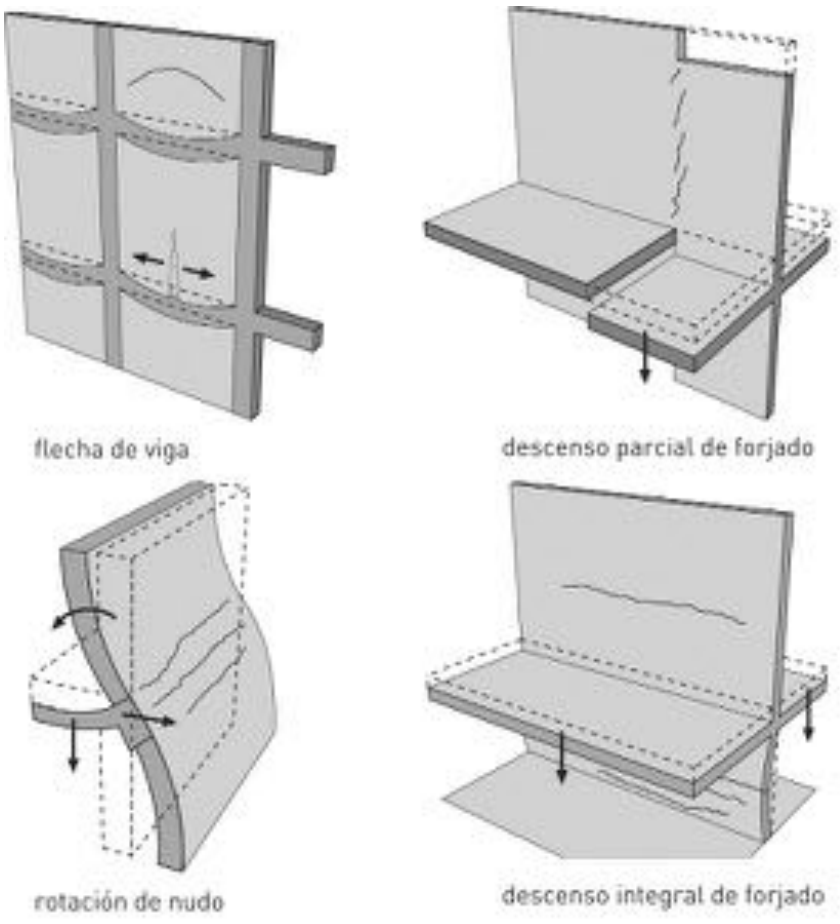
En general, y siempre desde el punto de vista mecánico, las lesiones que afectan con mayor frecuencia a este tipo de cerramientos son debidas a la incompatibilidad entre la rigidez del plano mural y las deformaciones excesivas que pueden alcanzar los elementos de la estructura.

Los estados tensionales introducidos por estas deformaciones pueden llegar a ser superiores a los considerados para los cerramientos, provocando la fisuración de éstos.

Debemos tener en cuenta, al hablar del comportamiento de los cerramientos exteriores no portantes ciertas características constructivas propias y determinantes.



Abombamiento del cerramiento exterior de un edificio con estructura porticada debido a la retracción térmica del hormigón armado, a lo que a veces se suma una flecha excesiva del pórtico.



Flechas en vigas y forjados de hormigón armado y sus efectos sobre los muros de cerramiento.

Generalmente, se trata de un muro que envuelve el esqueleto resistente de forjados y pilares en un edificio de altura, configurado generalmente a partir de pórticos de hormigón armado.

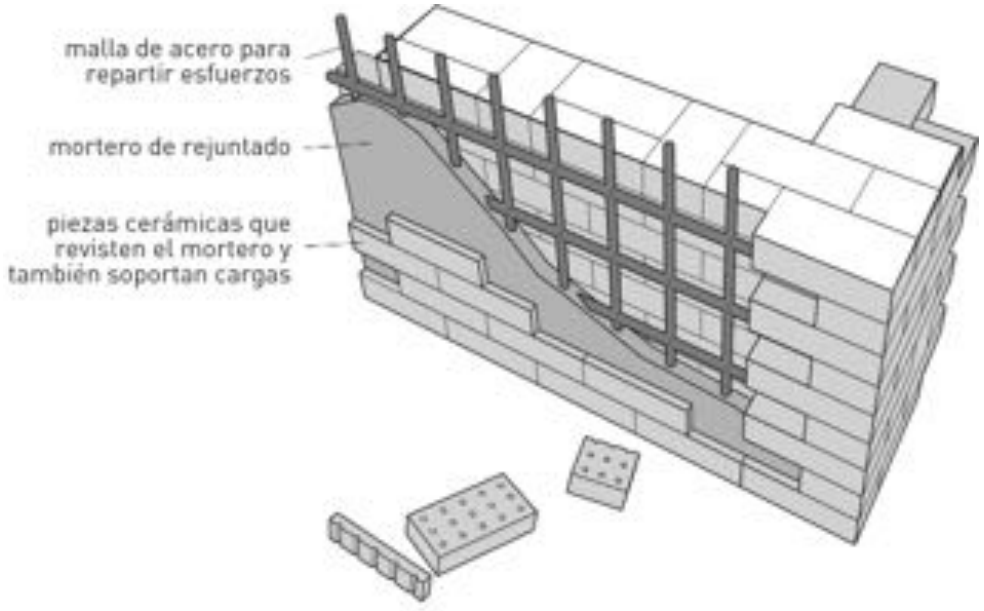
Esta envoltura está a menudo compuesta por una sola hoja exterior que se apoya en el pórtico de forma semivolada en 2/3 del ancho del 1/2' del ladrillo de 11,5 cm. Es decir, el cerramiento está semiapoyado, lo cual permite chapar con plaquetas de ladrillo de menos de 3 cm de grosor.

Presente en tres de cada cuatro edificios de España, este tipo de muro no está calculado para soportar presión alguna, ni siquiera la del viento. La principal lesión surge por las diferencias de comportamiento entre la estructura y el cerramiento.

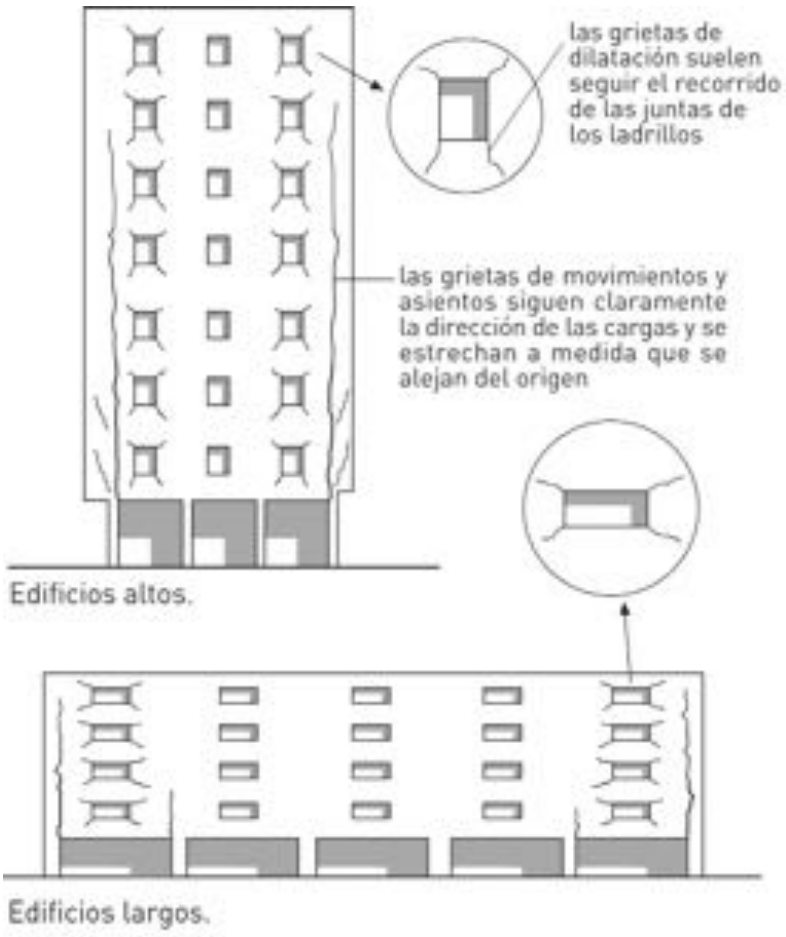
Las lesiones por asiento generalizado no suelen afectan a los cerramientos no portantes, que transmiten al cimiento únicamente la carga de su peso propio. Sin embargo, sí puede suceder que un asiento puntual de la estructura repercuta en los cerramientos.

Por ejemplo, el descenso de una zapata que produce la bajada vertical del pilar que le transmite las cargas provoca una falta de asiento puntual en el extremo del cerramiento en contacto con el pilar. El efecto más corriente es la generación de un semiarco de descarga o la aparición de grietas inclinadas superpuestas, típicas de los esfuerzos a cortante.

Si el muro es pasante por delante del pilar, el asiento puntual de una zapata provocará grietas verticales en el eje del asiento, de esfuerzo cortante en ambos lados o una grieta en arco de descarga cuando la repercusión horizontal es importante.



Reparación de un muro con lesiones mecánicas mediante el taqueado con cerámica.



En paños largos de cerramientos exteriores sin juntas de dilatación, ni de movimiento (verticales u horizontales) la aparición de grietas y fisuras es sólo cuestión de tiempo.

A. CAUSAS DE LAS LESIONES

DAÑOS POR DEFORMABILIDAD EXCESIVA DEL FORJADO

Este fallo, que es el origen más frecuente de grietas en cerramientos exteriores no portantes, se presenta cuando éstos se apoyan en estructuras porticadas. Los pórticos, de acero o de hormigón armado, posibilitan el diseño de estructuras resistentes y al mismo tiempo muy flexibles, tendiendo a llevar al edificio hacia la esbeltez.

Los pórticos esbeltos se complementan con forjados planos, que suponen un importante ahorro y que sustituyen a los de vigas de canto, soportando cerramientos entre 25 y 30 cm de canto.

El frecuente empleo de un armado escaso e incluso la inexistencia de la capa de compresión en la cara superior implican un agrietamiento más que probable en la albañilería.

Y es que, frecuentemente, estos forjados flechan más de lo necesario. Teniendo en cuenta que todo elemento sustentante de un cerramiento no estabilizado por cargas verticales (no portante), debería limitar su flecha a 5 mm en valor absoluto.

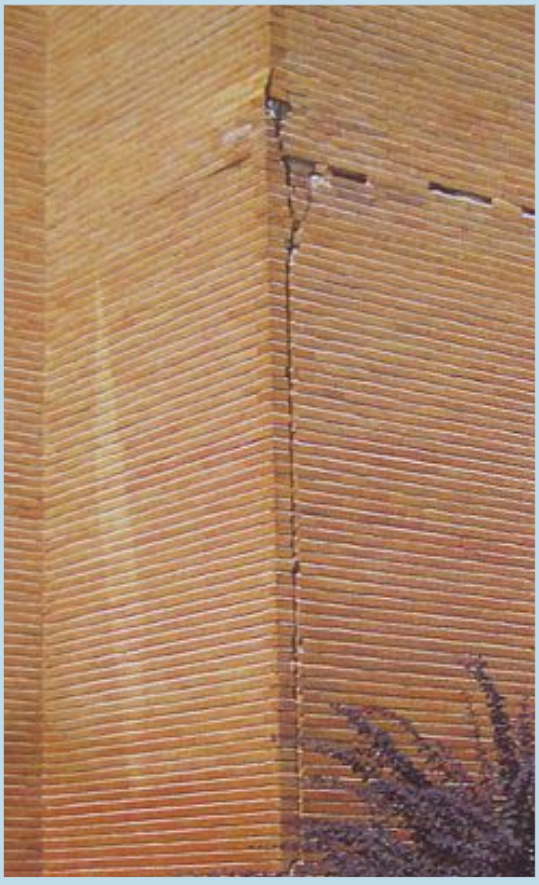
Estamos pues ante una lesión que, originada en el fenómeno de la flexión, ocasiona una deformación excesiva del forjado. Pero que además viene acompañada por una torsión en el nervio de borde.

Aún cuando los nervios de bordes de los forjados hayan sido suficientemente armados, si su canto y la inercia de su sección lateral no son adecuados, aparecerán flechas diferidas que generan fisuras parabólicas en la parte baja del cerramiento.

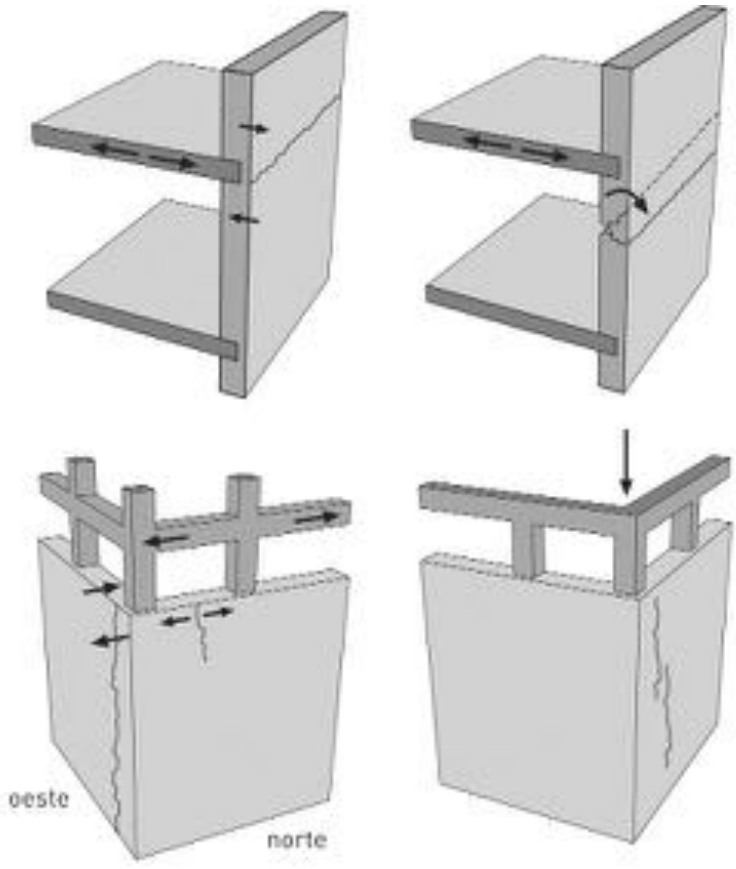
Estas fisuras, muy tendidas, arrancan inclinadas de los extremos del nervio de borde, donde suelen mostrar un escalonamiento, y se dirigen simétricamente hacia las esquinas inferiores de los vanos.

La deformación del forjado en el sentido perpendicular a la fachada generará torsiones en las vigas planas de borde, pudiendo llegar a causar el desprendimiento de los ladrillos de chapado y a comprometer la estabilidad de la hoja exterior del cerramiento, generalmente semiapoyada.

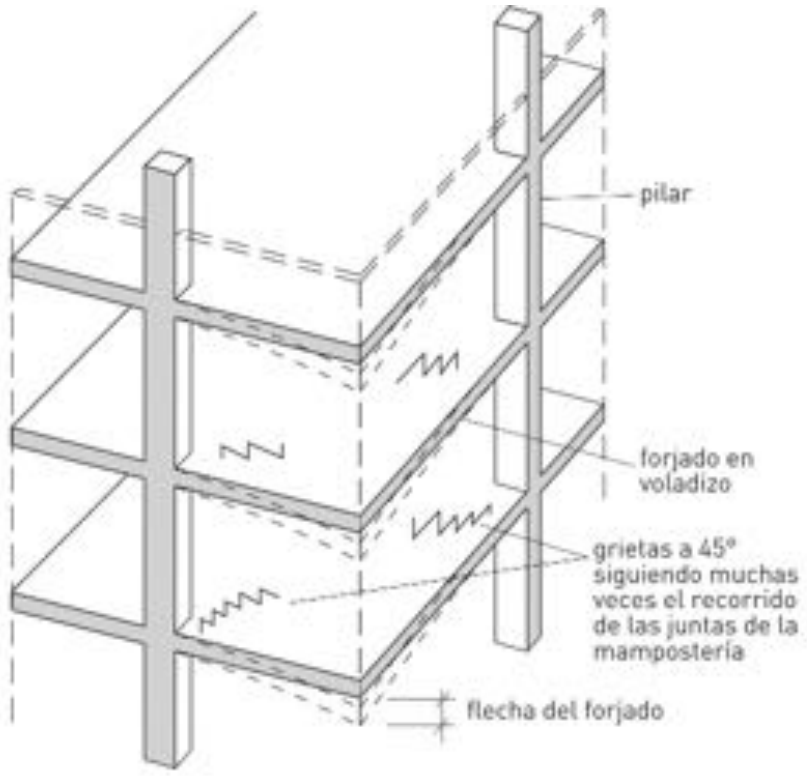
La inexistencia de juntas de movimiento debajo de cada forjado provoca además una concentración de las cargas sobre los cerramientos de la planta baja, generando esfuerzos cortantes capaces de partir verticalmente las pilastras, tangencialmente al soporte.

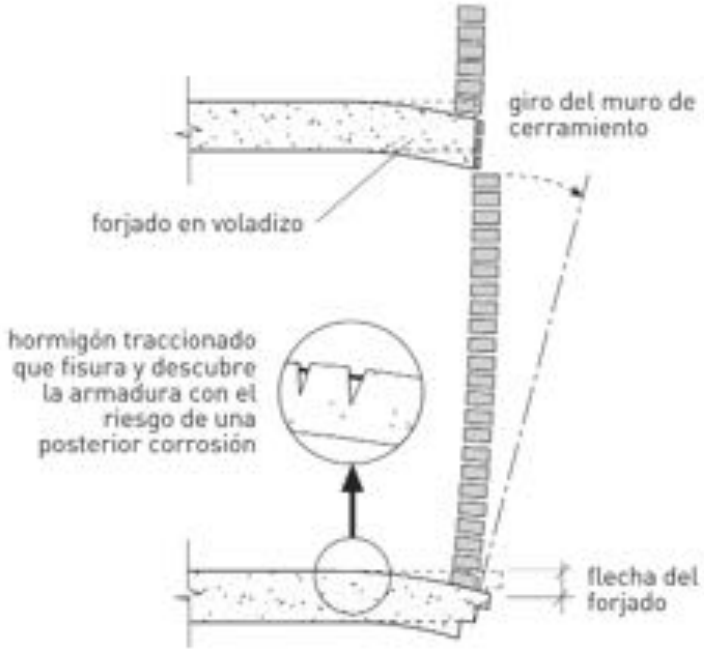


Grietas típicas de los movimientos higrotérmicos. La grieta vertical responde a comportamientos distintos de las caras del muro mientras que la horizontal aparece como diferencia de movimientos entre la estructura portante y el cerramiento de ladrillos.



Movimientos y deformaciones horizontales de la estructura y sus efectos sobre los muros de cerramiento.





Un cálculo o una ejecución deficiente de los elementos estructurales en voladizo siempre acarrea lesiones posteriores de costosa reparación.



La dilatación térmica de la estructura portante de hormigón armado ha logrado romper el muro de ladrillos debido a la inexistencia de juntas de dilatación.

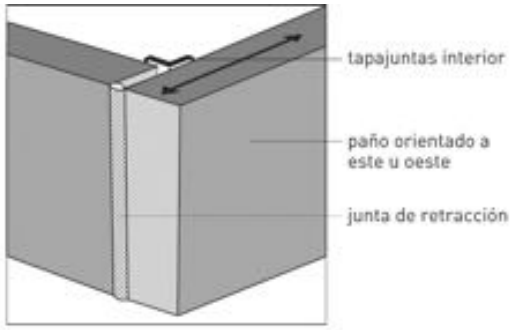


La imposibilidad de dilatar de este tabique de fachada ha provocado no sólo su rotura sino también su posterior colapso.

Si en la primera planta se han volado miradores de fábrica respecto del frente del pórtico de fachada, prolongando las viguetas del forjado, la acumulación de parte de las cargas transmitidas por las plantas superiores provocará un desequilibrio del paño, cargado de forma excéntrica. Si el voladizo flecha excesivamente, es casi seguro el agrietamiento en los paños de fábrica perpendiculares a la fachada o en el encuentro de los paños laterales con los frontales.

En balcones retranqueados volados, pueden llegar a superponerse hasta tres incrementos de flecha, al arrancar éstos sobre una viga paralela a la fachada, que a su vez descarga por ambos extremos a los brochales correspondientes.

En la diagnosis, debe tenerse en cuenta que las fisuras provocadas por la deformación excesiva de los forjados pueden confundirse en muchas ocasiones con las causadas por asientos diferenciales de la cimentación. En la prevención, puede apuntarse que un armado de los cerramientos de ladrillo ayudaría a contrarrestar las deformaciones de la estructura, dado el control de la fisuración que logran estos sistemas.



Solución constructiva para el encuentro de dos muros. La inserción de una junta de retracción impide la fisuración del revoco o del mismo muro.

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS

Los esfuerzos higrotérmicos, provocados por variaciones de temperatura y de humedad, influyen decisivamente en el comportamiento de los diversos componentes de la edificación, acusándose en distinto grado según los periodos climáticos y las distintas fases en la vida del edificio. Afectan de manera especial a los cerramientos de fachada, al estar éstos más directamente expuestos a las condiciones meteorológicas.

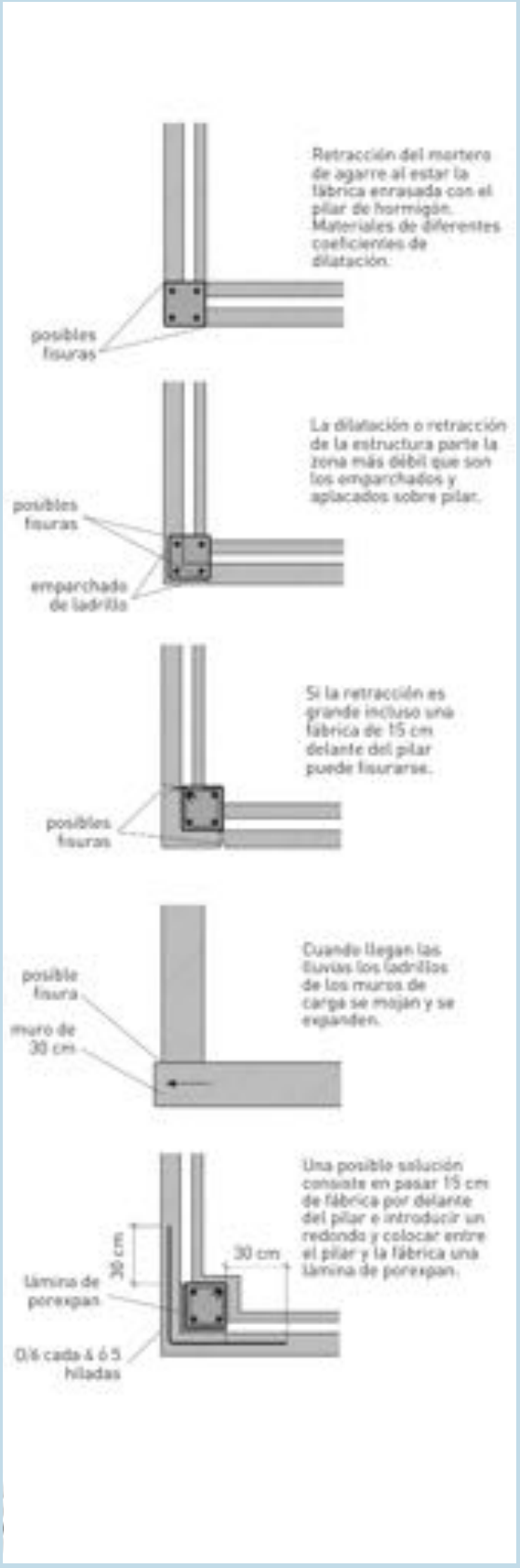
Las variaciones de temperatura provocan retracciones y dilataciones en la cerámica, que se manifiestan por movimientos de tracción básicamente horizontales, que aparecen en el cerramiento en el momento de la contracción. El perímetro de la fachada se lesionará si la estructura ortogonal coarta su libertad de movimientos, manifestándose a través de grietas verticales. Los movimientos verticales quedan contrarrestados por el propio peso de la unidad constructiva.

Estas variaciones revisten cierta reversibilidad, alternando contracciones y dilataciones. Hay que tener en cuenta, sin embargo, la superposición de las contracciones causadas por la humedad.

Las fachadas expuestas a mayores dilataciones son las orientadas al oeste y sur, mientras que las orientadas al norte son las que presentan menores variaciones dimensionales.



Cuatro ejemplos de la magnitud de los esfuerzos de dilatación de origen térmico y las consecuencias de no insertar juntas de dilatación o expansión.

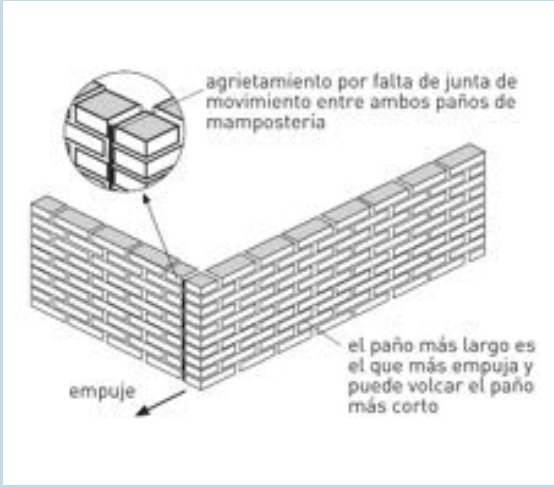


Distintos esquemas de encuentros entre pilar de hormigón y muro de fábrica de 15 cm. Se indican las posibles fisuras que se producen por los movimientos higrotérmicos de los distintos materiales.

Cerramiento y estructura funcionan generalmente como una sola unidad constructiva a efectos de dilataciones y contracciones. Sin embargo, su comportamiento es muy diferente. Mientras que el cerramiento portante se estabiliza por su propio peso y por las cargas verticales que recibe, los cerramientos no estructurales, simplemente apoyados o colgados, no cuentan con la estabilización que produce la carga. Por ello, las dilataciones y contracciones son más libres y actúan en toda su intensidad. Por otra parte, existe cierta independencia entre ambas unidades constructivas, lo cual facilita la independencia de sus movimientos térmicos.

Cuando el cerramiento se limita a una pared envolvente de poco espesor el problema se agrava. La rotura térmica se produce por tracción pura, en la dirección de la hilada, buscando el punto de menor resistencia. Normalmente se producirá en la junta vertical, en la interfase mortero-cara lateral del ladrillo y en la vertical de las ventanas.

Los huecos de ventanas conforman áreas especialmente sensibles, al producir una discontinuidad en el paño. Las tensiones se acumulan inevitablemente en las esquinas de las ventanas, que pueden llegar a agrietarse diagonalmente.



Deformación en la esquina de un cerramiento exterior de mampostería.

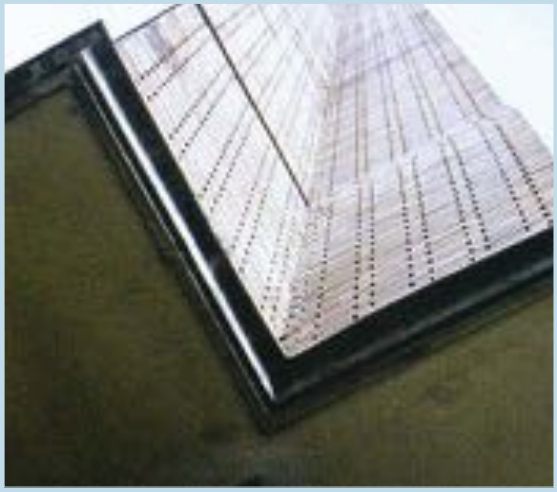
Los movimientos de la estructura afectan también a emparchados y aplacados sobre pilares, siendo los más afectados los de última planta. Incluso con un cerramiento cuidadosamente construido que sobrepase el pilar por delante en medio pie, puede aparecer igualmente la fisuración cuando la retracción es muy fuerte.

La dilatación térmica de un muro de cerramiento puede también provocar el empuje del muro perpendicular al primero, produciendo en aquél grietas verticales.

Ello sucede con frecuencia en el encuentro entre dos fachadas que confluyen en esquina. La grieta, que aparece sobre la fachada que menos se dilata, suele ser limpia, ya que el esfuerzo es lineal y uniforme, y más marcada en las partes altas del edificio.

Las fisuras de origen térmico son también frecuentes en estructuras de vigas metálicas cuyo cerramiento de ladrillo no es capaz de absorber las dilataciones de la estructura.

Recibiendo la fábrica con un mortero de baja dosificación en cemento puede amortiguarse parcialmente este tipo de lesiones.



Las caras más asoleadas son las que más sufren deformaciones de origen térmico.

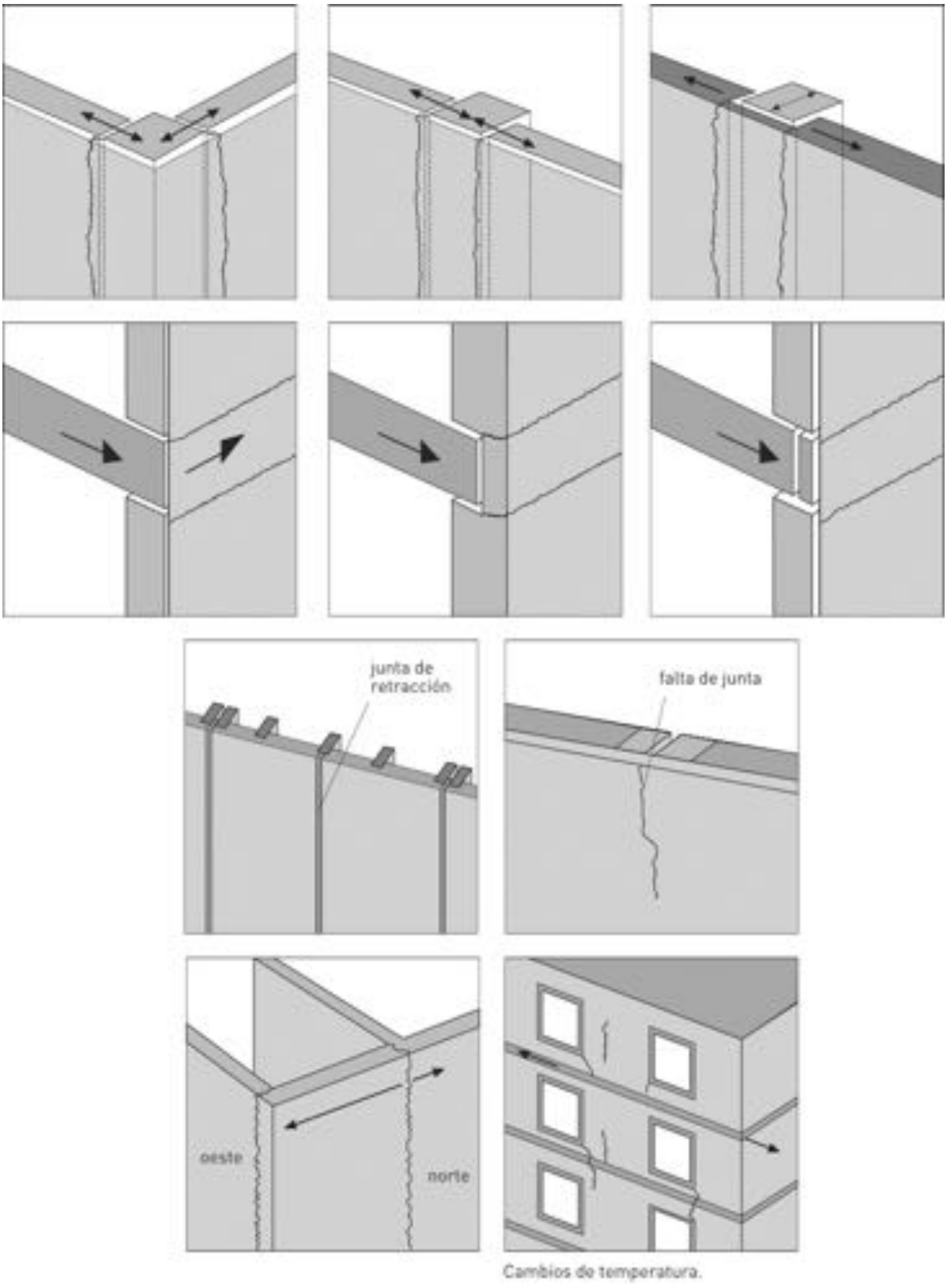
Pero no existe mejor prevención que las juntas de dilatación, que pueden ser incluso incorporadas "a posteriori" mediante corte mecánico, gracias a la verticalidad de las fisuras. Estas juntas han de observar una distribución homogénea, con distancias máximas entre unas y otras.

En todo caso, toda junta estructural debe ser simultáneamente una junta de dilatación, siendo conveniente situar una junta de dilatación a mitad de la distancia que media entre dos juntas estructurales. Dado que se conoce el coeficiente de dilatación de los distintos materiales, es posible dimensionar el ancho de las juntas de dilatación en función de la longitud del paño.

Si no es posible realizar juntas, pueden amortiguarse los efectos de los movimientos térmicos colocando un material intermedio entre viga o pilar y cerramiento.



Los distintos coeficientes e inercias térmicas de los materiales son la base para comprender el origen de estas grietas.



Esfuerzos higrotérmicos de la estructura y los muros de cerramiento. Consecuencias sobre revoques y vanos por falta de diseño constructivo.

GRIETAS PRODUCIDAS EN MORTEROS EN ESTADO PLÁSTICO

Los morteros muy ricos en cemento o con arena conteniendo impurezas y el exceso de agua en la formulación del mortero, provocan en época calurosa y en muros de gran superficie un fácil agrietamiento como consecuencia de los movimientos de dilatación y retracción.

En estado plástico, en los primeros días de fraguado, las fisuras que surgen suelen dibujar la fisonomía del pórtico, con una marcada fisura horizontal y dos verticales paralelas a los pilares.

En las ventanas, las grietas aparecen en las esquinas, pudiendo llegar a partir la fábrica en dos. Afortunadamente, se trata de fisuras muertas, que dejan de evolucionar poco después. Bastará con sellarlas.

Para reducir la fisuración horizontal, es recomendable no ejecutar la última hilada de ladrillo hasta que el mortero haya asentado.

Asimismo, existen aditivos que confieren una mayor plasticidad al mortero, evitando la retracción.

ROTURA EN UNIÓN DE MATERIALES POR SU DISTINTO COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Los cambios dimensionales ocasionados por la acción térmica pueden provocar problemas de comportamiento divergente entre componentes estructurales y no estructurales.

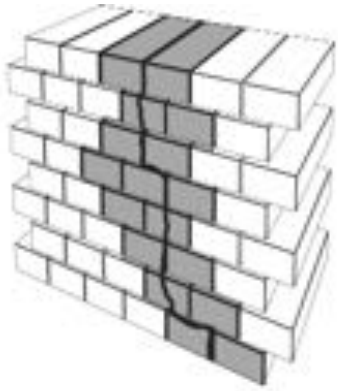
No se trata de que los elementos (de cerámica y hormigón, por ejemplo) posean coeficientes de dilatación térmica diferentes. Sino del momento en que uno y otro elemento necesitan contraerse o dilatarse.

Si el cerramiento envuelve a la estructura, cuando aquél comienza a enfriarse y a contraerse, el pórtico no lo hace, sino que retiene al muro, provocando la rotura en éste. Si, por el contrario, el cerramiento no abriga a la estructura, ésta tratará de dilatarse antes que el cerramiento.

Ello sucede sobre todo en edificios de amplias proporciones, en los que los movimientos del cerramiento cerámico y de la estructura de hormigón son frecuentemente contrapuestos.

Dado que la hoja exterior está frecuentemente limitada en sus movimientos por la estructura porticada, que a su vez le obliga a seguir sus propias deformaciones, se producen fácilmente tensiones capaces de agrietar el muro.

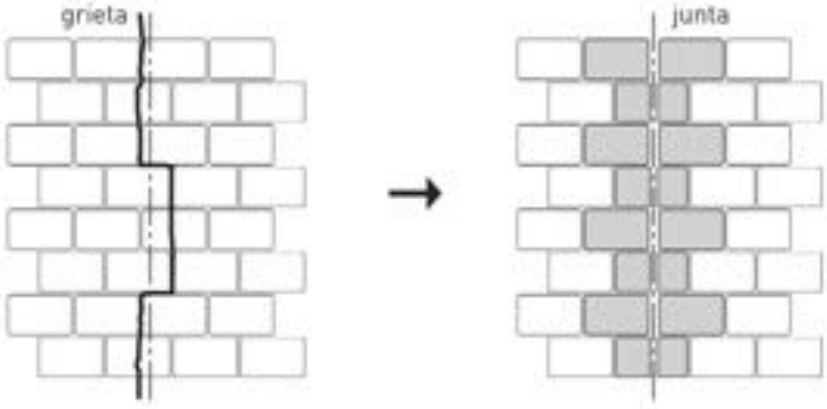
El hecho de que estas incompatibilidades se deban a divergencias temporales hace que la existencia o no de juntas de dilatación tenga una mínima influencia en esta contingencia.



Reparación por sustitución de piezas individuales.



Reparación por limpieza y sellado de juntas.



La introducción de juntas de retracción en el muro afectado es una buena medida de reparación y prevención.



Reparación y soluciones para problemas de agrietamiento en muros sometidos a movimientos higrotérmicos.

Las fisuras que se generan son continuas y siguen la línea de los bordes del paño que cierra los vanos entre pórticos, situándose debajo de los forjados y a ambos lados de los pilares. Se hacen más evidentes en las partes altas de los edificios, por la conductividad del calor de la cubierta.

Los movimientos diferenciales entre cerramiento y estructura pueden llegar a superar los 2 cm y producir el desequilibrio y el desplome de parte de la hoja del muro exterior.

Deben evitarse en lo posible las uniones enrasadas entre muro de cerramiento y pilares de esquina de hormigón, ya que la retracción del mortero de agarre y el distinto comportamiento de los materiales es muy probable que acaben ocasionando la aparición de fisuras verticales.

ROTURA EN UNIÓN DE MATERIALES POR SU DISTINTO COMPORTAMIENTO MECÁNICO

La arcilla cocida es un material ávido de humedad, que absorbe del ambiente. Ello provoca una expansión que finaliza cuando las piezas alcanzan su equilibrio, en un proceso irreversible que puede prolongarse varios años, aunque es más acelerado en los días inmediatos a la cocción.

El empleo de ladrillos de tipo diferente en dos muros en contacto puede provocar diferencias notables de comportamiento. Por ejemplo, los ladrillos sílico-calcáreos poseen una alta contracción, sobre todo en los dos primeros años después de su fabricación, y una gran deformación por expansión.





Búsqueda de elementos metálicos tales como armaduras de losa, ataduras de muro doble o cualquier otro elemento metálico que brinde información sobre la ligazón del muro.

El uso de este tipo de ladrillos en muros interiores, cuando en los exteriores se emplea ladrillos cerámicos, que manifiestan menores contracciones y deformaciones, provoca incompatibilidades que derivan en grietas.

Ello no significa que haya de renunciarse al uso de ladrillos de distintos tipos para los elementos interiores y exteriores, así como para muros de carga y cerramientos no portantes.

En ocasiones, se trata de una solución sencilla y económica, que permite hacer frente a diferentes exigencias de tipo mecánico, de protección térmica, etc. En todo caso, se ha de prever siempre la formación de grietas, según contiene la norma DIN 1053.

Las sobrecargas u otras acciones de tipo mecánico pueden también provocar movimientos en la estructura elástica de forjados y pilares. El cerramiento, elemento rígido que se apoya sobre la estructura, tiende a ser arrastrado al no poder soportar las acciones de compresión o tracción.

Como consecuencia, se produce una rotura en forma de grietas o fisuras. Un caso típico es el de la tabiquería de ladrillo apoyada sobre forjados o en contacto con estructuras de vigas y pilares o el del simple chapado de piedra o alicatado de azulejos sobre muros de hormigón.

EMPUJES HORIZONTALES

Existen dos supuestos fundamentales de lesiones provocadas en los cerramientos no estructurales por acción de los empujes horizontales: la dilatación de la estructura y el pandeo de los pilares.

- **LA DILATACIÓN DE LA ESTRUCTURA**, que como ya hemos visto en puntos anteriores, provoca empujes perpendiculares a los cerramientos de fachada, generando por un lado grietas horizontales, que coinciden con la hilada de cerramiento situada en el borde inferior o superior del forjado que empuja, dependiendo del encuentro; y, por otro lado, grietas verticales bastante limpias en el cerramiento que rodea los pilares de las esquinas.

  En este segundo caso, la grieta puede aparecer en el plano perpendicular al de la dilatación. Por ejemplo, en una fachada orientada al oeste que se encuentra con otra orientada al norte, la grieta aparece en la segunda, dado que la dilatación mayor se produce en la fachada oeste.

  Cuando aparecen esfuerzos importantes de tracción horizontal, al estar excesivamente trabado el cerramiento con la estructura, la grieta se muestra en el propio plano de la dilatación, generalmente sobre las secciones más vulnerables, como son el propio encuentro con la estructura, los huecos abiertos en el plano mural, los encuentros con otros cerramientos perpendiculares, etc.

- **LOS PANDEOS DE LA ESTRUCTURA VERTICAL O PILARES**, sobre todo cuando son de gran altura, trasladan a los cerramientos en contacto con ellos tensiones que los empujan hacia el exterior y que provocan grietas aisladas, limpias y muy localizadas hacia la mitad de la altura del muro. Además, hay que tener en cuenta la posibilidad de que se produzca un giro o una flexión de los forjados y las consecuencias que ello puede tener sobre los muros no estructurales.

La independencia entre cerramiento y pilar es la solución más efectiva para este tipo de problemas. Pero cuando ésta resulte problemática, como en los encuentros a tope entre ambos elementos, habremos de limitar el movimiento de la estructura, que no debería sobrepasar de cualquier modo los 3 mm.

B. ACTUACIONES DE REPARACIÓN Y PREVENCIÓN

Como en cualquier otra lesión, en los muros de cerramiento no estructurales deberemos eliminar siempre la causa de la lesión antes de proceder a reparar sus síntomas. No obstante, al igual que en muchos de los supuestos de la patología constructiva, aquí también resulta difícil actuar sobre las causas directas.

Por ello, el objetivo prioritario será la anulación de las causas indirectas, que suelen ser generalmente las relacionadas con errores de proyecto o de ejecución.

En las lesiones producidas por esfuerzos higrotérmicos, las actuaciones preventivas y de reparación se dirigirán a mitigar, de manera indirecta, los cambios dimensionales producidos por factores de temperatura y humedad.

Si la causa que origina la grieta en el cerramiento procede de movimientos en la estructura que lo soporta, la reparación puede orientarse de tres maneras, que pueden en ocasiones realizarse simultáneamente para asegurar el resultado: la estabilización del movimiento de la estructura, la independencia entre estructura y cerramiento y la introducción de juntas de retracción.

- **LA ESTABILIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA ESTRUCTURA, MEDIANTE UNA ACTUACIÓN SOBRE SU CAUSA**: recalzando asientos de cimentaciones, reforzando la capacidad para resistir momentos positivos si se trata de flechas de vigas de forjados, aumentando la sección de pilares afectados por pandeo, etc. Sin embargo, determinados movimientos, como los de tipo higrotérmico, no admiten este tipo de solución, por lo cual habremos de recurrir al punto siguiente.

- **LA INDEPENDENCIA ENTRE LA ESTRUCTURA Y EL CERRAMIENTO** consiste en establecer una holgura entre el elemento estructural de posible deformación y el cerramiento que está en contacto con él. De este modo, se evitan no solamente los empujes de la estructura sobre el muro, sino que también se impide que la traba entre ambos produzca la rotura por tracción del cerramiento al dilatar o contraerse ambos de manera divergente.

  Este sistema, relativamente fácil de aplicar en edificios de nueva construcción, resulta prácticamente imposible en estructuras ya construidas. Por ello, es considerado como medida únicamente preventiva.

Mientras que en encuentros que no necesiten contacto directo (entre elementos estructurales verticales y muros de cerramiento, por ejemplo) la independencia no reviste mayores dificultades, en cerramientos que se apoyan sobre la propia estructura portante la solución se complica.

En el primer caso, deberemos procurar la independencia de los cerramientos con holgura, a través de algún material interpuesto. Deben tomarse las precauciones necesarias para que durante la ejecución no se depositen restos de mortero entre las dos unidades, ya que éstos facilitarían la transmisión de los esfuerzos.

Una de las soluciones más comunes consiste en construir un muro pasante, de medio pie de grosor, por delante del pilar o estructura vertical, armándolo con redondos de 6 mm de diámetro, colocados cada cuatro o cinco hiladas.

Entre pilar y fábrica puede interponerse una protección, por ejemplo una lámina de *porexpan* o polietileno, marcando una distancia mínima de 1 cm.

Si el cerramiento está a tope con la estructura, deberemos interponer un material plástico de cierto espesor (1 cm), que permita establecer una junta de retracción entre ambos. P

osteriormente rellenaremos dicha junta con un producto elastómero por lo dos lados. De este modo, los movimientos se verán absorbidos por la solución constructiva.

Cuando el cerramiento se apoya sobre la propia estructura, la intervención dependerá fundamentalmente del tipo de apoyo. Si el cerramiento exterior está semiapoyado o semivolado sobre el borde del forjado, nos hallamos ante una práctica muy habitual que solamente puede resolverse haciendo que la hoja exterior del cerramiento sea pasante por delante de la estructura.

Para ello, deberá preverse un nuevo apoyo a modo de estructura auxiliar, similar a las usadas para los llamados "muros cortina" o bien mediante perfiles metálicos adosados al zuncho por su exterior.



Las vibraciones del edificio, las dilataciones o la aparición de una sobrecarga no calculada han provocado la cesión de este arco revocado.



Las piezas pétreas se este arco se encuentran sobrecargadas. Se han producido saltos de material por exceso de compresión.

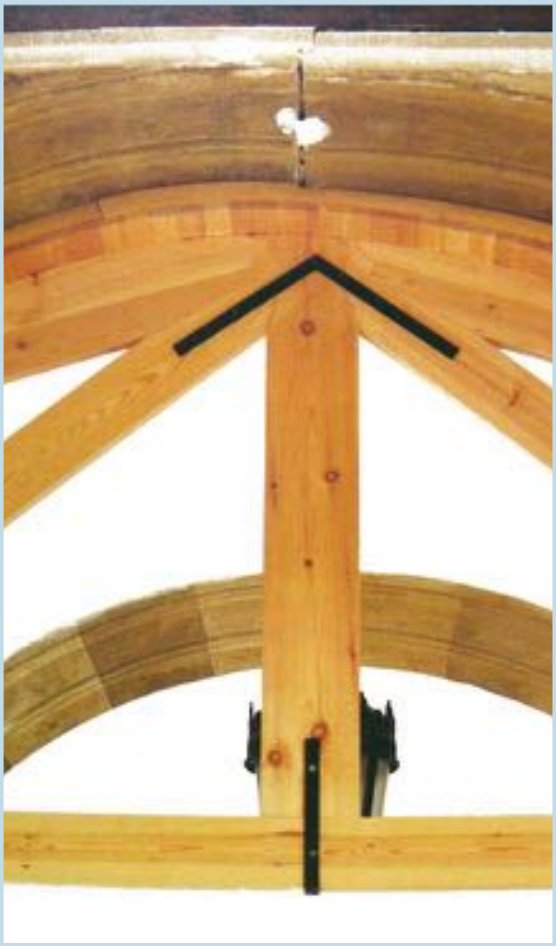
Es importante limitar la flecha, bien por rigidización con el zuncho y limitación de la flecha del conjunto, bien por limitación propia e independencia de los movimientos de la estructura a base de anclaje a ésta por puntos de mínima deformación.

Del mismo modo, es conveniente que medie un espacio de tiempo entre la ejecución del forjado y el montaje del cerramiento, a fin de no incluir la parte de flecha producida por el peso propio del forjado.

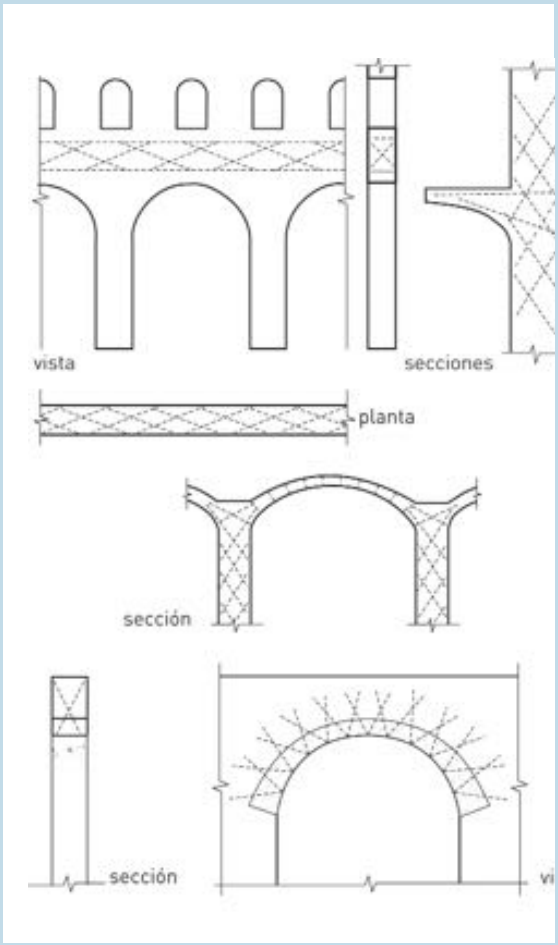
Si no se trata de un muro semivolado, sino de un cerramiento no pasante que queda interrumpido por los forjados o las vigas, la solución se ejecutará de manera muy diferente.

Dado que la unión entre ambas unidades es necesaria, la independencia consistirá en ejecutar el último tendel con un mortero más pobre y de mayor espesor, de modo que sea capaz de comprimirse sin transmitir el esfuerzo al cerramiento.

La práctica habitual consiste en no ejecutar la última hilada del muro, que queda separado unos dos o tres centímetros del forjado. Una vez se han efectuado todas las plantas superiores con sus respectivos tabiques, con lo cual los forjados han recibido ya la sobrecarga permanente en su totalidad y han desarrollado su flecha permanente, se procede a rellenar este último tendel con un mortero más pobre que el usado para el resto del cerramiento.



Arco de piedra arriostrado, apuntalado y liberado en un gran porcentaje de la carga de servicio.



Esquemas de distintos sistemas de refuerzo de muros, arcos y bóvedas de mampostería.







Las eflorescencias son la aparición de sales solubles contenidas en el interior de los ladrillos y transportadas a la superficie de los mismos.

- **LA INTRODUCCIÓN DE JUNTAS DE RETRACCIÓN** es también una medida eficaz frente a los esfuerzos higrotérmicos. Debe contarse siempre con las juntas propias de la estructura que soporta el cerramiento, que son no obstante insuficientes. El cerramiento, que manifiesta dilataciones y contracciones más intensas que las de la estructura, necesita juntas propias. Algo que es fácil tener en cuenta a la hora de ejecutar la obra de un edificio, pero que se complica en los ya construidos.

La propia grieta suele indicar el sitio en que es necesaria la junta de retracción. La introducción de ésta puede realizarse aprovechando la misma grieta para marcar la junta en esa zona. Habrá que separar sus bordes, introduciendo un corte lineal, o demoler el entorno de la grieta.

Al rehacer la sección, se introducirá la nueva junta, marcando los nuevos bordes y sellando el conjunto con elastómero, como si de una junta de dilatación convencional se tratase.

Cuando nos encontramos ante un cuadro con multitud de grietas poco definidas, deberemos marcar la junta de retracción de manera independiente de la lesión. Puede recurrirse a cortar la fábrica existente por medios mecánicos desde el exterior y en todo su espesor, procediendo posteriormente a su sellado.

La distancia adecuada entre juntas debe calcularse en función del coeficiente de dilatación potencial del material, de la orientación de la fachada a efectos de calentamiento por radiación y de las características climatológicas del lugar a efectos de temperaturas externas. Siempre limitando el movimiento máximo a 5 mm.

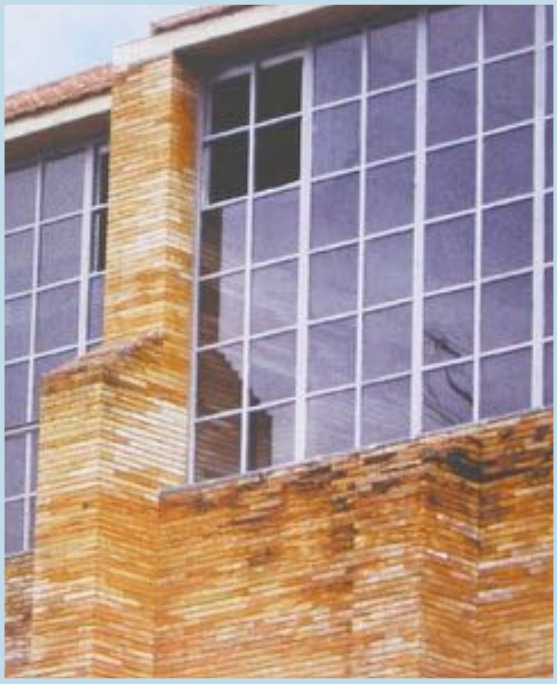
Si se opta simplemente por reparar las grietas, sin introducir junta alguna, es posible que vuelvan a aparecer posteriormente. Debe comprobarse que los movimientos están estabilizados y tener en cuenta que éstos deberían haber terminado en edificios de más de siete años. Fórmula que no es, ni mucho menos, infalible.

REPARACIÓN DE GRIETAS ESTABILIZADAS EN MUROS EXTERIORES NO PORTANTES

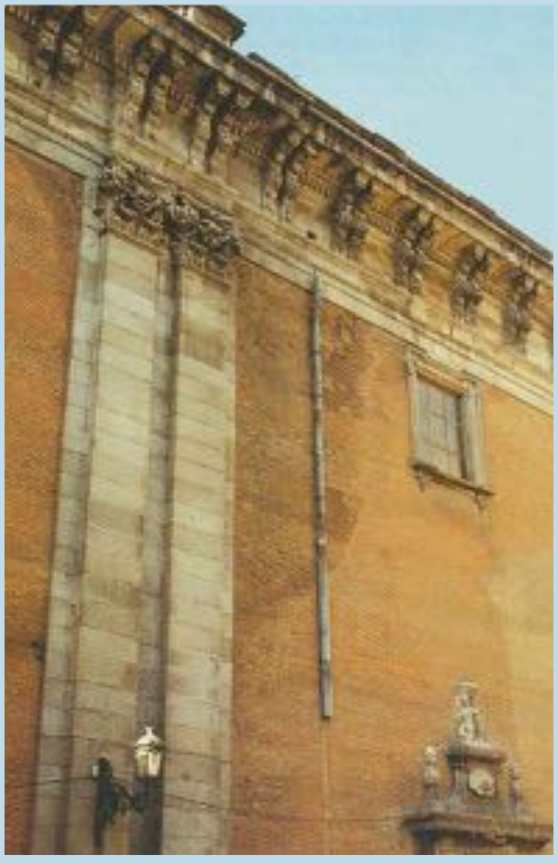
La actuación sobre el efecto es el paso final que restituye al muro su función constructiva, en este caso, de cerramiento. Para ello, habrá de consolidarse el conjunto en una sola unidad, cerrando las aberturas que provocan que el cerramiento funcione como dos partes con movilidades elásticas o higrotérmicas independientes.

Nunca debe efectuarse una reparación de tipo puntual o superficial, sino que ésta ha de afectar a toda la longitud de la lesión y a todo el espesor de la unidad. En este sentido, no existe mejor reparación que la refacción, es decir, demoler la unidad y volverla a ejecutar.

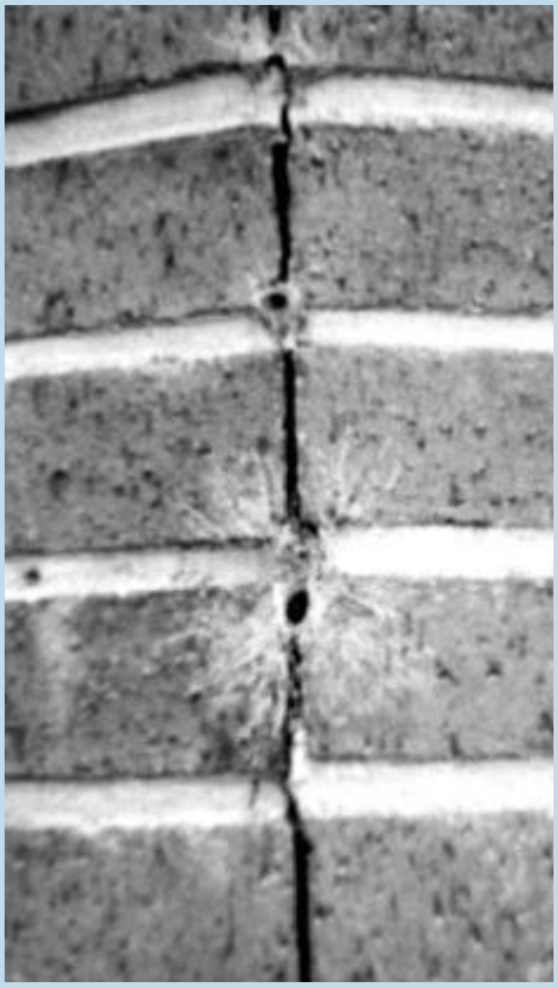
Pero dado que esta solución resulta costosa y complicada, se opta generalmente por la reparación directa, aún corriendo el peligro de que la lesión vuelva a aparecer.



Retención de humedad en salientes y cornisas de muros. La pérdida de material es otra consecuencia de los muros permanentemente húmedos.



La aparición de humedad por pérdida en conducciones es muy habitual en edificios sin mantenimiento.





La existencia y retención de humedad en muros exteriores favorecen la proliferación de hongos (arriba) y la aparición de vegetales.

En cerramientos de carácter histórico, es recomendable la conservación del estado actual, simplemente obstruyendo la grieta con algún tipo de argamasa que devuelva al muro su misión de cerramiento, pero dejando que ésta quede estéticamente manifiesta.

FÁBRICAS DE LADRILLO

Si existe rotura de ladrillos, la reparación es una operación delicada, en la que deben eliminarse todas las piezas afectadas y sanear el entorno para facilitar el trabajo. Si el espesor del cerramientos supera los 30 cm, se actuará por ambos lados de éste si es posible.

En caso contrario, en función de las dificultades del trabajo, puede reducirse la sustitución de piezas al primer pie de espesor.

Los nuevos ladrillos deben colocarse con un mortero igual al del resto de la fábrica, aunque conviene que tenga cierta plasticidad para que se acomode bien a las juntas y, en algunos casos, que sea expansivo para asegurar el relleno. Se puede recurrir a una inyección posterior dentro de las juntas y a un retacado superficial.

Si no hay rotura de ladrillos y las grietas discurren simplemente entre éstos, a través de la argamasa, bastará con sanear el entorno para eliminar restos de mortero antiguo y rellenar las grietas mediante la inyección de un nuevo mortero, que debe ser fluido y expansivo y contener resina epoxi, para mejorar su adherencia al muro. Es conveniente actuar por ambos lados del muro, de modo que se asegure que la penetración se realiza en todo el espesor de la fábrica. La operación finaliza con un retacado de mortero superficial.

Si no importa que la grieta quede manifiesta (caso de restauraciones de edificios antiguos), podemos rellenar directamente, limpiando los labios y el interior de la grieta, manualmente o mediante aire a presión.

MUROS DE PIEDRA O MAMPOSTERÍA

En este tipo de muros, sobre todo si son de canto rodado, la rotura de los elementos unitarios es poco frecuente. La reparación consistirá casi siempre en el relleno de las grietas mediante un mortero especial, ligeramente expansivo, mezclado con cascajos del mismo tipo de piedra cuando la grieta es muy ancha.

Si el espesor del muro es importante, puede ser necesario abrir orificios para facilitar la limpieza mediante aire a presión y la inyección de la lechada. Dentro de lo posible, deberemos reponer los mampuestos superficiales que hayan sido extraídos para facilitar el saneado.

Si existen trozos quebrados, pueden extraerse, repicando la zona y dejando a ambos lados de la grieta ligaduras o dientes de piedras que permitan el trabado posterior. El hueco abierto puede también rellenarse con ladrillos adheridos con mortero ligeramente expansivo.

MUROS DE BLOQUES

Las piezas rotas se sustituyen de igual modo que en el caso de los ladrillos, con posterior relleno y retacado de las juntas. Si se trata de pieza macizas, el relleno de las juntas con mortero resultará más sencillo.

MUROS DE HORMIGÓN EN MASA

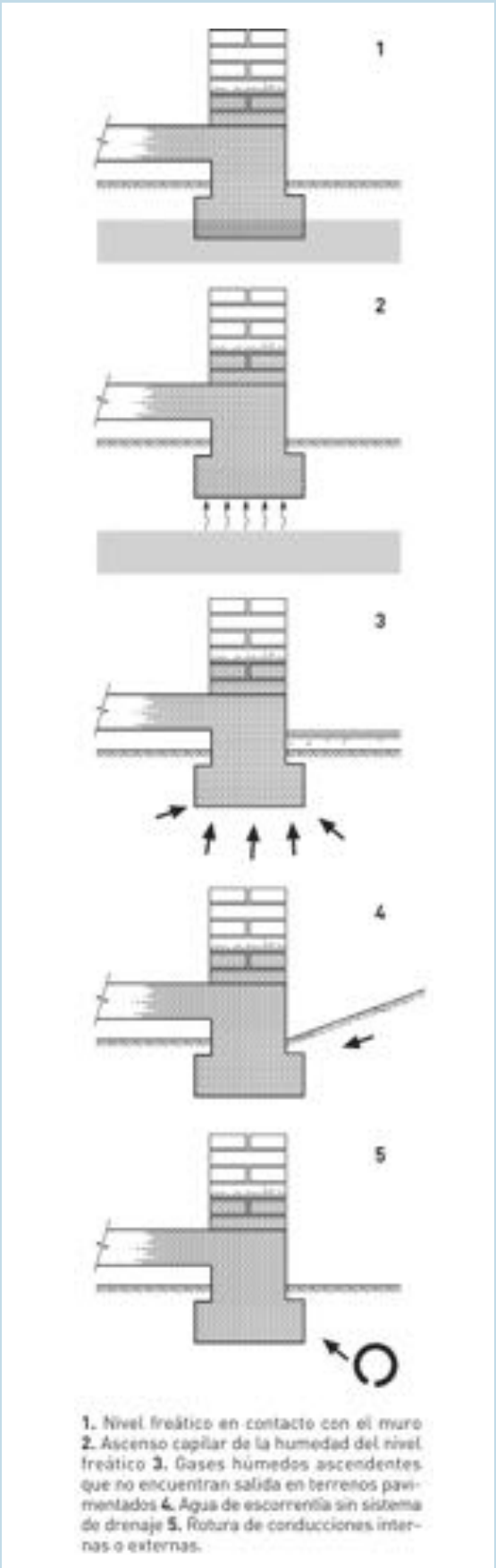
La única solución posible es el relleno mediante inyección, ya que se trata de una masa sólida que admite bien esta técnica. Procederemos abriendo orificios y realizando una inyección progresiva, desde la parte inferior de la grieta a la superior, de una lechada de cemento con resina epoxi.

FACHADAS DE LADRILLO VISTO

El agrietamiento se mejora sustituyendo los ladrillos partidos por varias hiladas nuevas. Es conveniente realizar esta operación en época húmeda, para mejorar la adaptación, debiendo utilizar morteros con baja dosificación de cemento. Es probable la reaparición de nuevas fisuras, más débiles, en las zonas reparadas. Si sólo se desea eliminar la entrada de agua y no importa que el ladrillo siga fisurado, pueden sellarse la fisuras con material elástico e impermeable.



La persistencia de la humedad en el coronamiento de este muro hace que se formen musgos, manchas negras de moho y retención de suciedad. El descascarado y la pérdida del aglomerante son los pasos subsiguientes.



Origen de las humedades capilares o ascendentes más habituales.

ARCOS Y BÓVEDAS

Los arcos y bóvedas deben ser considerados en el contexto del muro en el que se sitúan y del empuje que ejercen sobre sus apoyos o contrafuertes. Al ser afectados sobre todo por lesiones de carácter mecánico, la particularidad de estos elementos estriba en que introducen en la estructura del edificio importantes empujes horizontales que requieren ser contrarrestados por otras partes de la construcción.

La incapacidad de la estructura para absorber tales tensiones ocasiona la deformación de la directriz de los arcos y de las bóvedas, lo cual a su vez desencadena un incremento de los empujes, que pueden alcanzar magnitudes muy importantes sobre muros portantes no preparados para resistirlos.

La mayoría de las lesiones en arcos y bóvedas derivan en la modificación del equilibrio de empujes y en la introducción de nuevos esfuerzos horizontales que pueden hacer perder la verticalidad del plano a los muros.

Un caso típico es el de arcos o bóvedas que se entregan sin que previamente hayan encontrado elementos que contrarresten y sus empujes. Los arcos parabólicos y apuntados constituyen, en este sentido, casos especiales.

El origen de las tensiones que se ejercen sobre los arcos procede generalmente del propio peso de la estructura, de las cargas permanentes aplicadas sobre ella y de las sobrecargas de uso no previstas.

En arcos de mampostería de gran luz, la carga permanente puede llegar a causar el colapso de la estructura, arrastrando consigo los cerramientos colindantes.

El asentamiento o descenso de los soportes del arco incrementa notablemente estas tensiones, manifestándose la lesión a menudo a través de grietas diagonales que nacen en el arranque del arco y evolucionan hacia su vértice. Si aparecen de manera extensiva, avisan sobre un estado potencialmente peligroso de la estructura.

La arquitectura de arcos puede absorber movimientos térmicos y cargas excesivas a través de la formación de grietas locales, teóricamente permisibles en la cantidad de hasta tres por arco. Debe señalarse, no obstante, que el vértice de los arcos apuntados actúa como gozne, por lo cual solamente es asumible la formación de dos grietas más, una a cada lado del arco.

La aparición de una cuarta grieta o articulación, como consecuencia de una carga puntual en los riñones (parte entre el primer y el segundo tercio de la flecha) o de un nuevo cedimiento diferencial de apoyos, puede provocar una pérdida definitiva de la estabilidad y un colapso inmediato.

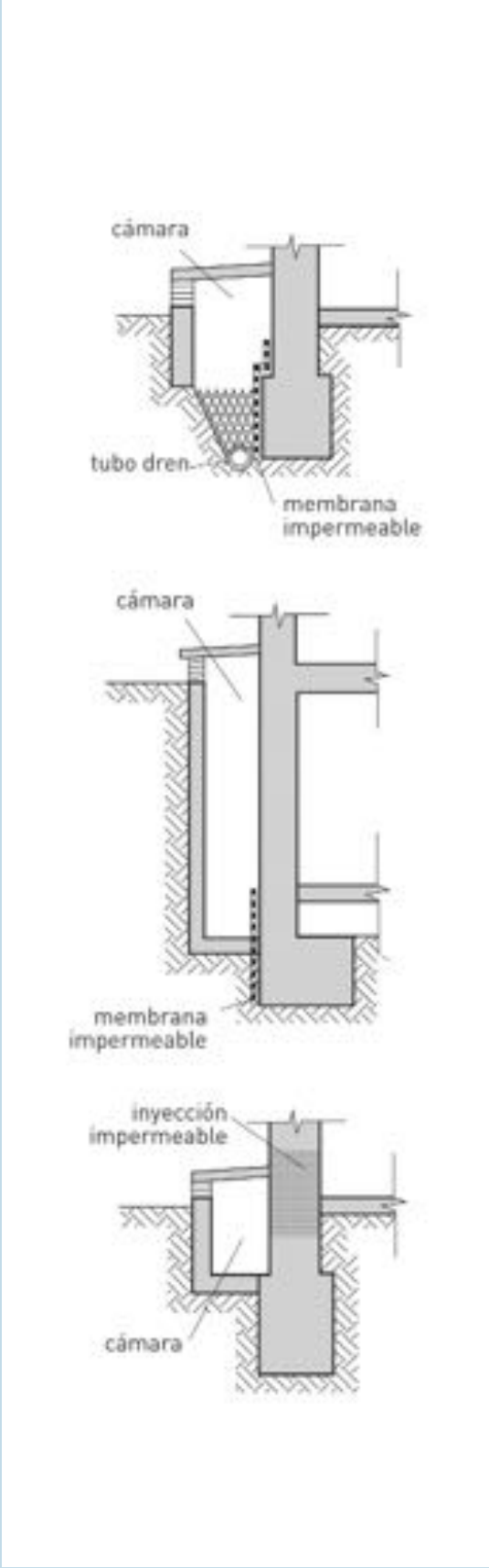
El dibujo gráfico del diagrama de empujes y movimientos puede ser una ayuda fundamental en la investigación de las tensiones ejercidas sobre una construcción con arcos. No obstante, el cálculo de las resistencias de arcos y bóvedas es uno de los problemas más complejos ante los que un arquitecto puede enfrentarse.







Tres casos de aparición de humedad ascendente desde los cimientos.

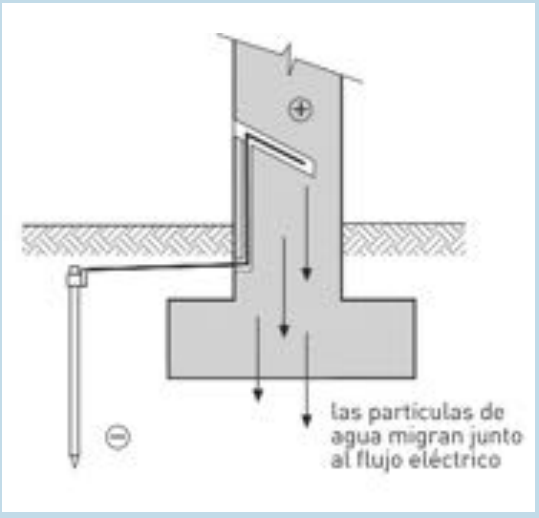


Cámaras de ventilación exteriores.

En muchas ocasiones, ante la imposibilidad de realizar cálculos conclusivos, la experiencia es finalmente la que marca las directrices de actuación.

La naturaleza y condiciones de la piedra, la delgadez de las juntas y las condiciones del mortero, el grado y dirección de cualquier deformación desde la línea del arco y la forma y posición de cualquier grieta deben ser estudiadas. La medida de los movimientos se realizará durante un periodo mínimo de un año, dado que éstos cambian en función de la época.

Es necesario observar los movimientos térmicos y estudiar con detalle los que se prolongan durante un largo periodo de tiempo, ya que pueden conducir al deslizamiento de la mampostería en las juntas del arco, tendiendo a romper el mortero y a debilitar el contrafuerte.



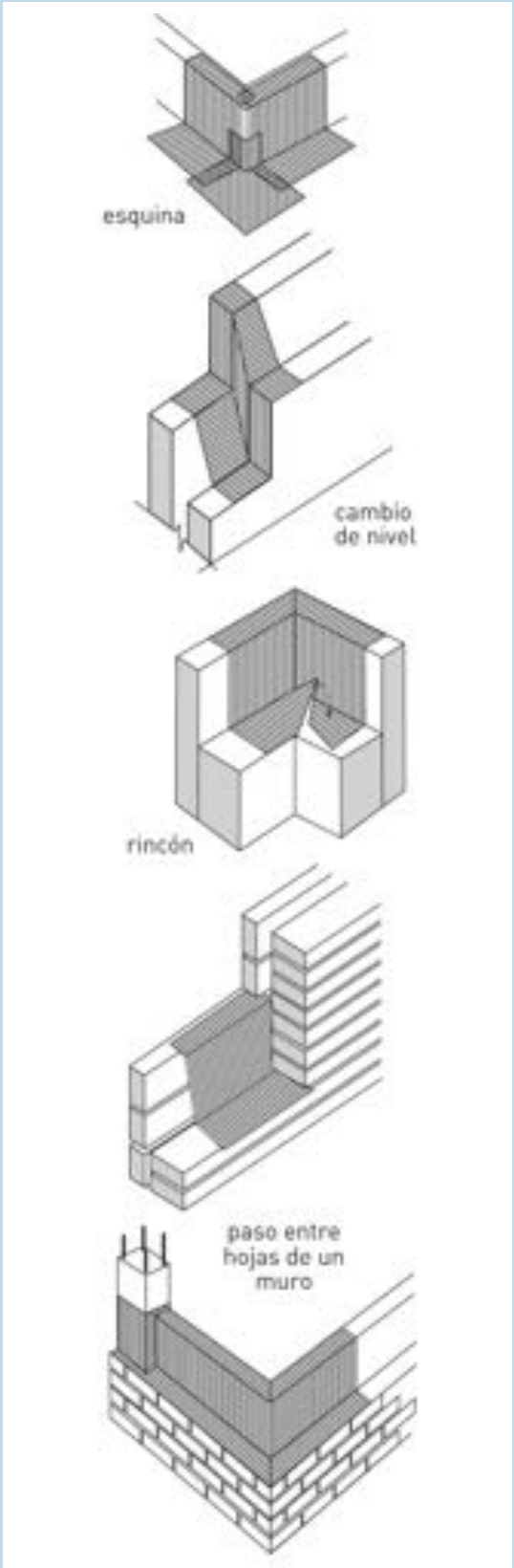
Sistema de electroósmosis foresis para combatir la humedad ascendente.

En general, los arcos parabólicos y apuntados son más fuertes que los elípticos y estrechos. Puede considerarse que un arco tiene muchas posibilidades de manifestarse débil si su altura es menor de un cuarto de su luz.

Cuanto más estrecho es el arco, mayores son los empujes laterales generados. La profundidad de las dovelas es también importante: cuanto más profundas más resistentes, ya que existirá un mayor número de líneas alternativas de empujes para vehicular las cargas.

El desplazamiento horizontal de los estribos o arranques de un arco o de una bóveda ocasiona la deformación de su directriz. Ello provoca generalmente un abombamiento irregular de ésta y un incremento de su curvatura y tendido. De esta forma, las solicitaciones por compresión que, en estado normal, se mantienen dentro del tercio central de las secciones transversales del arco, se desplazan imprevisiblemente y someten al arco a esfuerzos de tracción. La fisuración y separación de las dovelas y el descuelgue de la clave o dovela central y de otras piezas del arco son los efectos más inmediatos.

Un arco que se agota en la clave produce fisuras y desprendimientos en los riñones y, del mismo modo, un arco que se ve sobrecargado en riñones hace saltar su clave. En la zona donde las dovelas se aflojan suelen aparecer fisuras que siguen la generatriz que pasa por dichos puntos descomprimidos.



Barreras físicas continuas en obra nueva. Estas barreras ayudan a prevenir humedades de infiltración, fraccionar la humedad de obra e impedir la humedad capilar.

El efecto bisagra es más relevante cuando la profundidad de las dovelas es pequeña en relación a la luz. Cuando son más profundas, los arcos son capaces de absorber las deformaciones, generalmente a través de sus propios movimientos.

En todo caso, la condición en que se encuentren los soportes (jambas, contrafuertes) es vital para la estabilidad de los arcos. Si estos soportes están sujetos a rotación o deslizamientos, la estabilidad de los arcos está en entredicho. Por ello, se trata de los elementos que con más atención y cuidado deben estudiarse a la hora de realizar una diagnosis y reparación.

A menudo, el pandeo de arcos y bóvedas es introducido por una pobre condición interna del muro, bien por mala construcción original, reutilización de piedras o mortero pobre. Bien por el deterioro causado en el tiempo por las condiciones exteriores. Hay que tener en cuenta que los muros de mampostería y de ladrillo son especialmente sensibles a la humedad y a la penetración de agua.

Rehacer el aparejo de los arcos puede, si es aplicado sobre la máxima profundidad posible, conseguir una notable mejora de las capacidades resistentes de éstos. En algunos casos, será necesario destruir el arco original y volver a construir otro. Si el arco es ancho y las dovelas no son suficientemente profundas, puede ser conveniente una actuación por fases, reconstruyendo una primera mitad del arco para proceder después a actuar sobre la segunda.

Dado que la reconstrucción es un método bastante drástico, que puede llegar a introducir tensiones de compresión, es conveniente plantearse algún sistema de pretensado del arco para evitar nuevas deformaciones. Sin embargo, hay que advertir que estos sistemas, concebidos casi a medida de cada caso y necesidad, precisan de una alta dosis de ingenio y de un conocimiento muy específico del tema.

Cuando no se requieran medidas tan extensivas, puede procederse a retirar las piedras defectuosas y reemplazarlas individualmente. La ventaja de este sistema es que no afecta al muro superior.

En bóvedas altas con arcos apuntados, la acción de empujes externos adquiere dimensiones muy importantes. Pero las principales tensiones que soportan las bóvedas proceden del peso de los techos que se apoyan sobre ellas y de su inhabilidad para deformarse si los soportes se mueven. Los nervios pueden llegar a configurar un conjunto inestable, próximo al colapso.

Las bóvedas de cañón construidas de piedra manifiestan como lesiones más habituales la aparición de grietas en el intradós, en la clave y a trasdós en los salmeres y la separación de estribos al descimbrar. La presencia de cargas asimétricas, durante o después de la ejecución de bóvedas, provocan un agrietamiento longitudinal.

En bóvedas de crucero o por arista, el agrietamiento de la línea de claves sucede al descimbrar los arcos diagonales, con la entrada en servicio y consecuente separación de estribos. Paralelamente, los semicañones laterales se agrietan en paralelo al eje de la nave y los arcos formeros se separan del muro. En la mayoría de las lesiones, será necesario corregir primero las causas de la lesión. Los nervios deben ser siempre reconstruidos conjuntamente con la sección dañada de la bóveda.

Es conveniente someter aquéllos a un pretensado, mediante el uso de gatos hidráulicos que son retirados posteriormente. Las bóvedas pueden ser consolidadas mediante inyecciones de resina epoxi, si las grietas son delgadas, o de morteros, si son anchas.

Si no es practicable ninguna de estas soluciones, será necesario insertar varillas metálicas desde el nacimiento de la bóveda, solución que ha sido habitual en el pasado.

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES

La presencia de humedad en cerramientos exteriores es prácticamente inevitable en determinadas condiciones meteorológicas que son, además, externas e incombatibles. Tal es el caso de la lluvia o de una alta humedad relativa en el ambiente.

El agua presente en la fachada, causante de la aparición de la humedad, puede tener orígenes muy diversos: la cubierta, el suelo, el subsuelo, otros elementos constructivos, partes salientes de la fachada, balcones y voladizos, etc. Puede asimismo localizarse tanto en la superficie del cerramiento como en su interior o, simultáneamente, en ambos.

A menudo, la presencia de humedad en la superficie indica la existencia de humedad en el interior. Aunque no necesariamente. Del mismo modo, una superficie seca no es siempre indicativo de que no exista humedad en el interior del muro.

Hasta que se alcance su secado natural, la humedad es un fenómeno aceptable, siempre que no provoque el desarrollo de problemas asociados (manchas, eflorescencias, desprendimientos, desarrollo de organismos y erosiones físicas). Estas lesiones de origen secundario pueden afectar sólo al acabado superficial o también al propio material constitutivo, si se trata de fachadas de piedra o de ladrillo visto.

De hecho, la humedad es un fenómeno implicado en gran parte de los procesos de deterioro de los materiales de fachada. La durabilidad de un material expuesto a la intemperie depende de manera esencial de la resistencia que éste opone ante los efectos del agua, siendo la permanencia del agua en los paramentos un indicativo claro del exceso de porosidad en el revestimiento.

Además, las variaciones de humedad pueden llegar a ser causa de lesiones mecánicas en los muros, al producir cambios dimensionales en la unidad constructiva, que acaban provocando la aparición de grietas y fisuras.

Ello se produce por el principio de que toda humectación de un material poroso produce la dilatación de éste, mientras que su desecación provocará la retracción. Los elementos constructivos cerámicos con alto contenido en caolinita pueden llegar a alcanzar dilataciones de hasta 1 cm por cada metro, dada la elevada avidez de agua del material base.

Las consecuentes lesiones se manifiestan de manera localizada, presentándose en forma de fisuras verticales. Normalmente, éstas siguen la dirección lógica del esfuerzo superficial de tracción por contracción, que será paralelo a la coronación del cerramiento. En su recorrido, las fisuras coinciden con la franja que sufre la humectación y posterior desecación, siendo con frecuencia sensiblemente paralelas, separadas entre 20 y 50 cm unas de otras.

Las encontramos en coronaciones de fachadas con escasa protección superior, donde tanto la humectación como la desecación son relativamente fáciles, dado el elevado nivel de exposición de esta zona. Y también en las partes bajas de los cerramientos exteriores, asociadas a la aparición de humedades de capilaridad.

En partes de fachada puntuales, cuando existe una humedad localizada, causada por una filtración o una rotura de tuberías, es frecuente la aparición de fisuras irregulares en forma de mapa o compuestas por líneas más o menos concéntricas.

La humedad afecta de modo especial a determinados componentes de la fachada. Tal es el caso de las molduras de escayola, en las cuales el material constitutivo resulta muy higroscópico.

En función de la humedad ambiente, varía el contenido de agua y, por lo tanto, las dimensiones del elemento de escayola. Por otra parte, cuando la moldura se reseca resulta tremendamente frágil, llegando su contracción a provocar la rotura. Ello explica que sea tan corriente hallar molduras fisuradas en sentido transversal, con una distancia media entre fisuras variable entre los 30 y los 50 cm.

El empleo en las fachadas de éstos y otros elementos decorativos en voladizo no obedece únicamente a motivos estéticos. Además, se trata de componentes que cooperan en evitar filtraciones en el paramento. Pero su presencia resulta inútil e incluso perjudicial cuando no van provistos de desagüe o goterón. Si la superficie es muy porosa, el voladizo ha de protegerse en su parte superior. Utilizando, por ejemplo, cintas de plomo de zinc.

El número de juntas verticales aumenta también el peligro de filtraciones. En las hiladas de ladrillos voladizos, la colocación de un filete o cordón de mortero facilita la penetración de agua al agrietarse, en lugar de impedirla.

Los balcones son asimismo puntos en extremo vulnerables, al estar particularmente expuestos a las condiciones meteorológicas de lluvia y viento, así como al agua de arrastre que resbala por la superficie de la pared.

En todos los casos, la reparación de los problemas asociados con la humedad exigirá eliminar la causa que la provoca. Esta operación puede llegar a exigir intervenciones en extremo complejas, sobre todo cuando se trata de humedades de capilaridad o de condensación.

Una vez eliminada la causa y antes de proceder a borrar los efectos sobre el paramento, habrá que esperar a que desaparezca la humedad de manera natural. O proceder a su secado por vía artificial .

Si se trata de cerramientos exteriores portantes, habrá que proceder además a su reestructuración, a fin de devolverles la capacidad resistente original.

Ello puede llegar a suponer la extracción y sustitución de mampuestos y elementos que presenten un avanzado estado de degradación o que hayan desaparecido, el cosido de los fracturados, el relleno de tendeles envejecidos y el sellado de juntas.

HUMEDAD POR CAPILARIDAD

De las múltiples causas de la humedad, ésta es sin duda la más difícil de eliminar. Con la cristalización de sus sales disueltas tras la evaporación, es además la humedad que más contribuye al deterioro de los materiales minerales de acabado.

Se define como humedad capilar a toda aquélla que aparece en los cerramientos como consecuencia de la ascensión del agua a través de su estructura porosa. Es ocasionada por el fenómeno de la capilaridad, que consiste en el movimiento de un fluido a lo largo de un conducto longitudinal por efecto de la tensión superficial entre aquél y las paredes internas de éste.

Este fenómeno puede aparecer en cualquier cerramiento constituido por materiales porosos, de estructura capilar (tubular) y con algún punto de contacto con el agua, que no tiene por qué ser amplio ni abundante. En ocasiones, la distancia vertical que media entre el punto de contacto y el lugar donde aparece la humedad puede ser muy amplia.

La velocidad de absorción del agua por parte de los capilares es tanto menor cuanto más delgados sean éstos. En un hormigón fabricado con una relación agua/cemento inferior a 0,5, la velocidad de absorción es prácticamente nula. Del tamaño de los capilares depende también la altura alcanzada por la humedad. Cuanto más delgados sean éstos, más altura se alcanza si el agua no se evapora.

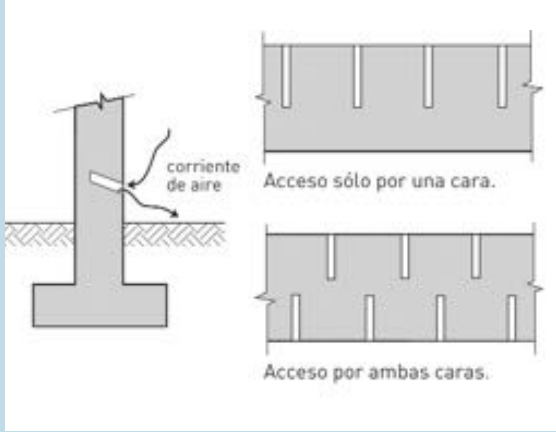
En las fachadas, existen tres puntos o situaciones clave para el ascenso de la humedad capilar: en el arranque de los muros desde el terreno, en el encuentro de elementos verticales con pequeñas plataformas horizontales y en la penetración de la humedad desde la cara exterior de muro hacia su cara interior.

En el arranque de los muros desde el terreno, la humedad asciende por el interior del espesor del cerramiento o por su exterior, produciéndose en el segundo caso un fenómeno capilar superficial, que puede incluso limitarse al acabado exterior.

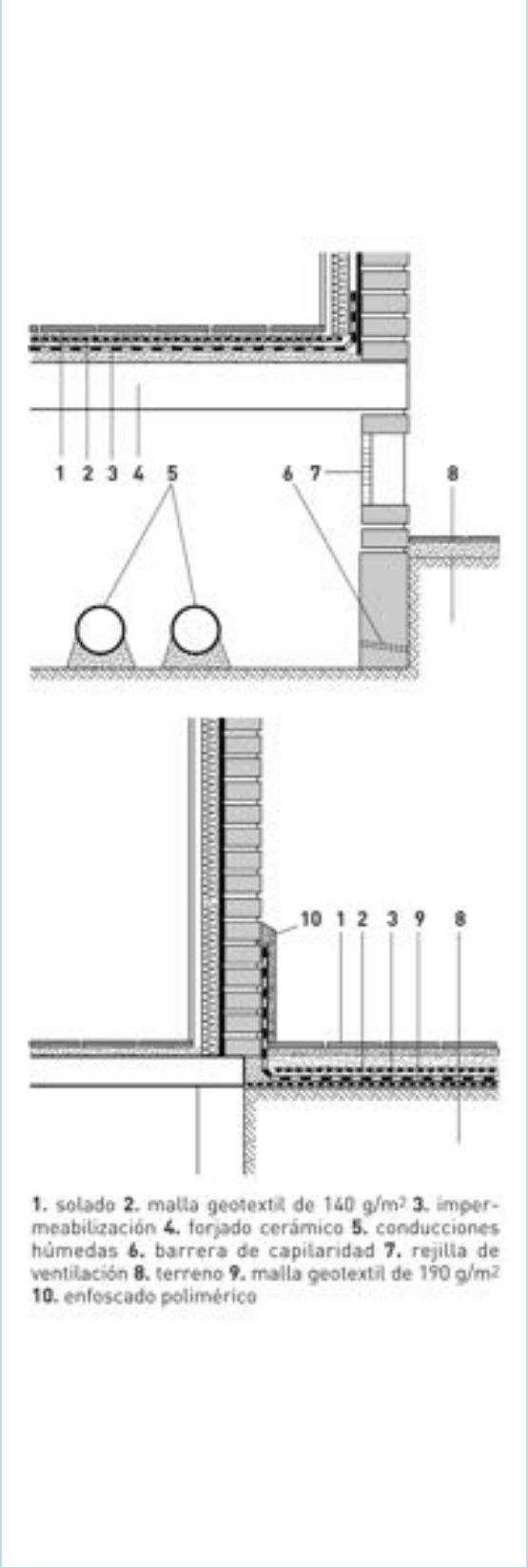
Esta humedad ascendente se origina en el agua del subsuelo que, tras alcanzar la base o caras laterales de la cimentación u otros elementos del edificio en contacto con el suelo, asciende por los muros hasta alcanzar zonas situadas por encima de la rasante, donde se hace visible.

Puede manifestarse además por la aparición de manchas salinas en la superficie de evaporación o por el desprendimiento de los revestimientos, formando una especie de barba florida en la línea de culminación de la altura capilar.

Se trata de un fenómeno activo y dinámico, cuyo desarrollo es inversamente proporcional al grado de aireación del muro. Los paramentos que quedan por debajo de la coronación de la altura capilar se manifiestan como superficies de aireación sin desecación, que evaporan agua al exterior, generando un flujo dinámico en el interior del muro.



Sifones atmosféricos. Disposición en el interior de un muro.



1. solado **2.** malla geotextil de 140 g/m² **3.** impermeabilización **4.** forjado cerámico **5.** conducciones húmedas **6.** barrera de capilaridad **7.** rejilla de ventilación **8.** terreno **9.** malla geotextil de 190 g/m² **10.** enfoscado polimérico

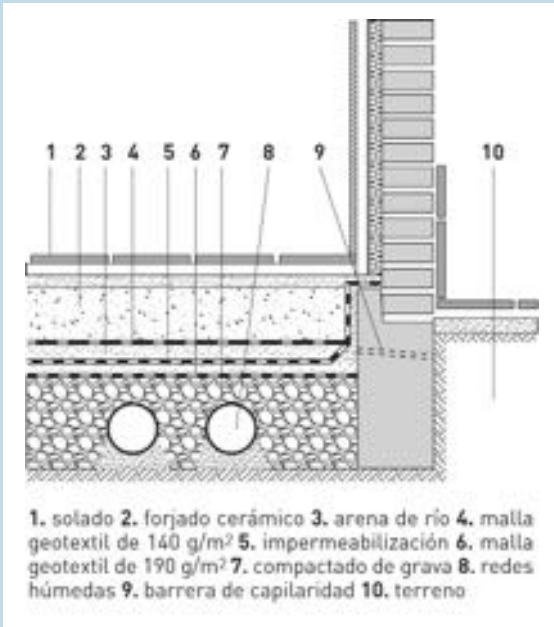
Esquemas constructivos para prevenir las humedades capilares en solados en contacto con el terreno natural.

La altura capilar es función de la temperatura estructural del muro y de la temperatura ambiental, a través de la constante evaporación. Las condiciones dinámicas se manifiestan sensibles a fenómenos diversos, tales como el grado y la intermitencia de la calefacción en el interior del edificio y la presencia en el exterior de corrientes de aire que circulan en torno a él.

La aparición de una banda oscurecida en las zonas bajas de la edificación suele ser el primer síntoma que delata la existencia de este tipo de humedades. Sin embargo, hay ocasiones en que la sintomatología no es tan clara.

Los revestimientos de los muros y de la zona baja de los muros pueden degradarse y llegar a desmoronarse como consecuencia de la acción eflorescente de las sales cristalizadas y vehiculadas por el agua capilar. Sin que haya aparecido hasta ese momento mancha alguna que la delate.

Cuando aparece, la altura que alcanza la franja húmeda se sitúa en torno a los 80 cm. No obstante, en ocasiones se alcanzan alturas de hasta un metro y medio. Y en otros casos la mancha supera sólo ligeramente la altura de un rodapié.



1. solado **2.** forjado cerámico **3.** arena de río **4.** malla geotextil de 140 g/m² **5.** impermeabilización **6.** malla geotextil de 190 g/m² **7.** compactado de grava **8.** redes húmedas **9.** barrera de capilaridad **10.** terreno

Esquema de ejecución de un pavimento con conducciones húmedas por debajo.

Lo que sí parece comprobado es que la altura capilar es mayor y más intensa en las fachadas orientadas al norte, como consecuencia del menor grado de evaporación que presentan estas superficies.

En las fábricas de poco espesor, el contenido de humedad es uniforme en toda su anchura, mientras que en muros más gruesos se incrementa levemente hacia su mitad, como consecuencia de la menor evaporación existente. En los paños ciegos, el volumen de humedad suele ser constante en la parte central, mientras que decrece en las proximidades de las esquinas. Esta peculiar distribución sirve para distinguir las humedades de capilaridad de las de condensación, cuyo contenido decrece rápidamente hacia el exterior. En todo caso, la penetración será siempre mayor cuanto más finos sean los poros.

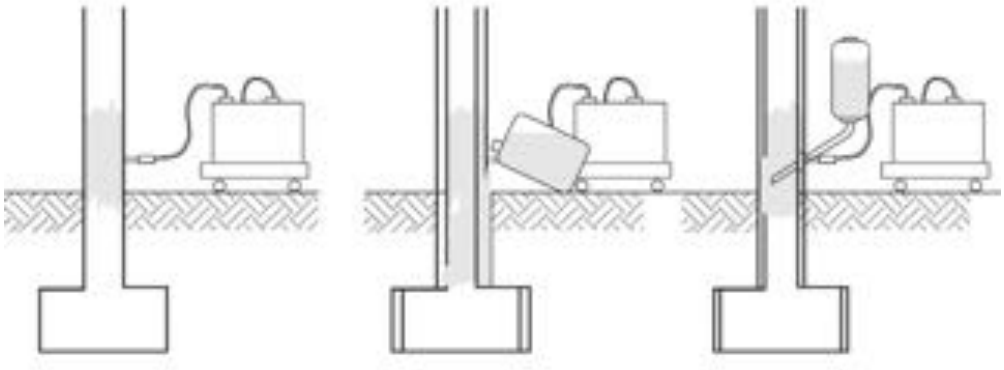
Si en un punto de la superficie de evaporación aparece un obstáculo que impide la normal aireación, la altura capilar alcanza mayor altura, recuperando la superficie húmeda necesaria para reponer el equilibrio. Ello se presenta, por ejemplo, en escaleras adosadas a muros exteriores, donde la línea de coronación supera y dibuja sucesivamente las diferentes líneas de los escalones.

Del mismo modo, en edificios ubicados en calles con mucha pendiente, la altura capilar se mantiene paralela al zócalo, marcando un ángulo idéntico al de la propia calle.

En edificios antiguos, es común que con el tiempo se haya modificado por lavado la estructura capilar de los morteros, que se manifestarán especialmente sensibles a la ascensión de este tipo de humedad. Los muros viejos presentan poros diminutos, hasta de 0,001 mm de diámetro, lo cual significa que pueden soportar una columna de humedad superior a 1 metro.

El alicatado de las partes bajas de los muros o el revestimiento con materiales hidrófugos es siempre contraproducente, dado que altera el estado de equilibrio. El agua capilar se verá obligada a escalar cotas superiores.

En el encuentro de elementos verticales (muros de cerramiento) con pequeñas plataformas horizontales (suelos de terraza, molduras, vierteaguas o albardillas), se produce una humedad fácilmente confundible con la ocasionada por filtraciones, pero que posee algunos puntos que la distinguen de ésta.



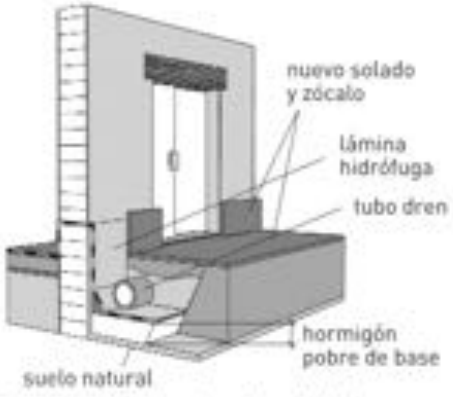
Distintos sistemas de inyección y difusión de líquidos impermeabilizantes en el interior de muros para detener la humedad ascendente del terreno natural.



El revoque y la pintura se han deteriorado por causa de la humedad ascendente del muro.

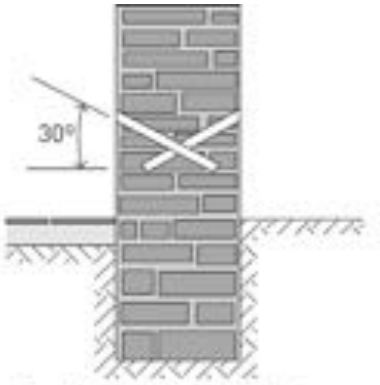


Se retira la terminación del piso y se cava una zanja junto al muro en donde se alojará el tubo dren.

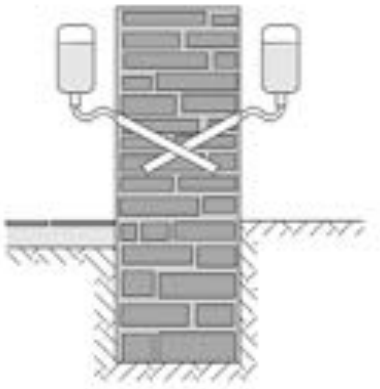


Se retira la terminación del piso y se cava una zanja junto al muro en donde se alojará el tubo dren.

Protección de un muro frente a la humedad que llega desde el terreno.



Realización de los taladros.



Colocación de los depósitos con el producto impermeabilizante.



Los depósitos se retiran cuando el muro alcanza el nivel de absorción deseado y los taladros se rellenan.

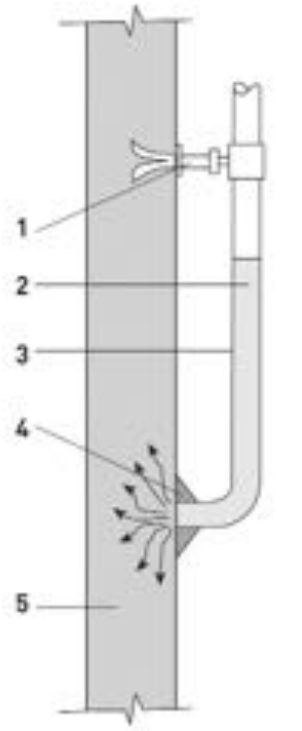
Sistema para combatir la humedad ascendente en muros de carga mediante la absorción de productos impermeabilizantes.

Nace en el arranque del paramento horizontal y puede derivar en otras lesiones secundarias, tales como desprendimientos o erosiones físicas. En ocasiones, será necesario efectuar pequeñas catas para observar el recorrido de la humedad.

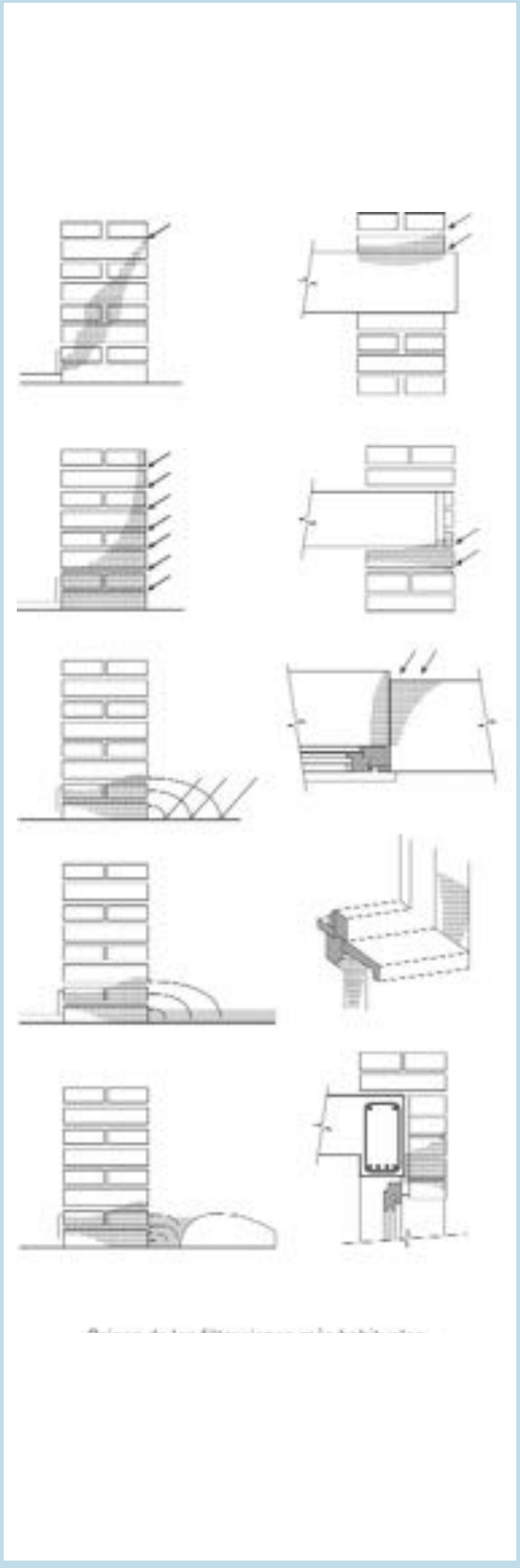
La única manera de evitar este tipo de humedades es hacer que no alcancen el arranque del elemento horizontal. Ello se consigue, por ejemplo, aumentando la velocidad de drenaje, a base de inclinar la plataforma hacia el exterior, en el caso de elementos cerámicos. En plataformas metálicas y molduras pétreas, estableciendo un pequeño escalón impermeable de unos 5 cm entre éstas y el paramento, normalmente del mismo material, para no romper la continuidad. O colocando un rodapié, cubriendo el solape vertical de la lámina impermeable horizontal, para terrazas accesibles.

Existe una humedad, denominada de absorción, que penetra desde la cara exterior de los muros hacia el interior de los mismos, como consecuencia de los efectos de la acción capilar. Se trata de un fenómeno propio de los cerramientos exteriores, siendo más frecuente en muros antiguos. Estos presentan con frecuencia un avanzado estado de disgregación y lavado de los morteros y son, consecuentemente, más porosos.

El agua y el viento como vehículo de transporte de ésta atacan la fachada envejecida, que manifiesta un cada vez mayor lavado, una avanzada disgregación, la aparición de eflorescencias, etc. La velocidad del proceso y la cantidad de agua absorbida están en función de las diferencias de potencial, de la porosidad y de los componentes del muro. Si en el interior del edificio existen altos contenidos de humedad ambiental, el proceso se acelerará y empeorará por la presencia de sales y de materiales higroscópicos, así como por el desarrollo de determinados procesos químicos y por las heladas.



Ensayo de absorción «in situ» de muros de cerramiento exterior.



Origen de las filtraciones más habituales.

REPARACIÓN DE LAS HUMEDADES DE CAPILARIDAD

A la hora de enfocar la diagnosis y la reparación de las humedades de capilaridad, es necesario averiguar si éstas proceden del estado general del subsuelo y de un agua de carácter permanente o, por el contrario, se originan en un área localizada, con carácter accidental o temporal.

La detección de las humedades de capilaridad puede llevarse a cabo mediante la perforación sobre el plano de la fachada de parejas de taladros, separados unos 5 cm, y en cotas de unos 35 en 35 cm. Es decir, aproximadamente tres taladros por cada metro de altura del muro.

Si el contenido de agua detectado decrece con la altura hasta prácticamente desaparecer, manteniéndose constante en la línea horizontal, se trata de una humedad de capilaridad que afecta a todo el muro. Normalmente, procederá del terreno. Cuando el contenido de agua afecta exclusivamente al exterior del muro, se trata de una ascensión capilar a través del revoco.

Toda actuación enfocada a detener o disminuir el ascenso capilar en un muro se basa en dos acciones: reducir el flujo de agua ascendente y aumentar el flujo de evaporación.

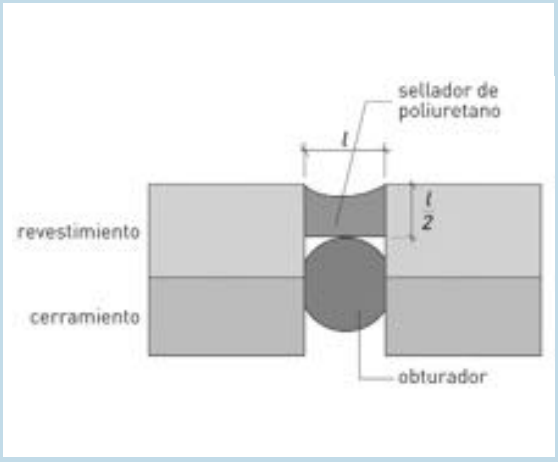
Antes de proceder a aplicar los procedimientos de desecación, es necesario conocer la distribución de las humedades. Pueden utilizarse para ello detectores a base de electrodos, dibujando el diagrama de valores obtenidos y marcando las curvas correspondientes a un mismo grado de humedad.

ELIMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE LA CAPILARIDAD

La capilaridad se erradica en origen por medio de dos técnicas, el drenaje y la creación de barreras impermeables. Ambas requieren operaciones bastante complejas, pero se manifiestan muy eficaces en la cometido de eliminar la humedad.



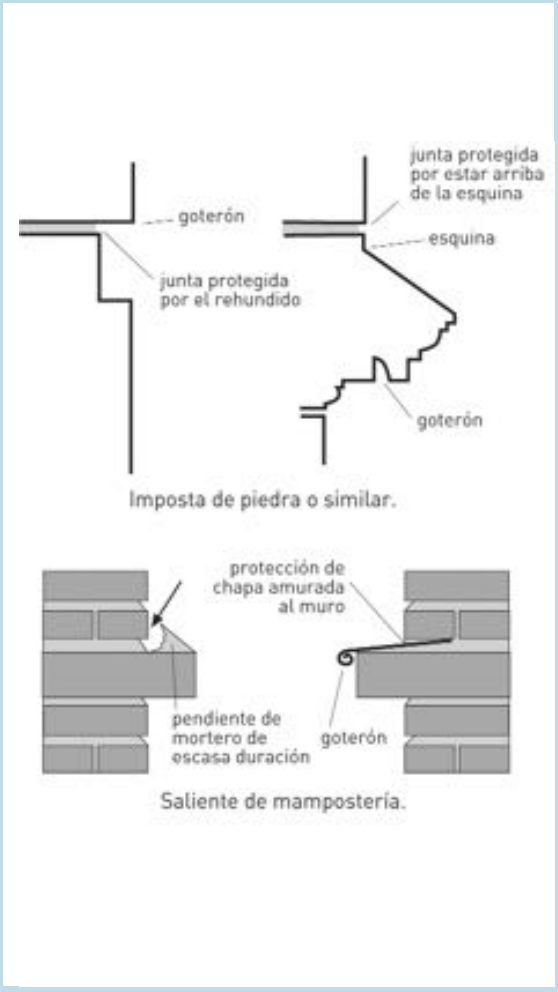
Una filtración interna ha desencadenado la aparición de eflorescencias en este muro.



Detalle de la utilización de los materiales sintéticos en el sellado de las juntas de los cerramientos exteriores.



La pérdida en una conducción provoca manchas y la erosión de los materiales.



Detalles contructivos en impostas y aleros para evitar filtraciones de agua de lluvia.

1. DRENAJE

Consiste en alejar el agua de la base del cerramiento por medio de diferentes procedimientos que enumeramos a continuación. Todos estos sistemas se manifiestan eficaces cuando el nivel de la capa freática es inferior a la cota más baja de la cimentación. Por debajo del nivel freático, la presión del agua impide su evacuación por gravedad.

CUÑAS DRENANTES

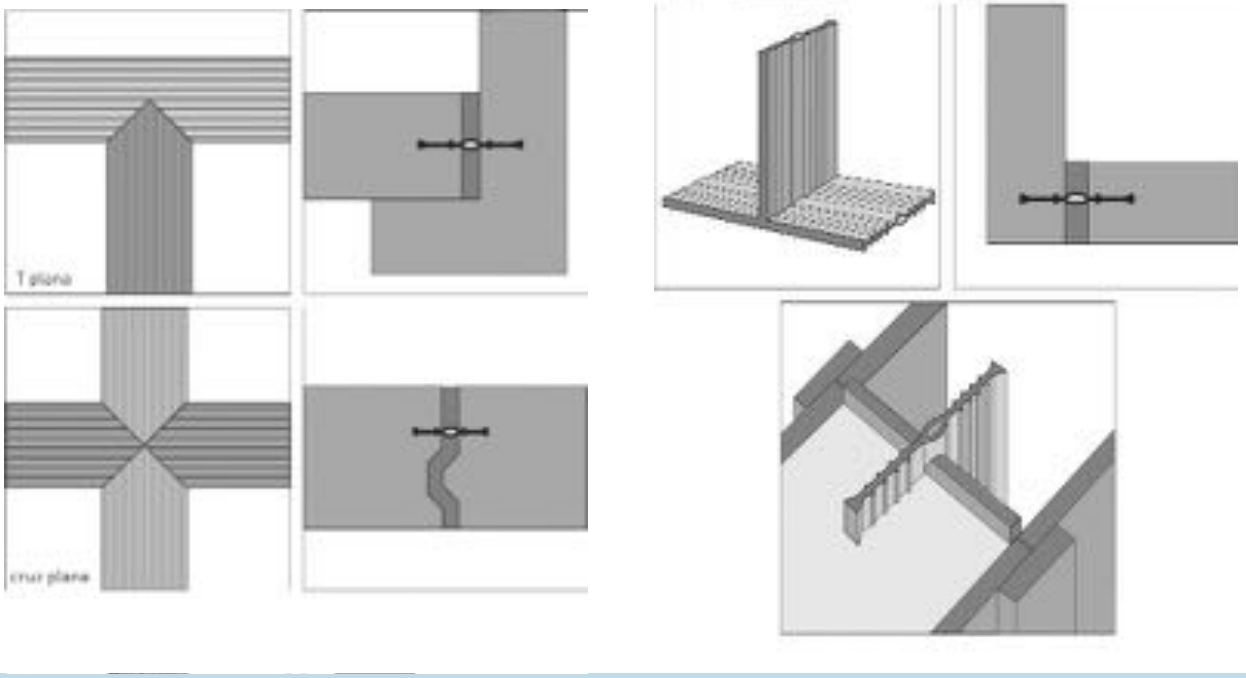
Se excavan cunas adosadas a la base del muro y realizadas mediante bataches alternados, con el objeto de no provocar asientos puntuales, de una profundidad tal que se alcance el suelo sobre el que reposa la cimentación. En su fondo, se coloca una tubería de hormigón o plástico, asentada sobre unos 10 cm de hormigón previamente depositados. Esta tubería recoge las aguas lo más abajo posible (unos 15 cm por debajo de la base) y las canaliza a puntos concretos hasta enviarlas por gravedad o por bombeo a la red de saneamiento existente o a un pozo muerto.

Puede colocarse una lámina impermeable o un revestimiento de mortero hidrófugo, adosado a la pared y recorriendo toda la base de la zanja, por debajo del propio tubo drenante.

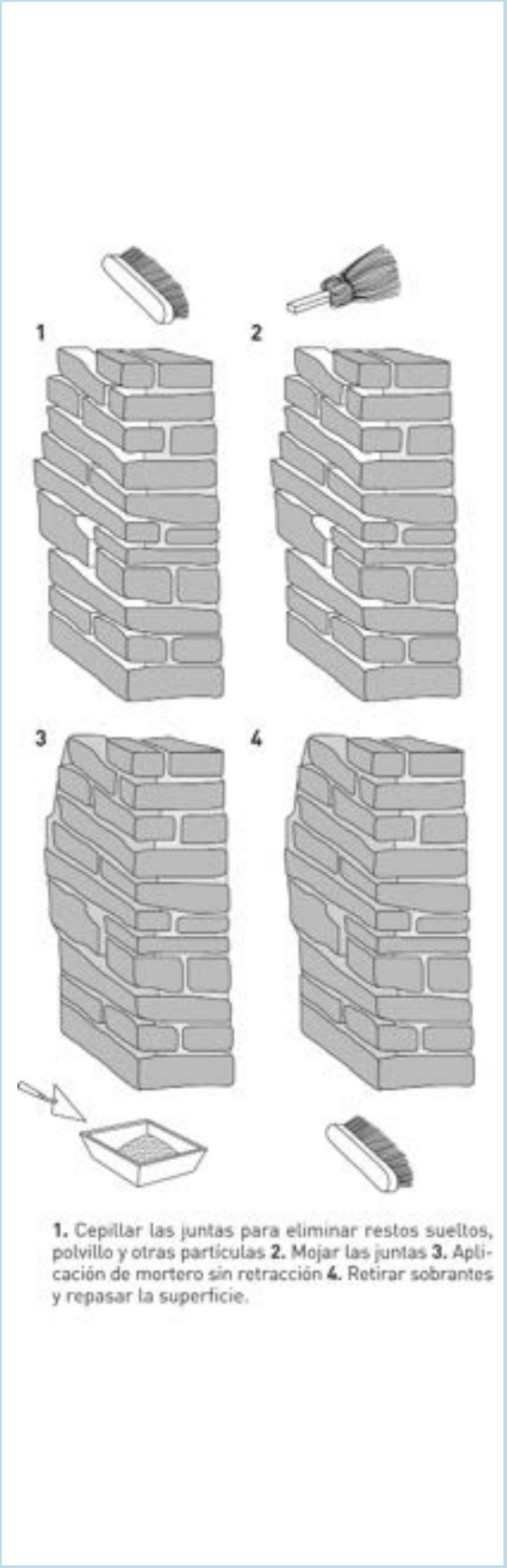
Deberá compactarse bien la zona rellenada con el objeto de evitar movimientos en el pavimento perimetral. Esta solución requiere poder actuar desde el exterior y en todo el frente.

ATAGUÍAS

Se colocan separadas de la base y con una profundidad que estará en función de la propia cimentación del edificio y de la presión de las aguas a atajar. Se usa para casos de corrientes freáticas, haciendo descender el nivel del agua hasta por debajo de la cimentación, para evitar el contacto entre ambas, teniendo en cuenta la curva hacia arriba que provoca la presión del agua. Cuando se trata de un edificio aislado, la ataguía se coloca formando un cerco completo.



Detalles de piezas especiales que se insertan en las juntas entre pantallas de hormigón para detener el paso del agua.



1. Cepillar las juntas para eliminar restos sueltos, polvillo y otras partículas **2.** Mojar las juntas **3.** Aplicación de mortero sin retracción **4.** Retirar sobrantes y repasar la superficie.

Reacondicionamiento de las juntas de un muro de mampuestos de piedra.

POZOS DRENANTES

Repartidos en función de la situación del edificio y de las corrientes o el nivel del agua. Constituyen una red que hace que el nivel descienda lo suficiente para evitar el contacto con la cimentación. Cada uno de los pozos incorpora un sistema de bombeo automático que extrae el agua y la conduce a la red de saneamiento. Su disposición puntual permite incluso su localización en el interior del edificio y, por lo tanto, su uso cuando el edificio no es aislado.

DRENAJE ELÉCTRICO

Se trata de drenajes lineales, colocados normalmente en el arranque de los muros, que establecen una corriente eléctrica entre éste y el terreno en contacto, con polo negativo en el muro y positivo en la tierra, obligando al agua, como elemento conductor que es, a descender. Los dos sistemas existentes (electro-ósmosis y electro-foresis) tienen la desventaja de dejar el agua en la base del muro de un modo permanente. Para más información sobre estos procedimiento, ver la sección correspondiente a humedades de sótanos.

AIREACIÓN POR PUNTOS

Consiste en la introducción de tubos cerámicos o plásticos perforados en la base del muro, formando una línea de puntos más o menos tupida que facilita la aireación interior del cerramiento. Introducidos entre 5 y 15 cm, permiten el drenaje del agua contenida en los poros, siempre que la presión capilar no sea muy grande.

La aireación del muro puede facilitarse también con la disposición de cámaras bufas. Se trata de zanjas perimetrales de pequeña anchura, que dejan el muro y el cimiento al descubierto. Inferiormente, se cierran con un desagüe que recoge las aguas de lluvia, lateralmente con un murete de contención y superiormente con una rejilla de ventilación.

2. BARRERAS IMPERMEABLES

Se trata de interponer una barrera entre el agua y el elemento constructivo. Mientras que el drenaje no provoca ningún daño en el cerramiento, en esta solución, si se trata de edificios construidos, se ha de proceder a realizar actuaciones destructivas. En la práctica, solamente deben aplicarse en muros de ladrillo y de sillería, siendo poco válidos en edificios históricos, dado que las perforaciones realizadas dejan señales inaceptables en determinadas rehabilitaciones.

BARRERAS FÍSICAS (LÁMINAS)

El método consiste en la introducción horizontal en el muro de láminas de betún-polietileno, PVC, materiales metálicos, minerales, etc., a unos 10 cm por encima del nivel del suelo, procurando solaparlas entre sí y alternar los bataches. Pueden también escalonarse las láminas, para evitar discontinuidades en el muro, pasando de una hilada de ladrillos a la contigua.

Las láminas pueden insertarse en el muro ya construido mediante su corte transversal con sierras mecánicas especiales, por procedimientos continuos o discontinuos.

Se trata de un sistema que evita además ciertas humedades de filtración y que fracciona la humedad de obra si el muro es de dos hojas y la lámina se pliega de modo escalonado.

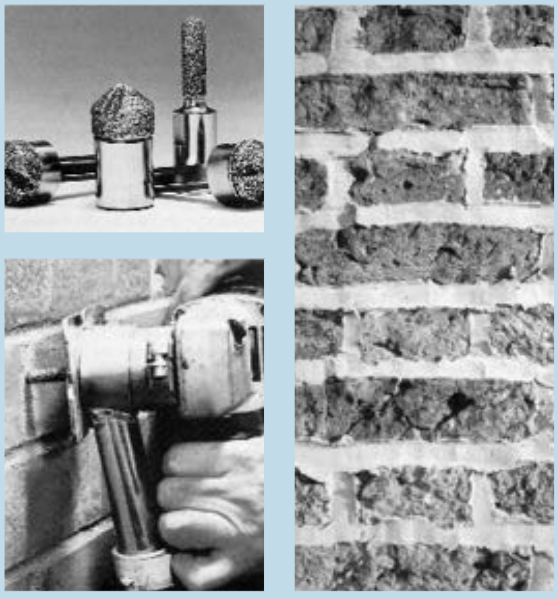
La ejecución, realizada manualmente, se efectúa siempre por tramos cortos o bataches, previo apeo del edificio. Hay que tener en cuenta las cargas mecánicas que soporta el muro e intentar picar el menor número de hiladas posible.

Normalmente, los bataches tienen entre 1 y 2 metros de longitud, abriendo un arco de descarga por encima del nivel de colocación de la lámina, con objeto de evitar los asientos de la fábrica. Se finalizan las operaciones colocando bocas de inyección cada 60 cm aproximadamente y sellando ambos lados del corte.

No deben utilizarse láminas plásticas en muros de carga, por el peligro de un posible punzonamiento. Las metálicas, de materiales inoxidables, facilitan la transmisión de cargas verticales, obteniéndose la continuidad entre los diferentes tramos de bataches por medio de la soldadura.



Sellado de juntas deterioradas mediante la aplicación de productos sintéticos..



Remoción de mortero deteriorado y preparación de la superficie para la aplicación del sellador.

La colocación de estas láminas en los edificios acabados es costosa, siendo prácticamente imposible en el caso de muros de mampostería. En construcciones antiguas, pueden provocar movimientos o roturas, para evitar lo cual se introducen a determinadas distancias calces especiales. Entre los inconvenientes de este sistema, figuran la posible producción de vibraciones dañinas en los muros y la necesidad de ocultar las láminas sin introducir puentes de humedad.

La lámina puede sustituirse por una inyección de mortero y resina de poliéster o de resinas epoxi. El corte longitudinal puede asimismo sustituirse por una serie de taladros contiguos y conectados entre sí.

OBSTRUCCIÓN DE LOS CAPILARES

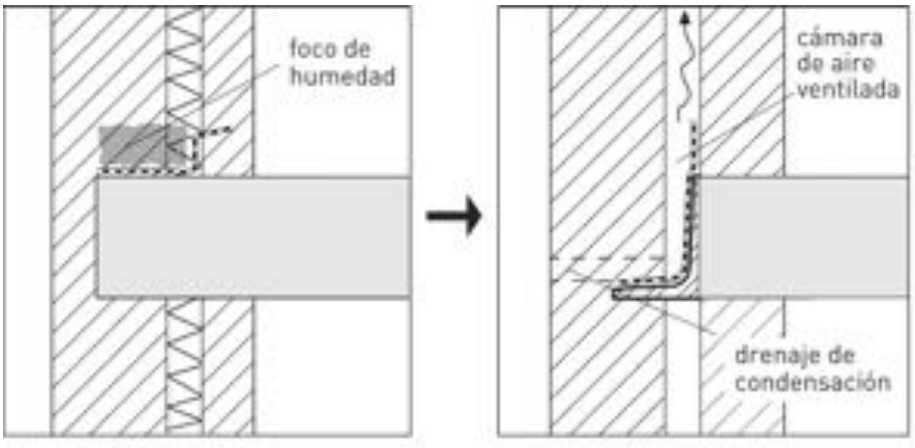
La inyección de líquidos muy fluidos, capaces de penetrar en la estructura capilar de la base del cerramiento atacado por humedad, permite modificar su estructura hasta dificultar la ascensión del agua.

Han de ser formulaciones permeables al paso del vapor de agua, tener baja tensión superficial y alta capacidad de penetración.

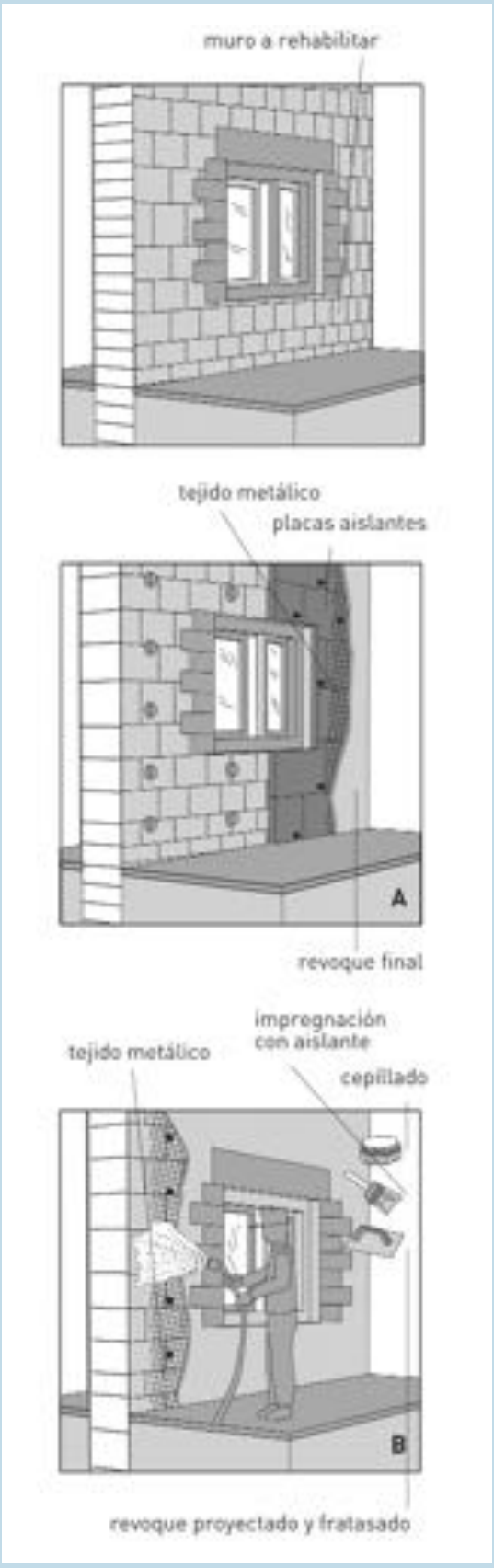
Los mineralizadores a base de silicatos y otros compuestos, que se introducen en soluciones acuosas, no cierran completamente los poros, sino que los reducen por debajo de 0,010 micras. A título orientativo, la mayor parte de los poros de un ladrillo tiene diámetros comprendidos entre 0,1 y 10 micras.

Sin embargo, estas soluciones acuosas presentan el inconveniente de introducir todavía más agua en los bajos del muro. Además, el proceso de obstrucción de los capilares es siempre superior a seis meses. Por ello, se han desarrollado otros procedimientos, como la inyección de prepolímeros de poliuretano que reaccionan con el agua, formando una espuma impermeable de poliuretano (para capilares mayores de 50 micras).

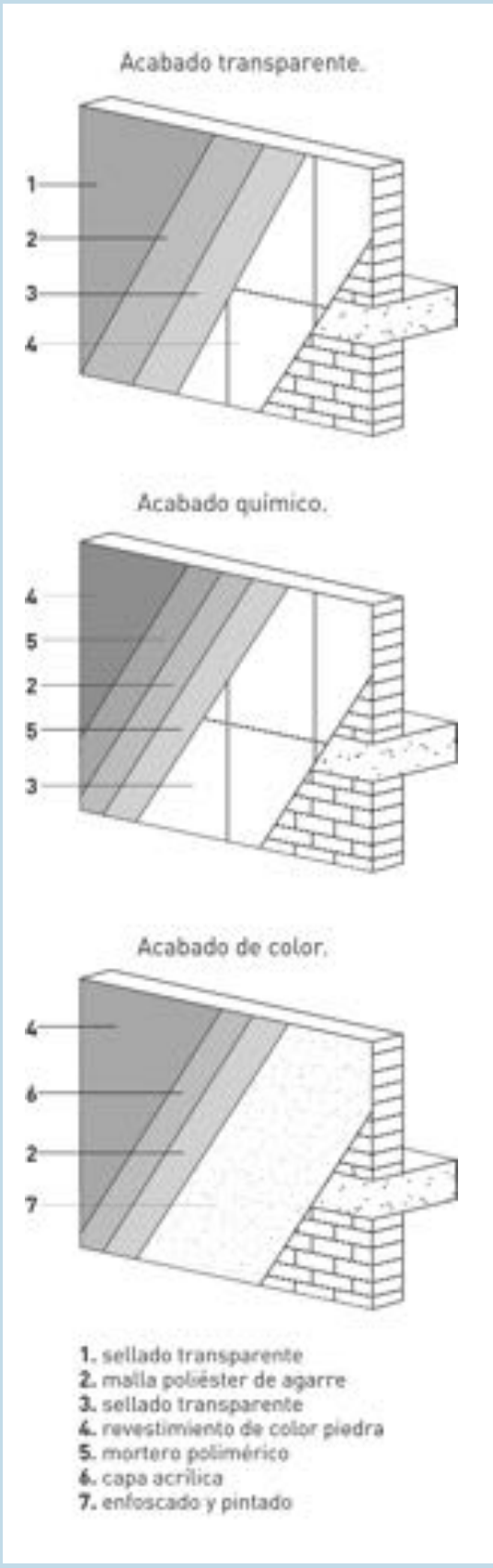
Otro procedimiento que consigue obstruir de una manera instantánea los capilares es la aplicación de una cera sólida que se introduce caliente en una sección del muro, mediante taladros equidistantes 12 cm. El muro debe también haberse calentado a temperaturas mínimas de 90 ºC.



Esquema de un caso especial de condensación intersticial y posibe solución.



Dos soluciones para un muro que presenta problemas de filtración de agua desde el exterior.



Distintos sistemas de estanqueidad para cerramientos exteriores.

HIDROFUGACIÓN

La hidrofugación de los poros, que deja más fácil salida al vapor de agua, se basa en la impregnación con líquidos a base de siliconas diluidas en disolventes orgánicos o siloxanos. Este procedimiento, que crea una franja horizontal repelente al agua, se emplea desde hace décadas en superficies verticales exteriores. Sin embargo, en la formación de barreras horizontales la experiencia es más reciente y los resultados obtenidos son contradictorios.

Por ejemplo, la barrera puede fallar por la presencia de huecos no detectados en las partes bajas del muro, por donde se pierde el líquido hidrofugante, o por la existencia de zonas muy húmedas que imposibilitan que se lleve a cabo la hidrofugación.

La perforación del muro se realiza a través de taladros, separados entre 10 o 20 cm, en una o dos líneas. El líquido se introduce por gravedad a través de unos difusores colocados en los orificios y conectados a tubos de conducción y depósitos. Si se detectan grietas o huecos, hay que rellenarlos previamente con cementos o morteros expansivos. Si el tratamiento se realiza con altos contenidos de humedad, habrá que proceder a disminuir ésta, acoplando a los mismos orificios unos secadores de microondas con temperaturas de 90 ºC. Una vez seco el muro, hay que esperar a que descienda la temperatura a 40 ºC, antes de proceder a la hidrofugación.

En la desecación de los muros, los primeros poros en perder agua son los de mayor diámetro, parte de cuya agua y sales perdidas pasan a los poros más pequeños. La reducción se hace más difícil cuanto menores sean éstos. En realidad, no se trata de eliminar completamente la humedad, sino de alcanzar un equilibrio entre ésta y el material constitutivo del muro. Si existen sales solubles, habrá que sumar la humedad que aporta la higroscopicidad de las mismas.

HUMEDAD POR FILTRACIÓN DE AGUA

Se trata de la humedad que aparece como consecuencia de la filtración de agua desde el exterior hacia el interior del cerramiento. El primer síntoma es la aparición de manchas en la fachada, perceptibles inicialmente desde el exterior y posteriormente desde el interior. Si la lesión persiste, puede llegar a producir rezumes e incluso goteos. Finalmente, si no se detecta y repara la lesión, provocará la aparición de lesiones secundarias.

La filtración de agua es una lesión que viene determinada por la propia constitución de los cerramientos, marcados por numerosos encuentros de materiales poco compatibles en sus movimientos: muros y dinteles, forjados y carpintería, teniendo en cuenta además los huecos abiertos en la fachada para la colocación de barandillas, farolas, etc.

Esta lesión se acusa especialmente en los cerramientos exteriores de ladrillo visto, donde la retracción de los morteros origina con frecuencia una fisura horizontal debajo de cada ladrillo. Además, las juntas verticales presentan con frecuencia escasez de mortero, debido a errores en la ejecución. En este tipo de fachadas, son siempre preferibles las juntas enrasadas.

Existen una serie de puntos conflictivos que favorecen la aparición de humedades de filtración y que cabe tener en cuenta. Por ejemplo, en los remates superiores (cornisas y petos de terraza) es frecuente la filtración por los bordes o por las juntas entre piezas. Ello se produce sobre todo cuando la albardilla es insuficiente o inadecuada (poco impermeable, con escaso vuelo en los dos frentes o con juntas muy abiertas entre piezas).

La diagnosis no suele oponer dudas, mientras que la reparación se enfoca generalmente hacia la impermeabilización y el correcto drenaje del agua. Si la albardilla de mortero presenta erosión, será necesario rehacerla, adoptando las pendientes adecuadas, o sustituirla por otra de material impermeable y con suficiente vuelo por ambos lados.

Si se trata de albardillas de elementos prefabricados con vuelo insuficiente y sin goterón, la filtración se produce normalmente por las juntas, las posibles perforaciones o el borde. La mejor solución es reponerlas, pero si las piezas están en buen estado, con vuelo y pendientes correctas, pueden retacarse las juntas con mortero de cemento, expansivo o de resinas, o bien sellarse con productos elastómeros. Siempre puede resultar conveniente colocar una nueva albardilla de chapa metálica directamente sobre la existente.

Otro punto que ocasiona frecuentes acumulaciones de agua es el encuentro entre el plano de fachada y un segundo plano horizontal (relieves y salientes en general, molduras puntuales o lineales o balcones). Si existen unas condiciones de alta porosidad, el agua acumulada se filtrará fácilmente hacia el interior.

En los balcones, el drenaje directo al exterior se limita con frecuencia a un simple tubo metálico de reducida sección, poca inclinación y escaso vuelo, que se obtura fácilmente. La filtración del agua de lluvia por sus bordes ocasiona humedades en el peto, además de eflorescencias y erosiones físicas.

También en paños ciegos pueden presentarse filtraciones de agua a través del propio poro del material constitutivo del cerramiento, de grietas y fisuras previas, de desconchados en los revocos o de juntas defectuosas en fábricas de ladrillo.

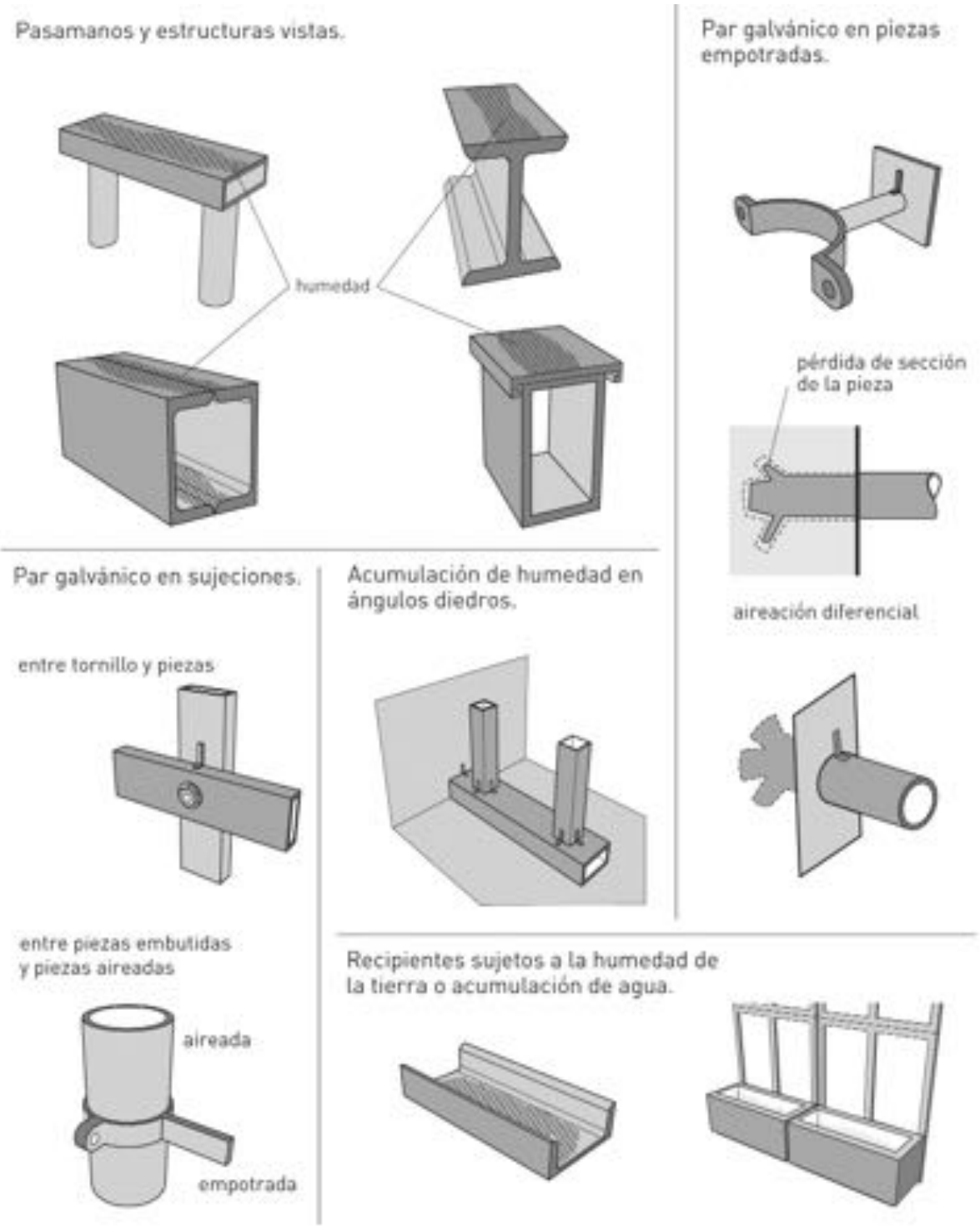
La presencia de viento y de agua que se desliza por el paramento exterior son los factores que favorecen estas filtraciones, que suelen aparecer a una cota similar o ligeramente inferior al punto de entrada. Pueden manifestarse a través de manchas de superficie parabólica, como consecuencia de pérdidas en bajantes obstruidos, mal conectados o fisurados.

La frecuente confusión con otros tipos de humedades obliga en este caso a un examen en profundidad, estudiando aspectos como la porosidad de los materiales o el coeficiente de absorción de la capa exterior; detectando fisuras, grietas y posibles defectos en los acabados; y localizando los puntos de acumulaciones importantes de agua.

Las humedades en el arranque del cerramiento pueden manifestarse con amplitud en la superficie exterior, en forma parabólica o, por el contrario, aparecer con facilidad en los muros interiores de planta baja, sobresaliendo incluso por encima del rodapié. Proceden del agua de lluvia que se acumula en la base del muro, las salpicaduras de las precipitaciones al rebotar contra el cerramiento, el embalsamiento de agua al deshelarse la nieve adosada al edificio, la retenida al invertirse la pendiente de la acera cuando asienta el edificio, las arquetas defectuosamente construidas o mantenidas, etc.

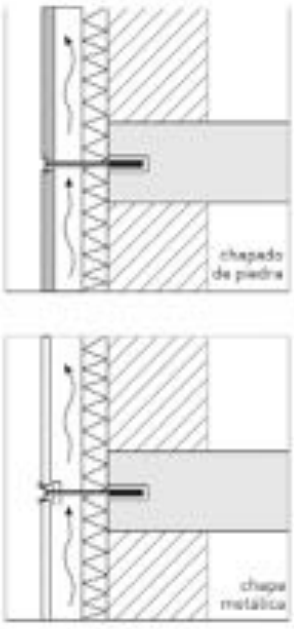
TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN DE LAS HUMEDADES DE FILTRACIÓN

La forma de combatir la filtración está siempre en función de la causa. Si se trata únicamente de la propia porosidad del material, la solución es aplicar un acabado impermeabilizante, que deje respirar al cerramiento. Puede ser una pintura hidrófuga de poro abierto, pero también un aplacado con chapas metálicas o fibrocemento, alicatados y chapados de piedra, o un simple enfoscado o revoco de carácter hidrófugo.



Situaciones y errores más comunes que producen el par galvánico de corrosión en los elementos metálicos.

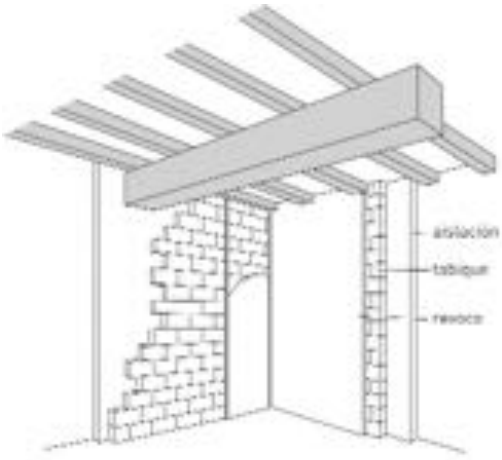
Fachadas ventiladas.



Cubierta ventilada.



La ventilación de los cerramientos, ya sean de fachada o de cubierta, ayudan a que no se forme humedad por condensación superficial. De esta manera se prolonga la vida útil de los materiales, se mejora el anclaje y las aislaciones térmicasfuncionan mejor.



Mediante el agregado de paneles aislantes, tabique de ladrillo hueco y revoco.



Mediante la adición de paneles prefabricados con aislación incluida que se aplican directamente sobre el muro a tratar.

Reacondicionamiento de muros con deficiencias térmicas, problemas de filtración y condensación interior.

Algunas de estas soluciones implican una alteración del aspecto de la fachada, al dar entrada a un nuevo material. En cerramientos de obra vista, donde es importante mantener el aspecto original de la fachada, puede optarse por los productos hidrofugantes, normalmente a base de siloxanos. No obstante, pese a ser transparentes, producen una ligera variación del brillo de las superficie. Además, precisan una reposición periódica, que ronda periodos de diez años. Deben aplicarse sobre el muro seco.

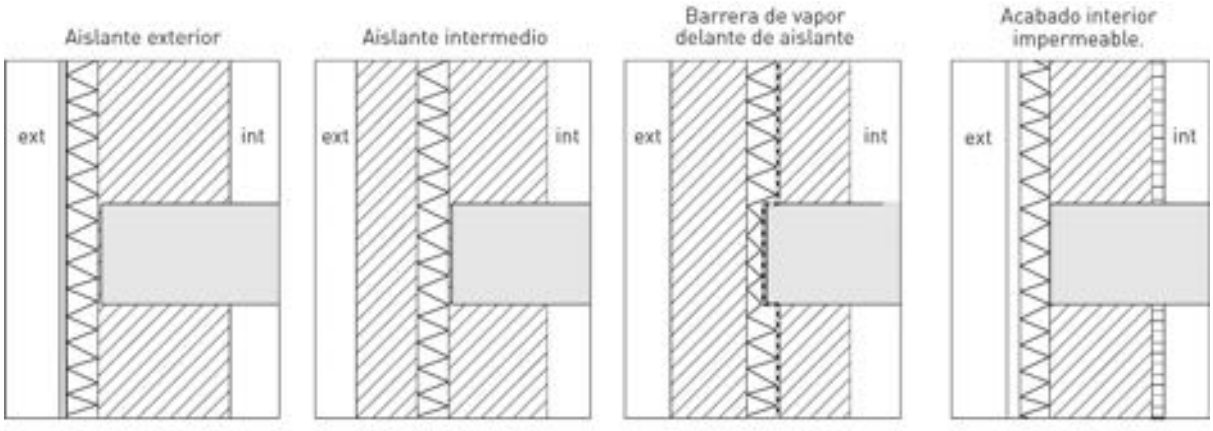
Siempre que existen rincones (en relieves, molduras o balcones), pueden existir juntas constructivas que favorecen la filtración. El caso más común aparece en los diedros horizontales, donde la humedad de filtración se adiciona a la de microcapilaridad que hemos visto en el punto anterior.

En ocasiones, ambas humedades pueden llegar a confundirse. Hay que tener en cuenta, a la hora de proceder a una diagnosis que, mientras que las humedades de filtración tienden a penetrar hacia el interior del cerramiento, las de capilaridad en elementos horizontales permanecen en el exterior.

Como primera medida terapéutica, hay que proceder al sellado de estas juntas, siempre que el elemento horizontal se encuentre en buenas condiciones. De lo contrario, habrá que demoler y reponer de nuevo.

Además, en estas plataformas horizontales, la inexistencia o insuficiencia de pendiente es causa frecuente de filtraciones. Del mismo modo ocurre en terrazas y balcones que no disponen de rodapié. Deberemos siempre provocar o incrementar dicha pendiente, normalmente incluyendo un elemento impermeable tipo "semialbardilla". Si la plataforma pertenece a una terraza o a un balcón accesible, convendrá comprobar la existencia de rodapié.

En balcones con peto de obra, hay que tener en cuenta que se trata de cubetas que necesitan, como tales, un sistema de desagüe y una impermeabilización de la base de los muros, hasta el nivel que pudiese alcanzar el agua (por lo menos 15 cm). Además, es necesario prever un sistema de drenaje, dando continuidad al material impermeable con la boca del tubo drenante, de manera que en su encuentro no se puedan producir filtraciones. La introducción de una cazoleta de sumidero, entre el pavimento y la gárgola, es una solución adecuada para estos casos.



Prevención de condensación superficial inferior.

HUMEDAD POR CONDENSACIÓN

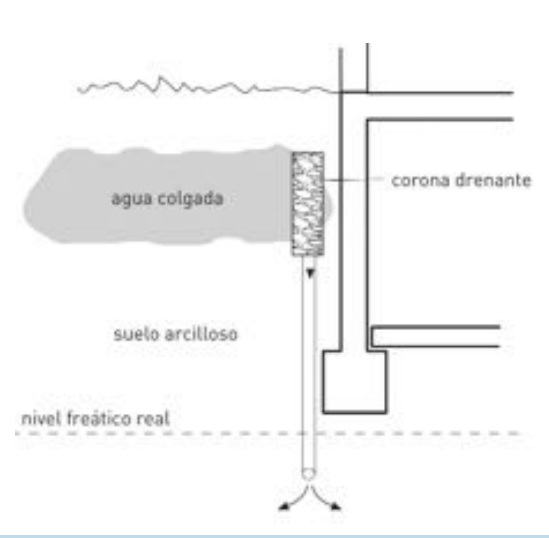
Ante la presencia de vapor de agua, en un ambiente determinado, un cerramiento es una barrera artificial que se opone a la búsqueda de un equilibrio de presión a ambos lados del muro. En condiciones normales, se establece una corriente de vapor de agua que se desplaza desde el ambiente con mayor presión al de menor presión. Sin embargo, cuando el elemento constructivo no es permisivo al paso del vapor de agua o lo es poco, aparece la condensación al alcanzar éste la denominada temperatura de saturación o de rocío. En consecuencia, se produce la aparición de la humedad.

La condensación intersticial aparece en el interior del propio muro de cerramiento cuando su temperatura es inferior a la de rocío que le correspondería al vapor de agua, dependiendo de la presión con que llega a este punto dentro del propio muro. En cualquier caso, el vapor va perdiendo presión al ir atravesando el cerramiento. Sin embargo, si el gradiente de temperaturas va disminuyendo a medida que se acerca al exterior, como sucede en invierno, el vapor puede alcanzar en algún momento de su recorrido la temperatura de saturación.

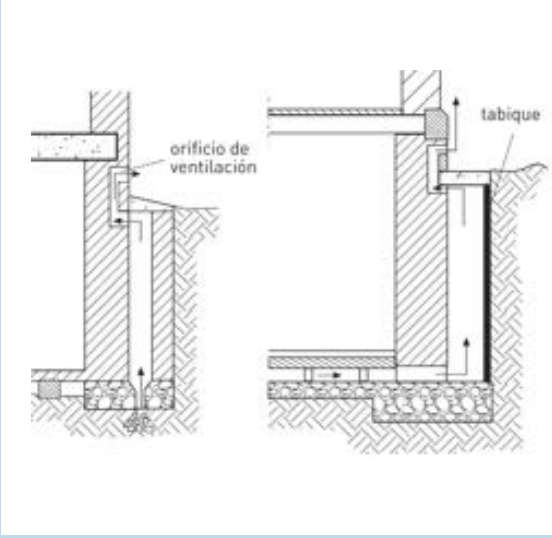
Ello depende no sólo de la cantidad de vapor de agua que atraviese el muro y del gradiente de temperatura del mismo, sino además de la constitución del propio cerramiento, la disposición de las distintas capas que lo conforman y la permisividad al paso del vapor de agua de cada una de ellas, así como de su coeficiente de aislamiento. El grosor del cerramiento y la existencia de diferentes capas determinan la temperatura de rocío, al condicionar el paso del vapor de agua a través de cada una de ellas. Al mismo tiempo, afectan a la temperatura interna del cerramiento, en función del mayor o menor aislamiento. El cruce entre ambos gradientes determina la aparición del fenómeno de la condensación y ofrece las pautas para su corrección y prevención. Los síntomas no se manifiestan hasta tiempo después, cuando aparece una lesión secundaria o una mancha en el exterior.

La condensación intersticial y la interior pueden aparecer simultáneamente, dado que parte del vapor de agua sigue desplazándose hacia el exterior a pesar de que se haya producido ya la condensación en la superficie interior del cerramiento.

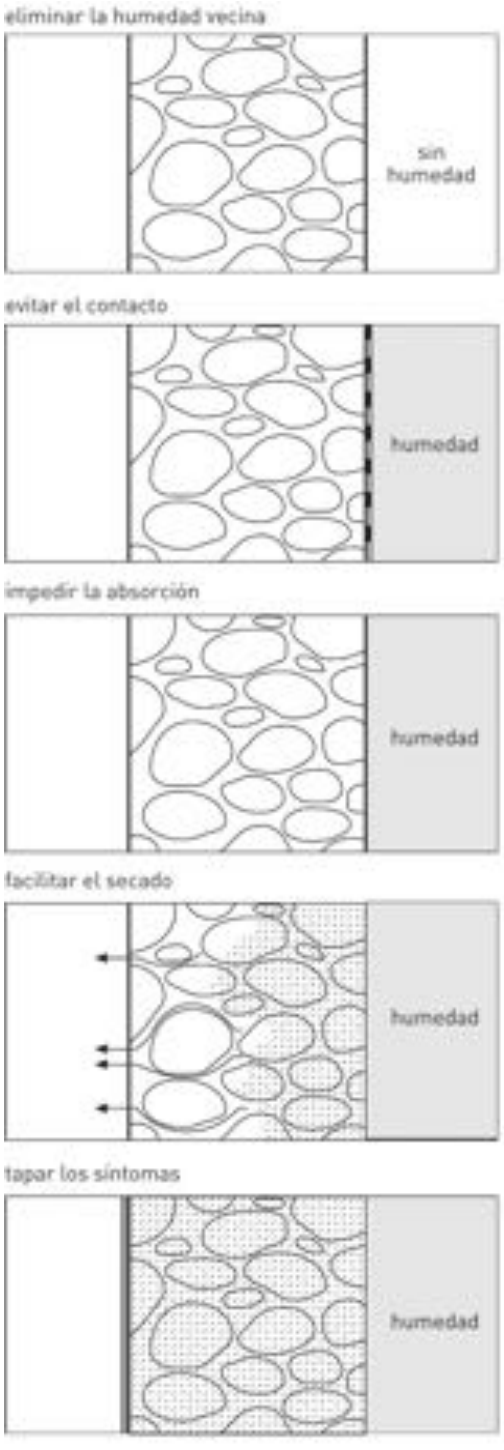
Las condensaciones intersticiales pueden confundirse con ciertas humedades de tipo accidental, complicando el diagnóstico el hecho de que la lesión tiene un inicio oculto, puesto que la temperatura de rocío se alcanza en un punto interior del espesor del cerramiento.



Corona drenante para la eliminación de aguas colgadas en la periferia de los subsuelos.



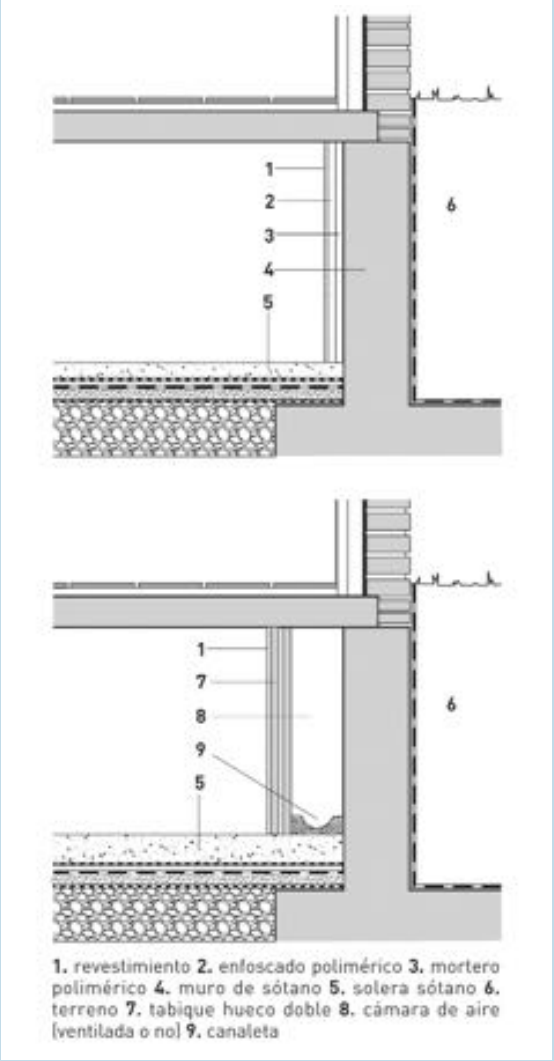
Muros de sótano ventilados.



Las estrategias a adoptar frente a la humedad en muros de sótano va desde eliminar el agua circundante hasta tapar el mal aspecto.



La porosidad de los materiales es una de las razones principales para la acumulación y retención de humedad.



1. revestimiento **2.** enfoscado polimérico **3.** mortero polimérico **4.** muro de sótano **5.** solera sótano **6.** terreno **7.** tabique hueco doble **8.** cámara de aire (ventilada o no) **9.** canaleta

Esquemas constructivos para prevenir las humedades de condensación y filtración en muros de sótanos en contacto con el terreno.

Por ello, en su diagnosis habrá que estudiar los gradientes de temperatura y de los enlaces constructivos. La identificación resulta sencilla cuando se trata de un problema de puentes térmicos, debido a su concreta localización.

Una vez identificada la lesión y localizado su origen, las actuaciones a llevar a cabo se enfocarán a evitar que se alcance la temperatura de rocío en ningún punto del cerramiento.

Ello puede enfrentarse mediante un incremento de la temperatura general en el interior de la sección del cerramiento; una disminución de la temperatura de rocío; o disipando el vapor de agua que cruza el cerramiento.

- **PARA INCREMENTAR LA TEMPERATURA GENERAL EN EL INTERIOR DE LA SECCIÓN DEL CERRAMIENTO ES NECESARIO AUMENTAR PRIMERAMENTE EL COEFICIENTE DE AISLAMIENTO**. Para ello, puede recurrirse a añadir aislante por la cara externa del muro o a inyectarlo en su cámara de aire, si el estudio de los gradientes de temperatura así lo indica. Colocar aislante en la cara interior no aportará ninguna mejora al problema.

El aislamiento adosado al cerramiento por el exterior puede realizarse mediante la colocación manual de morteros especiales de conglomerante hidráulico, con áridos constituidos por pequeñas esferas de poliestireno, vidrio o arcilla. Puede colocarse sobre una malla de soporte, humedeciendo antes el muro a tratar. Previamente, es necesario limpiar la superficie, con algún método eficaz, como la proyección de arena. El tratamiento debe efectuarse sobre el muro húmedo.

Una alternativa es el poliuretano expandido *in situ*, formado por isocianato y poliol. Su colocación se realiza mediante un equipo espumador, que proyecta el aislante formando diversas capas de un centímetro, hasta conseguir el grosor necesario. Se acaba normalmente con productos elastoméricos, que ofrecen mayor protección, además del acabado deseado.

Finalmente, hay que considerar los diferentes tipos de aislamientos mediante paneles adosados al paramento, que consiguen proteger contra las humedades de filtración y de absorción, eliminar los puentes térmicos y reduciendo las contracciones y dilataciones de origen térmico. Su grosor vendrá determinado por el cálculo del coeficiente global de transmisión térmica. Aunque modifican el aspecto exterior del edificio, la mejora que puede obtenerse en el comportamiento del cerramiento justifica en ocasiones contemplar estas posibilidades:

- **PANELES DE POLIURETANO EXTRUIDO, ADHERIDOS MEDIANTE COLAS Y MORTEROS**. Se protegen con una capa armada con fibra de vidrio, de entre 3 y 5 mm, que sirve a la vez de soporte para los acabados posteriores. Si la capa de acabado es a base de morteros hidráulicos proyectados, pueden aplicarse paneles ranurados, cuya armadura se fija previamente al cerramiento mediante anclajes. También existen paneles de poliuretano con acabados incorporados, fijados directamente al muro exterior por medio de rastreles.

- **PANELES DE LANA MINERAL O DE FIBRA DE VIDRIO, FIJADOS POR MEDIOS MECÁNICOS**, sobre los que se sitúan rastreles, también anclados al soporte base, que servirán de apoyo a un recubrimiento o aplacado a base de lamas, que pueden ser de diferentes materiales. Un sistema cada vez más usado en el anclaje de los paneles son los perfiles de PVC.

- **PLANCHAS FORMADAS POR UN 30 % DE CEMENTO PÓRTLAND Y UN 70 % DE ADHESIVO ESPECIAL**. Se aplican sobre el soporte humedecido, esperando 24 horas antes de extender sobre la superficie de las planchas un adhesivo especial con un 30 % de cemento blanco y, embebida en éste, una malla de plástico o de fibra de vidrio que será el soporte para la capa de acabado.

El aislamiento en el interior de muros con cámara de aire consiste en inyectar espumas de urea-formol, poliuretano, etc., mediante una operación sencilla, que no incrementa además el grosor del muro.

El inconveniente reside en que el propio espesor de la cámara limita el del aislamiento. Además, no soluciona los puentes térmicos de la estructura. Puede efectuarse este tratamiento siempre que se compruebe anteriormente que las hojas del muro presentan rigidez suficiente para soportar las presiones de inyección y expansión. La anulación de los puentes térmicos, donde se presenta la lesión con más asiduidad, puede realizarse aplicando puntualmente en dichos puntos un aislamiento exterior.



La porosidad de este hormigón expuesto a la intemperie provoca la retención de humedad y la aprición del “verdín”.

- **UN SEGUNDO MÉTODO PARA EVITAR QUE SE ALCANCE LA TEMPERATURA DE ROCÍO EN EL CERRAMIENTO CONSISTE EN DISMINUIR ÉSTA EN EL INTERIOR DE LA SECCIÓN DEL PROPIO MURO**. De este modo, se conseguirá alejar su gradiente del de la temperatura del cerramiento. Ello se consigue haciendo descender la presión del vapor de agua, a través de aumentar la ventilación, o cortando su paso añadiendo por la cara interior del cerramiento una barrera. Suele tratarse de planchas de cartón yeso con laminados vinílicos e incluso de papeles y acabados plásticos.

Esta barrera puede provocar una condensación superficial, al generar una acumulación de vapor de agua delante de ella. Por ello, deberá estudiarse una solución con la máxima permisividad posible al paso del vapor y, antes de aplicarla, estudiar dichos gradientes.

- **FINALMENTE, UN TERCER MÉTODO PARA EVITAR QUE SE ALCANCE LA TEMPERATURA DE ROCÍO CONSISTE EN DISIPAR EL VAPOR DE AGUA QUE CRUZA EL CERRAMIENTO, ANTES DE QUE ALCANCE LA TEMPERATURA DE ROCÍO.** De este modo, la condensación se producirá en el exterior. Una solución clásica y muy usada en países húmedos es el denominado "cavity wall", es decir, un muro doble con una cámara de aire interior, ventilada hacia el exterior. Con ello, se consigue disminuir la presión de vapor.

Cuando el "cavity wall" no ha sido proyectado en la construcción del cerramiento, puede añadirse al muro afectado una cámara de aire ventilada por el exterior, cuando ello sea aceptable desde el punto de vista constructivo. En el caso de fachadas, hay que tener en cuenta el cambio estético que provoca esta obra.

LA CONDENSACIÓN HIGROSCÓPICA

En el interior de los poros del muro de cerramiento pueden encontrarse depositadas ciertas sales higroscópicas cristalizadas, que absorben el vapor de agua hasta provocar una condensación por acumulación. Estas sales pueden ser debidas a anteriores humedades de capilaridad o de filtración, que han causado su disolución y arrastre a lo largo del tiempo.

Los poros superficiales de los materiales de acabado son especialmente propicios a la cristalización de estas sales cuando se produce la evaporación del agua contenida en ellos.

La diagnosis de este tipo de humedad exige calar parcialmente el acabado:

- **SI SU TRASDÓS PERMANECE SECO SIGNIFICA QUE LA HUMEDAD VIENE DESDE AFUERA**, tratándose por lo tanto de una condensación higroscópica.

- **POR EL CONTRARIO, SI LA HUMEDAD SE MANIFIESTA MÁS INTENSA HACIA EL INTERIOR**, es causada por capilaridad o de filtraciones.

La terapéutica de este tipo de humedades pasa siempre por la eliminación de las sales higroscópicas, retirando la capa de revoco que las contiene y procediendo al saneado de la superficie.

Menos drástico es humedecer el revoco para disolver las sales contenidas y, a continuación, absorber la humedad mediante apósitos de algún producto secante, como la arcilla. Este método, más complicado, es indicado para reparaciones en edificios históricos en los que sea preciso conservar el acabado.

DISTINTOS TIPOS DE BARRERAS HIDRÓFUGAS VERTICALES

ELEMENTOS DISCONTINUOS (chapas o láminas)

Productos bituminosos	Existen varios modelos y alternativas. Exceptos las placas onduladas de fibrobetún, el resto suelen colocarse por adhesión al muro. Los movimientos del soporte son absorbidos con mayor capcidad por la placas de betún elastomérico.
Láminas sintéticas	Constituidas por polímeros y copolímeros plásticos y/o elastoméricos. Suelen colocarse mediante anclaje con clavos, a lo largo de todo el perímetro del muro. De mayor duración que los productos bituminosos.
Paneles de cartón *kraft* y láminas geotextiles	La bentonita sódica, una arcilla que se expande hasta multiplicar por 15 su volumen inicial cuando entra en contacto con el agua, se utiliza para rellenar estos paneles. Presenta la ventaja de compactar los huecos entre edificio y terreno.

ELEMENTOS CONTINUOS (pastas, líquidos)

Morteros especiales y productos bituminosos y sintéticos	Son aplicados con brocha, rodillo o paleta. Una vez realizada la barrera, es conveniente superponer algún sistema de protección mecánica que evite su roce con el terreno.

HUMEDADES EN MUROS DE SÓTANO

La especial ubicación y características de los sótanos determina que estos recintos se manifiesten especialmente proclives a la aparición de humedades. Sin embargo, las actuales exigencias de salubridad exigen que estas estancias se equiparen a las del resto del edificio.

Recogemos algunas de las causas directas de las humedades en sótanos, sobre las cuales habremos de desarrollar el plan de actuaciones:

- **LA PRESENCIA DE AGUA** (líquida o en forma de vapor).
- **LA FALTA DE AISLAMIENTO ENTRE EL ELEMENTO CONSTRUCTIVO Y EL AGUA**, que permite su absorción por parte de los materiales porosos y su penetración a través de grietas u otras aberturas.
- **LA EXISTENCIA DE VÍAS DE PENETRACIÓN, EN FORMA DE JUNTAS, GRIETAS Y POROS**. Esta causa indirecta, como la anterior, se origina en fallos del propio elemento o en el proceso constructivo.
- **EN CIRCUNSTANCIAS AMBIENTALES INAPROPIADAS**, el agua tiende a permanecer en el interior de los poros, cuando la estructura capilar del elemento constructivo es suficientemente fina.

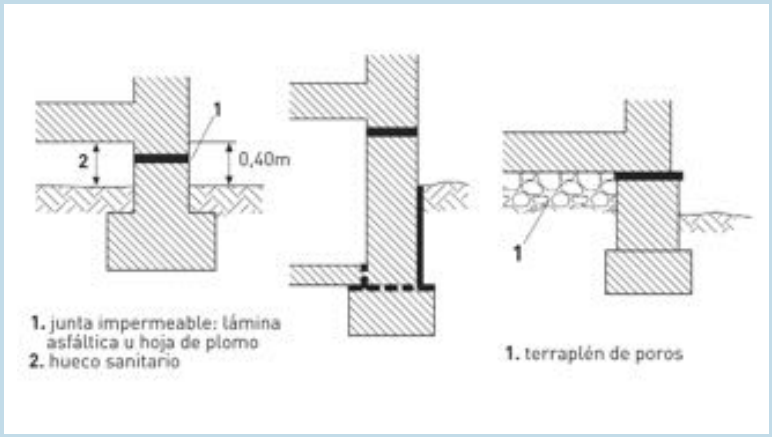
Las humedades que se manifiestan con mayor frecuencia coinciden con las que hemos estudiado en el caso de los cerramientos exteriores. Pero varían en su causa:

1. LAS FILTRACIONES DIRECTAS DE AGUA PROCEDENTE DEL EXTERIOR

Se producen través de los muros y soleras inferiores del edificio y suelen aparecer por la coincidencia de varios errores en el diseño y la ejecución de la envolvente. A ellos puede añadirse la existencia de una carga hidráulica exterior originada en el nivel freático, en flujos subterráneos, en aguas colgadas o simplemente en el agua de lluvia.

Las filtraciones pueden llegar a provocar entradas francas de agua o, en casos menos graves, pequeños rezumes. Aparecen a través de la losa, en las cabezas de apoyo de las jácenas, en la unión de la losa del techo con el muro, en las diferentes juntas, a través de los pasamuros utilizados para el paso de los latiguillos, por eventuales coqueras, en la solera o en la unión de ésta con el muro, etc.

Un material inadecuado en los muros, la insuficiencia del sistema de drenaje, el establecimiento de barreras incapaces de hacer frente a la penetración de flujo piezométrico y la ausencia de un estudio del caudal de agua a evacuar son algunos de los defectos de proyecto más comunes.



Barreras anticapilares.



Electroósmosis activa para combatir la humedad ascendente.

Pueden deberse en general al desconocimiento de las características del suelo, de su estratigrafía y permeabilidad, de las oscilaciones del nivel freático, de la posible existencia de cargas hidráulicas sobre los muros del sótano, de la presencia de aguas colgadas o aljibes, de eventuales flujos de aguas subterráneas, de la tensión admisible del terreno, de los asientos ligados a ella, etc. La total ausencia de estudios geotécnicos y de sondeos del nivel freático abocan a un desconocimiento completo acerca del suelo sobre el que levantamos el edificio.

Durante la ejecución, las lesiones aparecen por la penetración de agua en el encuentro entre el muro perimetral y el suelo del último sótano, cuando existe un defecto de estanqueidad por no haberse sellado correctamente este punto.

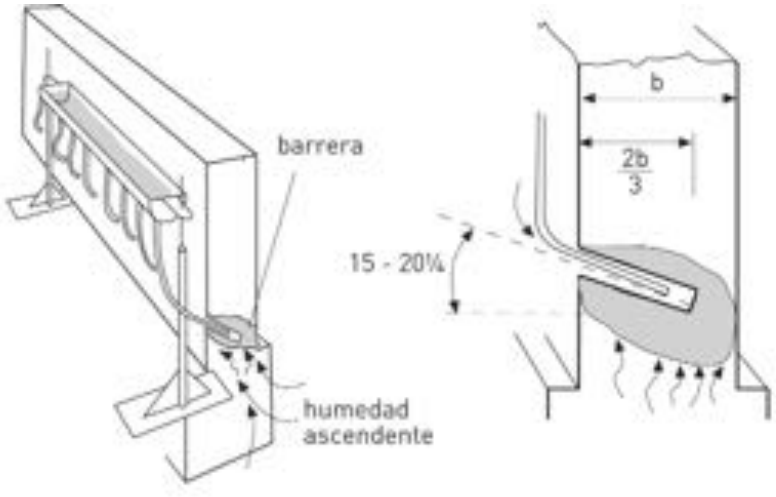
Puede suceder también cuando se desconoce la cota que alcanza el nivel freático en época de fuertes o frecuentes precipitaciones.

2. LAS HUMEDADES DE CAPILARIDAD

Al estar en contacto directo con el subsuelo, es frecuente la aparición en sótanos de humedades de capilaridad, que se manifiestan a través de eflorescencias y manchas, así como ahuecamientos y desprendimientos de los materiales de acabado.

3. LAS HUMEDADES DE CONDENSACIÓN

Surgen fundamentalmente por la escasa ventilación de que adolece este tipo de estancias. Pueden llegar a provocar, en estados graves, la aparición de colonias de hongos.



Inyecciones químicas en muros mediante las cuales se generan barreras de siliconas o productos similares que detienen la humedad ascendente.

ACTUACIONES DE REPARACIÓN E INTERVENCIÓN

Por orden de prioridad, podríamos contemplar varias actuaciones posibles: la eliminación de la presencia de agua, la creación de barreras impermeables, la contención del flujo del agua y el secado de los elementos superficiales. Siempre es preferible aplicar las primeras soluciones a las últimas. Por ejemplo, la creación de barreras impermeables se contempla cuando no es posible eliminar la presencia de agua. De todos modos, varias de estas soluciones pueden llevarse a cabo conjuntamente, de modo complementario.

A. ELIMINAR LA PRESENCIA DE AGUA

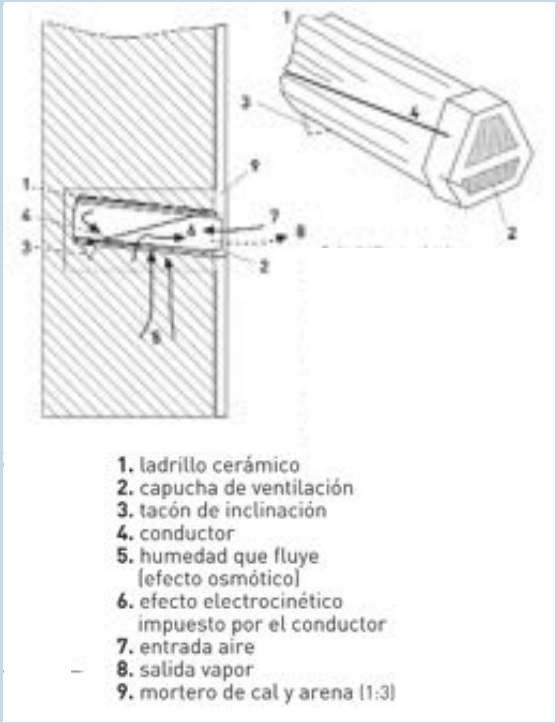
Para ello, es necesario detectar previamente su fuente y conducirla lejos del edificio. Sobre rasante, se procederá a sellar las juntas y líneas de unión de aceras desde el exterior, de modo que no penetre el agua procedente de la lluvia o de fugas en instalaciones urbanas. La pavimentación perimetral del edificio ha de tener una anchura suficiente, teniendo en cuenta a la hora de aislarla su posible movilidad o asiento diferencial.

Bajo rasante, la técnica consiste en desviar o canalizar el agua, alejándola del edificio. Algunas de las metodologías ya han sido vistas ampliamente en el apartado de humedad por capilaridad:

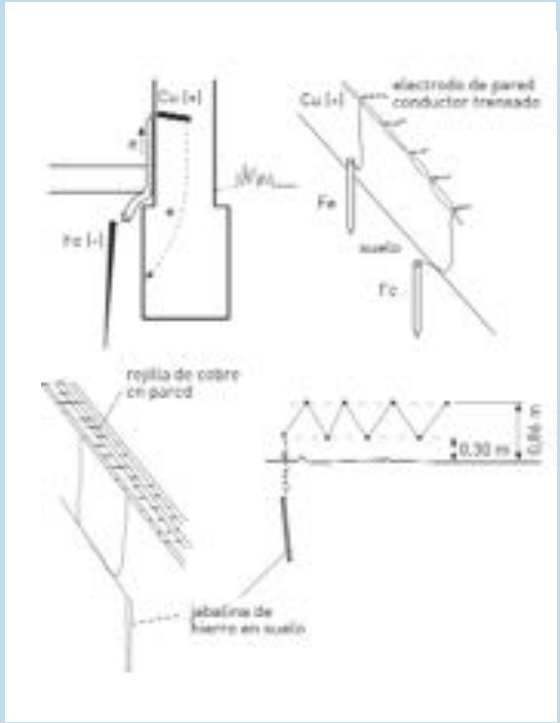
- **EL DRENAJE DEL TERRENO**, mediante la instalación de una red de zanjas drenantes, tubos porosos y/o láminas de drenaje que conducen el agua en un nivel inferior al de apoyo de la cimentación.

- **EL PATIO INGLÉS**, especie de trinchera perimetral y abierta, recoge el agua y permite la ventilación y la iluminación natural de las zonas bajo rasante. Pese a tratarse de una solución eficaz, su aplicación en contextos urbanos resulta compleja, por cuanto exige la duplicación del muro perimetral del edificio: uno para contención y otro para cerramiento.

- **LAS ATAGUÍAS O PANTALLAS DE CONTENCIÓN** desvían y canalizan las corrientes freáticas, pero sólo son aplicables en edificios aislados. La construcción de muros pantalla perimetrales, de hormigones altamente compactos e impermeables, es una solución alternativa.



Sifones electrosmóticos de desecación para muros con humedad ascendente. Sistema patentado Raem.



Electroósmosis pasiva para controlar la humedad ascendente o capilar.

- **CUANDO SE DESEA AISLAR EL MURO, LAS CÁMARAS VENTILADAS**, formadas por contraparedes separadas del muro unos 5 a 10 cm, que no están en contacto con el suelo, son una buena solución Si se quiere aislar la solera, puede colocarse como cámara de aire un sobresuelo, que puede estar formado por piezas cerámicas de gran longitud dispuestas sobre maestras, con una separación de 1 a 1,25 metros. En este espacio entre la solera y el sobresuelo se interpone una lámina impermeable. Las cámaras deben alcanzar siempre el nivel de la cimentación y sobrepasar ligeramente el del terreno. En zonas con gran presencia de humedad ambiental, es conveniente disponer un sistema de evacuación de agua. Si se contemplan ambas cámaras, la de solera y la de pared, resulta esencial prever la conexión entre ambas, ya que esto aportará una mayor ventilación contra las humedades.

B. CREAR BARRERAS IMPERMEABLES QUE IMPIDAN EL CONTACTO DEL AGUA Y DEL VAPOR DE AGUA CON LAS PARTES ENTERRADAS DEL EDIFICIO

Esta técnica es complementaria o alternativa a las soluciones anteriores. Se basa siempre en la colocación de barreras, verticales u horizontales, que acumulan el agua junto a ellas, desviándola posteriormente, mediante sistemas de drenaje, a la red de evacuación general de aguas u otros puntos previstos.

Las barreras verticales se colocan bajo rasante, en forma de láminas (elementos discontinuos) o de mortero (elementos continuos). Si el agua procede del terreno, la barrera se adosa a la superficie exterior del muro. Puede dejarse una pequeña separación, a modo de cámara de aire. La excavación perimetral del edificio, para la colocación de una red de drenaje, puede ser aprovechada para realizar las operaciones de barrera.

Las barreras horizontales se colocan por debajo del nivel del suelo, buscando evitar los efectos de la subpresión del agua. Una de las soluciones más eficaces es la colocación de una lámina de polietileno, entre un encachado de grava drenado y una solera de hormigón.

En soleras ventiladas y drenadas inferiormente, existe una técnica que consiste en colocar casetones de polipropileno, denominados iglús, a modo de encofrado perdido.

C. IMPEDIR EL FLUJO DEL AGUA POR EL INTERIOR DE LOS MATERIALES

Con este sistema, es posible detener la absorción de la humedad al contener la circulación del flujo de agua. Esta solución se aplica en los casos en que resultan imposibles las dos anteriores, es decir, cuando no se ha podido alejar el agua ni evitar su contacto con el muro de sótano.

En este caso, se trata de evitar el paso del agua líquida, manteniendo sin embargo una permeabilidad suficiente para la circulación del vapor, de modo que no se agraven los problemas de condensación en la cara interior del cerramiento.

Al contrario que en los sistemas anteriores, estos procedimientos obligan a actuar desde la parte interior del cerramiento de sótano. Pueden enfocarse desde tres perspectivas posibles:

- **LA ELIMINACIÓN TOTAL O PARCIAL DE LA POROSIDAD DE LOS MATERIALES.**
- **LA HIDROFUGACIÓN INTERNA.**
- **LA INSERCIÓN HORIZONTAL DE UNA BARRERA FÍSICA.**

Las dos primeras soluciones son eficaces contra las humedades de absorción. Es necesario detectar y anular la existencia de puentes de humedad, dado que si éstos persisten puede llegar a agravarse la lesión o, en el mejor de los casos, reaparecer.

Mejora de la capacidad de transpiración del muro.	Aumento de la relación superficie/espesor del muro, bien incrementando la superficie o bien reduciendo el espesor.	
	Aplicación de revestimientos difusores o macroporosos.	Permiten absorber al agua contenida en la superficie del muro y cederla al ambiente. Se trata de revocos de una o dos capas, con una red capilar de alta porosidad, el control de la cual se consigue mediante la dosificación y proporción de agua y cemento. Asimismo, puede controlarse el tamaño de la red capilar a través de la granulometría de la arena. Con ello, se consigue que cada capa sea más porosa que la anterior, pero con una red capilar más fina. Es también eficaz añadir aditivos aireantes. El secado debe realizarse a mayor velocidad que la succión, evitando con ello la saturación de los poros. Además, ha de tener lugar en el interior de los mismos y no en la superficie del revoco, en donde posiblemente aflorarían manchas y eflorescencias.
	Colocación de sifones atmosféricos o de aireación, compuestos por pequeños tubos de drenaje, cerámicos o plásticos.	Insertados en el interior del muro, estos sifones aumentan la ventilación al facilitar la evaporación del agua. Se emplazan en orificios realizados previamente, inclinados hacia el exterior para producir el efecto de sifonaje, con una frecuencia de tres sifones por cada metro lineal de muro. Posteriormente, se sellan los orificios realizados. Los inconvenientes de este sistema residen en la falta de seguridad en los resultados y el desagradable efecto estético exterior. Además, se corre el riesgo de formar puentes térmicos en la parte trasera del tubo, que pueden aumentar el flujo del agua ascendente. Para que el sistema funcione correctamente, es necesaria una adhesión perfecta entre mortero y fábrica, de modo que solamente el mortero y el sifón sean los únicos vehículos permeables que absorban por capilaridad.
	Calefacción directa del muro.	Existen diferentes métodos, tales como la inserción de resistencias eléctricas o de cables calefactores a media o baja temperatura. También, la calefacción por radiación infrarroja o por una corriente directa de aire caliente. Los métodos basados en microondas o ultrasonidos agitan molecularmente el agua interna del muro, favoreciendo su vaporización.
Aumento de la capacidad humídica del aire.	Mediante la climatización del ambiente.	Consiste en sustituir, de modo natural o artificial, el aire húmedo por aire exterior, más seco. El sistema de ventilación contribuye asimismo a reducir la humedad del muro.

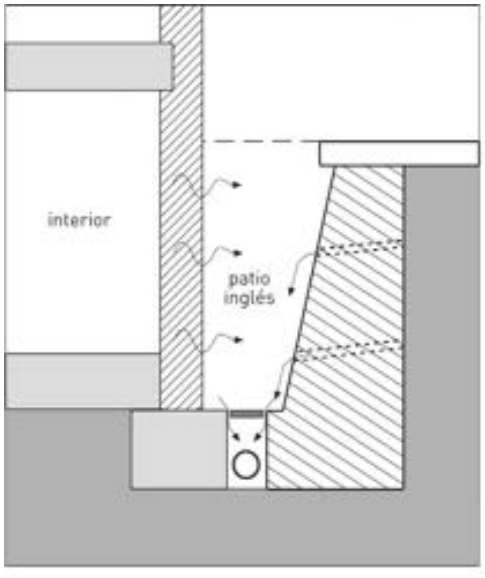
MEDIDAS A ADOPTAR PARA FAVORECER LA LIBERACIÓN DE HUMEDAD RETENIDA EN LOS MUROS

Para la obturación de los poros, se usan impregnaciones, ligeramente expansivas, a base de silicatos, resinas plásticas, cales, cementos osmóticos y otros productos, que actúan además como hidrofugantes. Se recomiendan los productos en disolución, que penetran más eficazmente en el poro que las emulsiones. Todos estos compuestos endurecen por fraguado (no deben retraer), mineralización o polimerización y, en general, no sirven para tapar grietas, pero sí fisuras. En cualquiera de estos tratamientos, debe consolidarse previamente el muro si éste presenta grietas u oquedades.

Estos productos penetran en los poros fundamentalmente a través de dos sistemas:

- **POR APLICACIÓN SUPERFICIAL** (barrera vertical).

- **POR APLICACIÓN EN PROFUNDIDAD**, a través de orificios efectuados en el cerramiento mediante taladros. La preparación se inyecta en ellos y se difunde en el interior del muro por presión o por capilaridad. En este caso, entraríamos dentro de lo que se denominan barreras horizontales, realizadas por encima del nivel del terreno.



El patio inglés interpone un vacío entre el muro de la edificación y el terreno natural. Las humedades que logran traspasar son dirigidas a un drenaje en el piso del patio.

Existen dos métodos fundamentales para aplicaciones en profundidad. Un método es la inyección a presión, a través de boquillas especiales embutidas en orificios taladrados al efecto. Estas boquillas impiden el retorno del producto. La inyección se inicia a presiones de 1 atm, aumentando paulatinamente hasta 3-6 atm mantenidas durante unos 10 o 15 minutos, para no provocar la rotura del material.

Pueden repetirse las inyecciones, si es necesario, al cabo de un tiempo, por lo cual resulta práctico conservar las boquillas en su lugar hasta estar seguros de la eficacia de las operaciones.

La desventaja de este sistema es que conduce el líquido inyectado a través de las vías más fáciles, lo cual ocasiona un reparto poco uniforme en materiales heterogéneos.

Otro sistema para las inyecciones de profundidad es el denominado "de transfusión por difusión lenta". Se realiza a través de unos depósitos, colocados entre el nivel suelo y el nivel alcanzado por el agua en el muro, introducidos en unos taladros realizados de manera inclinada, para facilitar la penetración. Dado que la presión ejercida es mayor que la del agua del terreno, que está a menor nivel, la introducción se realiza con total penetración dentro de los capilares. El proceso puede durar varios días, hasta completar con éxito la operación. En muros con poco espesor basta con realizar la transfusión por una sola cara, mientras que los de mayor espesor exigen que el tratamiento se realice por ambas caras, hecho que dificulta el procedimiento cuando el muro no es accesible desde el exterior.

Las llamadas barreras electrofísicas se basan en la diferencia de potencial existente entre los metales contenidos en el muro y los depositados en el subsuelo. Estos métodos suelen formar una barrera horizontal al muro, aunque existen procedimientos que contemplan su colocación vertical.

Existen dos procesos fundamentales: la electro-ósmosis y la electroforesis.

ELECTRO-ÓSMOSIS: consigue, invirtiendo el sentido del flujo natural del agua, que sea el terreno el que absorba la humedad del muro y no viceversa. Cambiando el sentido del campo eléctrico en el interior del muro, se provoca que la circulación de la humedad se haga de arriba hacia abajo, anulando por tanto los efectos de la capilaridad. El procedimiento consiste en la colocación de electrodos catódicos (negativos) en el terreno y anódicos (positivos) en el muro, generando una corriente eléctrica por medio de dinamos, batería seca o corriente rectificada de una red de corriente alterna de intensidad constante. Siendo menos electronegativo el muro, éste actúa de cátodo.

ELECTROFORESIS: se basa en la diferencia de potencial producida por el efecto galvánico que se ocasiona al colocar electrodos de distinto material o metal en el terreno y en el muro. En el terreno, los electrodos se penetran a 50 o 100 cm de profundidad, mientras que en el muro se efectúan unos taladros por los cuales se introducen cartuchos de partículas en suspensión (productos de foresis) que obturan los poros del material, formando de este modo una barrera horizontal.

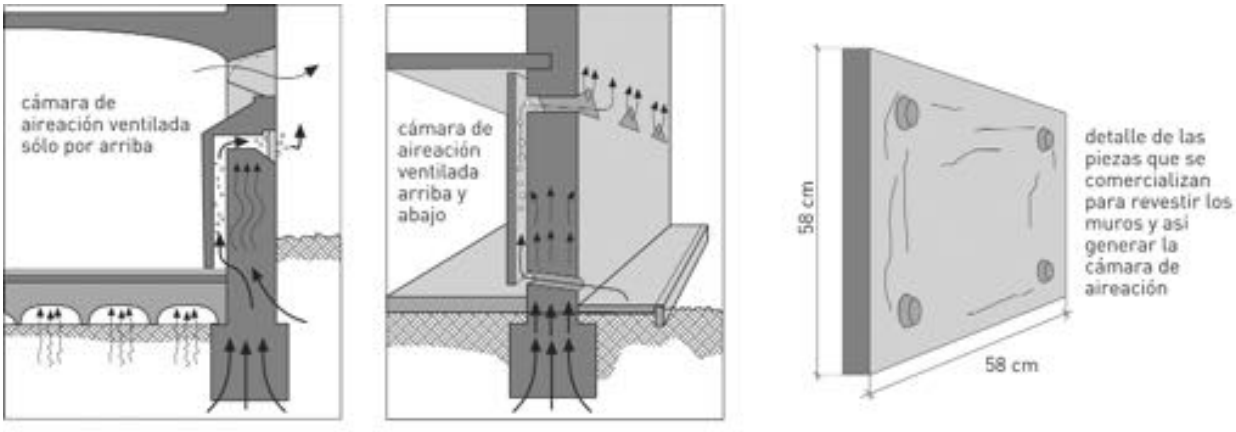
La combinación de ambos principios, la denominada electroósmosis-foresis, se base en el descenso del agua por efecto de la electroósmosis, que se utiliza como vehículo de transporte de las partículas de foresis y que tiene como misión tapar definitivamente los capilares por reacción química.

Las barreras físicas horizontales sobre rasante consiguen evitar la ascensión del agua por capilaridad (ver "barreras físicas" en Eliminación de las causas de la capilaridad).

D. EL SECADO DE LOS ELEMENTOS SUPERFICIALES

Este método se aplica sólo en el caso de que ninguno de los anteriores sea factible. El secado de los elementos superficiales facilita la evaporación y se realiza normalmente desde el interior del edificio, donde son más controlables las condiciones ambientales.

Distinguiremos entre un primer grupo de tratamientos, que actúa sobre los elementos constructivos, mejorando su capacidad de transpiración; y un segundo grupo, que actúa sobre el ambiente, mejorando su capacidad humídica.



Detalles constructivos de la cámara de aireación en muros sometidos a fuentes de humedad permanente.

E. ELIMINAR LOS SÍNTOMAS

La última posibilidad de actuación frente a las humedades de sótano consiste en eliminar los síntomas. Debería tratarse siempre de una terapia complementaria de alguna o algunas de las anteriores, dado que una reparación que se basa únicamente en este punto determina con seguridad que la humedad vuelva a aparecer en un periodo más o menos largo de tiempo. La experiencia ha demostrado que algunos tratamientos costosos se manifiestan posteriormente totalmente ineficaces. La mejor manera de evitar esto es actuar primeramente sobre las causas.

En todo caso, en las reparaciones referentes al efecto deberemos ocuparnos, en primer lugar, del exterior del muro, eliminando o reduciendo la carga hidráulica exterior, para después reparar el defecto interno.

Evitar la presencia de agua	Drenaje del terreno Patio inglés Ataguías Aislamiento de muros y soleras
Impedir el contacto del agua con los muros	Barreras verticales Barreras horizontales
Impedir el movimiento del agua	Obturación e hidrofugación de la red porosa Por inyección bajo presión. Transfusión por difusión lenta Barreras electrofícicas Barreras físicas horizontales
Facilitar la evaporación	Revestimientos difusores Sifones atmosféricos Calefacción directa
Actuar sobre los síntomas	Tratamientos impermeabilizantes Doblado interior del paramento

DISTINTAS TERAPIAS PARA LA HUMEDAD EN MUROS DE SÓTANO

La colocación de recubrimientos impermeables resulta, en la mayoría de los casos, contraproducente, ya que provocan el ascenso de la humedad capilar al impedir que ésta se manifieste a través de la superficie recubierta. Si se combina la impermeabilización con la formación de algún tipo de barrera, debe tratarse de no crear "trampas de humedad", que evitarían el secado del muro. En cualquier caso, este tipo de recubrimientos deben ser utilizados como recurso *in extremis*.

La creación de una cámara bufa húmeda, mediante el doblado interior del paramento, es un recurso utilizado desde antiguo. Este segundo tabique debe ser colocado por el interior, apoyado en materiales impermeables que lo aíslen del suelo, para evitar puentes de humedad. Al quedar separado del muro, se crea una cámara que debe ventilarse hacia el exterior del edificio y conectarse, de forma cruzada, con las cámaras de fachadas opuestas, a través del suelo, las paredes y el techo.

Una solución intermedia entre las dos anteriores consiste en colocar un revestimiento retroventilado, ligeramente separado del paramento, realizado con materiales resistentes y con juntas abiertas que permitan la aireación de la cara interna del cerramiento.



Muros de tierra y paja erosionados por los agentes atmosféricos.

En cuanto a las intervenciones desde el interior, podemos proceder a la impermeabilización de las soleras, a través de un pavimento compuesto por morteros que pueden ser a base de betún asfáltico, arena, agua y un agente emulsionante que garantice la penetración capilar, la adherencia y la estabilidad de la impermeabilización. Las capas han de ser de unos dos centímetros de espesor, incorporando baldosas de gres no absorbentes. Las juntas, de cinco a ocho milímetros de espesor, se rellenan con el mismo mortero.

OTRAS INTERVENCIONES DE REPARACIÓN

Cuando se produce una entrada de agua a chorro, la actuación más inmediata es obturarla de modo instantáneo mediante tapones químicos. Se trata de compuestos a base de cementos ultrarrápidos, que simplemente se amasan con el agua; cemento Pórtland y aluminoso, de rápido fraguado; cartuchos de bentonita sódica, que se expanden en contacto con el agua; o poliuretanos inyectables y extraíbles. Pueden aplicarse tanto en paredes como en soleras.

Si la entrada es de grandes dimensiones, deben taponarse inmediatamente las vías de agua, con algún sistema provisional, como sacos de arcilla, a fin de evitar el posible descalce de los edificios colindantes. Posteriormente, efectuar inyecciones perimetrales desde el exterior del edificio o desde una planta superior.

Cuando se detectan fisuras y grietas, debe determinarse en primer lugar si se encuentran en un estado estabilizado o si, por el contrario, están activas. En caso de duda, se considera que una grieta de sótano actúa siempre como una junta de dilatación y que, por lo tanto, transmite los movimientos del edificio.

En grietas y fisuras activas con aberturas profundas, es necesario colocar, previamente al sellado, un fondo de junta que asegure que la profundidad de éste sea del orden de la mitad de su anchura. Se procederá con un material de tipo bituminoso o de silicona sin disolventes y de reacción básica o neutra. Nunca debe adherirse al fondo de junta.

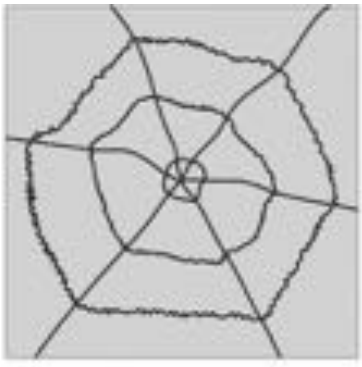
Para grietas de gran movilidad, se utilizan sellantes plásticos, de tipo acrílico o elastomérico, así como siliconas, poliuretanos o polisulfuros, capaces de seguir los movimientos de los bordes sin disminuir su adherencia.



Pérdida de revoco en un muro de tierra. Por el grado de absorción del material del muro, el revoco cumple una función vital en la aislación del conjunto.



La pérdida de revoco en este muro de piedra es constante y masivo lo cual ha obligado a tomar medidas de seguridad hasta que se inicie su reparación.



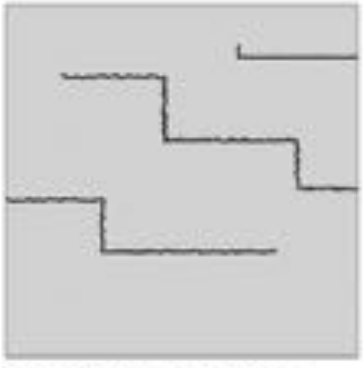
Impacto.



Defecto de puesta en obra.



Falta de adherencia.



Siguiendo las juntas de la base.

Esquemas de fisuras de revoques sobre muros.

En fisuras con poca movilidad, puede procederse a un cosido, rellenándolas con morteros o resinas epoxi, cuando se trata de muros con función portante. Las capas del revoco de acabado, a base de plastificantes y cementos ultrarrápidos amasados con agua, deben tener como máximo 2 mm de espesor, para evitar la retracción. Sobre poros pequeños, puede aplicarse la misma metodología.

En fisuras de muros no portantes, es decir, que no trabajan mecánicamente, es suficiente aplicar una banda de cosido que una los bordes.

La necesidad de proteger la solera dependerá del nivel freático. En caso de que se considere preciso, puede efectuarse un compactado de tierras hasta conseguir una resistencia a compresión mínima de 3 kg/cm^2.

A continuación, realizar un encachado de árido de granulometría 10/100 de 15 a 20 cm de espesor y extender un polietileno continuo de 60 h/m^2, solapado entre sí de 0,5 a 1 m para evitar la colmatación del árido.



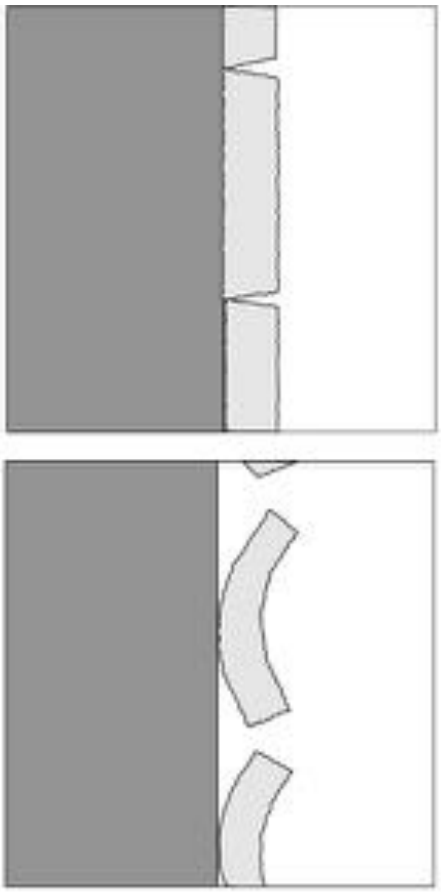
Revoco cuarteado y desprendido. La afección parcial de este acabado hace pensar sobre la poca calidad en su elaboración.

Si el nivel freático es muy bajo o nulo, basta con aplicar el polietileno como barrera antihumedad. La impermeabilización se realizará mediante una lámina de betún polimérico APP o SBS de 4 kg/m², armada con doble alma o armadura de napa de poliéster de 140 g/m², más un film de polietileno continuo de 55 g/m², adherida al soporte formado por una chapa de hormigoncillo de 5-6 cm de espesor, mediante adhesivo caucho-asfáltico.

El poliéster se colocará hacia arriba y el polietileno en la cara adherida, solapando la misma de 3 a 5 cm. Finalmente, se ejecutará la propia losa de hormigón con el espesor proyectado, extendiendo previamente un geotextil de polipropileno de 140 g/m², solapado entre sí de 10 a 15 cm.



Los desprendimientos de revocos en cascos antiguos de calles estrechas obligan a tomar medidas de seguridad para paseantes y automóviles.



Esquema de desprendimiento del revoco a partir de fisuras.

DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL DE ACABADO

El desprendimiento de los materiales que revisten las fachadas, lesión que puede ser generalizada o afectar a puntos localizados de la misma, es relativamente frecuente en los edificios.

Consiste básicamente en la separación de los acabados y de ciertos elementos constructivos independientes, sujetos o adheridos a la base o fachada. Esta lesión puede encontrarse en una fase incipiente, manifestándose por simples fisuras o abombamientos, o en una fase avanzada, cuando el acabado se desprende parcial o totalmente del soporte.

Los principales efectos directos de estas lesiones son el deterioro estético del edificio y la peligrosidad que suponen los desprendimientos para la seguridad de los transeúntes. Ello obliga a una intervención rápida sobre el cerramiento en cuestión.

Entre las causas, hallamos errores en el proyecto y la ejecución de la obra y una escasa calidad de los materiales empleados. En las partes bajas del edificio, hay que considerar asimismo las acciones mecánicas, las agresiones humanas y las salpicaduras de agua.

Además, deben considerarse como factores de desprendimiento la antigüedad, orientación y exposición del edificio. En el primer caso, el paso de los años y la agresión repetida de determinados agentes, entre ellos los atmosféricos, puede comportar importantes cambios en las características superficiales del material, su deterioro como consecuencia de la erosión y la pérdida de adherencia de los morteros.

La orientación del edificio resulta esencial en lo referente a la incidencia del agua de lluvia sobre la fachada. Y es que la aparición de humedades significa un debilitamiento del soporte, así como el posible descenso de la adherencia de los materiales de revestimiento.

Finalmente, una mayor exposición conlleva una menor protección de la fachada frente a los ataques atmosféricos. En este factor, influye la proximidad de otras edificaciones, el ancho de las calles, la existencia de plazas frente a los edificios, su altura, la ubicación en una esquina o en centro de manzana, etc.

En el proceso de diagnóstico, determinar la amplitud de la lesión permitirá concretar el alcance de la reparación. Cuando el desprendimiento sea puntual y la causa no sea generalizada, bastará con sanear, reparar o reponer el elemento afectado y actuar sobre su entorno inmediato.

Cuando la causa sea generalizada, como sucede frecuentemente al tratarse de defectos de ejecución, la actuación habrá de extenderse a todo el cerramiento afectado.

Denominamos acabados continuos a aquéllos a los morteros y pastas aplicados de modo continuo cuando el soporte se halla todavía en estado plástico. En cerramientos exteriores, nos referimos básicamente a enfoscados y revocos, por un lado; y guarnecidos, tendidos y enlucidos, por otro.

SÍNTOMA	ORIGEN
Fisuraciones en la superficie, algunas de ellas de afogarado o en mapa.	- Porcentaje de agua demasiado elevado en la mezcla y un fraguado y secado demasiado rápido por prolongada exposición al sol - Expansión producida por la adición de yeso en condiciones de humedad - Ataque de sulfatos
Superficie desmoronada y disgregada.	- Cristalización de sales solubles perjudiciales, presentes en el parámento - Componentes sucios y hume-dades de capilaridad
Se dificulta el contacto entre soporte y acabado, provocando la separación de ambos y el desprendimiento del acabado.	- Pérdida de adherencia por penetración de agua - Espesor excesivo del recubrimiento - Acabado del revoco con una capa de mayor resistencia o más pesada y gruesa que la anterior - Capas excesivamente gruesas - Suciedad del soporte (polvo y grasas) - Aplicación sobre soporte seco. - Aplicación de pintura impermeable sobre capa débil de estuco

SÍNTOMAS DE LESIONES EN REVOCOS Y SUS POSIBLES CAUSAS

Por oposición, conocemos como acabados por elementos aquéllos formados por unidades de acabado que requieren únicamente su sujeción al cerramiento exterior, actuando éste último como soporte y presentando ya un cierto grado de acabado. Se trata, fundamentalmente, de chapados de piedra natural, aplacados y paneles prefabricados de hormigón.

ACABADOS CONTINUOS

En este tipo de revestimientos, la unión entre acabado y soporte es siempre continua, bien a través de una junta superficial entre ambos elementos, bien por intermedio de un producto adherente, denominado interfase. En este segundo caso, las dos juntas superficiales y la propia interfase son potenciales zonas de desprendimiento. La pérdida de adherencia puede producirse en tres puntos, al aparecer dos juntas superficiales: entre el soporte y la interfase, entre ésta y el elemento de acabado y en la propia interfase.



Saltado del revoque en una zona expuesta de un balcón. A veces un mínimo mantenimiento puede detectar los desprendimientos antes de que sucedan.

El método más común de adherencia al soporte es el mecánico, es decir, la interpenetración entre acabado y soporte como efecto de la rugosidad del más rígido, es decir, del soporte.

Ello produce una trabazón que impide la separación del acabado, tanto en la dirección perpendicular a la junta como en la de la propia junta. El desprendimiento se produce cuando estas penetraciones quedan rotas, ya sea por tracción o por esfuerzo cortante.

La adherencia química, menos común, se basa en el intercambio molecular entre soporte y acabado que se produce en la interfase.

Generalmente, la encontramos en pinturas y morteros con componentes adhesivos, siendo los desprendimientos consecuencia de fallos en la ejecución o de la acción de algún elemento que reaccione químicamente y sea capaz de destruir la unión molecular.

En la fase previa al desprendimiento, la aparición de fisuras, más señaladas en paramentos lisos y planos y menos visibles cuanto más rugosos sean éstos, puede deberse a cuatro razones fundamentales:

- **AL PROPIO ACABADO**, por la mala calidad del material, su composición inadecuada o el propio proceso de ejecución. Este tipo de fisuras suele presentar forma de mapa, con una distribución más o menos uniforme.

- **A DEFECTOS EN EL SOPORTE SOBRE EL QUE ESTÁN APLICADOS LOS ACABADOS**. Generalmente, siguen la línea de la grietas o de la junta constructiva del soporte y, por tanto, suelen tener una linealidad muy marcada.

- **CONSECUENCIA DE ACCIONES QUÍMICAS O FÍSICAS SOBRE EL ACABADO** (contaminación, heladas). Las fisuras presentan forma irregular, semejante a la producida por defectos del propio acabado.

- **AL ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES O MORTEROS**, que provoca la pérdida de sus características intrínsecas originales.

En cualquier caso, el desprendimiento se producirá al romperse el sistema de adherencia, algo que puede ser debido a diferentes causas. Una de las más frecuentes son los esfuerzos rasantes, originados en dilataciones y contracciones térmicas de los acabados y en los movimientos elásticos del soporte.



Un planteo deficiente en lo constructivo y en las instalaciones acarrean múltiples problemas. Este hueco ventiluz se halla atestado de conducciones y su mantenimiento se torna muy dificultoso.



Erosiones químicas y atmosféricas en muro de piedra (izquierda) y ladrillo (derecha).

Estos esfuerzos provocan la pérdida de la integridad del conjunto soporte-acabado como consecuencia de un empuje que actúa en una misma dirección y sentidos contrarios sobre los dos elementos componentes de una junta superficial, que intentarán desplazarse en dichos sentidos. Si el esfuerzo es superior a la resistencia al esfuerzo cortante que oponen las penetraciones, se produce la rotura de la adherencia y el desprendimiento del acabado.

El sistema de adherencia puede también romperse como consecuencia de la dilatación de elementos infiltrados en las juntas superficiales. Este espacio intermedio puede alojar, por medio de la adherencia mecánica, elementos capaces de dilatarse, provocando un empuje perpendicular al plano de la junta. Con dilataciones que pueden ser de hasta el 35 %, es fácil superar la capacidad de adherencia e interpenetración de soporte y acabado, provocando el desprendimiento.

La pérdida del sistema de adherencia puede ser también consecuencia de un fraguado deficiente del mortero. En este caso, la causa primera habría que buscarla en un secado demasiado rápido de la última capa del revestimiento. La acción directa del sol, el trabajo en época u hora demasiado calurosas, la pérdida del agua del amasado por excesiva sequedad del soporte o el empleo de morteros con gran cantidad de agua para facilitar la puesta en obra. son algunas de las causas de un mal fraguado, todas ellas debidas a una deficiente ejecución. La retracción de un mortero demasiado rico en conglomerante provoca fisuras similares en la superficie.

Finalmente, la presencia de arcilla en los morteros es también causa habitual de la rotura del sistema de adherencia. Esta arcilla se interpone como una película muy fina entre los granos de arena y el conglomerante, disminuyendo la resistencia del conjunto.



La mala ejecución de este revoco símil almohadillado ha producido su pérdida. Lo conveniente será reparar las zonas ya dañadas y las que no lo están también a modo de prevención.



La humedad y los rayos UV han deteriorado la pintura de esta fachada.

DESPRENDIMIENTO DEL REVOCO POR DEFECTOS EN SU APLICACIÓN

Englobamos en este grupo numerosos errores de ejecución que son causa frecuente de desprendimientos en uno de los acabados continuos más comunes: el revoco. Lo denominaremos enfoscado cuando se trata de la primera capa de revestimiento y reservaremos el término revoco para nombrar las siguientes y en especial la última, que suele colorearse o presentar algún tipo de acabado especial.

Concebidos inicialmente para ocultar los defectos de las fábricas de mampostería, hoy la finalidad de ambos es, por un lado, la protección de las superficies exteriores frente al ataque de los agentes atmosféricos y biológicos y, por otro, la obtención de un aspecto estético determinado. En ocasiones, se aplican también para reforzar mecánicamente un muro de unidades pequeñas (ladrillo o bloques).

Existen numerosos tipos de revocos, según sea su composición. Siempre, todo mortero para revestimiento de fachadas debería reunir tres características fundamentales: la adherencia, la impermeabilidad (ha de impedir la penetración de agua en profundidad y ha de presentar poca propensión a fisurarse), y la permeabilidad al vapor de agua, factor muy importante si se tiene en cuenta que las temperaturas interior y exterior de un edificio son distintas y están sujetas a variaciones extremas.

El cemento (al que se añade arena y agua) y la cal hidráulica artificial (con arena, agua y, opcionalmente, cemento) han ido desplazando a los materiales tradicionales, a pesar de ser más sensibles a la fisuración. Su permeabilidad al vapor de agua puede reducirse aumentando la dosificación de plastificantes.

Los tradicionales revocos, que utilizaban la cal apagada y la arena tanto en la mezcla de la fábrica de ladrillo como en el enfoscado y el revoco, son un material de endurecimiento muy lento, pero de difícil fisuración, con menor riesgo de lesiones y sin problemas de adherencia. Pero fallan, sin embargo, en la unión entre el enfoscado y el revoco, por exceso de arena en el primero o por el uso de arena de miga con exceso de arcillas y barro.

Son además afectados por una erosión lenta ocasionada por el agua de lluvia, el viento y otros agentes atmosféricos. En las cales hidráulicas naturales, parte del endurecimiento se realiza por vía aérea.

Los morteros de resinas sintéticas, obtenidos por mezcla de aglomerantes de resinas sintéticas, arenas especiales, antiespumantes, coalescentes y agua, resultan muy útiles para revocos tendidos sobre base de enfoscados.

La elaboración de morteros tradicionales a pie de obra opone importantes limitaciones y exige en muchos casos posteriores operaciones de terminación (pintura y revestimientos). Por el contrario, los morteros preparados en fábrica, ya coloreados, se aplican directamente sobre el soporte, y en la mayoría de los casos ofrecen un acabado final en la misma operación de su puesta en obra.

Los desprendimientos de este tipo de acabados continuos pueden llegar a ser llamativos, resultando la reparación en muchas ocasiones compleja.

Previamente, se produce un abolsamiento o ahuecamiento del acabado, bajo el cual subyace ya la falta de adherencia entre el revestimiento y el muro. La separación de las capas abrirá una puerta de entrada al agua, produciéndose seguidamente la disgregación del revestimiento y una separación cada vez mayor del conjunto soporte-revoco.

La causa suele ser, en general, la pérdida de adherencia con el soporte, debida en la mayoría de los casos a una falta de rugosidad de la base sobre la que se ha aplicado el revoco. La filtración de agua y su posterior helada, la falta de elasticidad para absorber los posibles movimientos estructurales del edificio, las dilataciones superficiales, principalmente en zonas expuestas a cambios bruscos de temperatura, la menor resistencia de la superficie base (enfoscados sobre superficies de yeso) son otras causas posibles de este tipo de desprendimientos.

Las fisuras, que aparecen por una o varias de estas causas, aceleran el proceso de degradación y aumentan el riesgo de que se produzcan a la larga desprendimientos parciales del revestimiento. La solución preventiva pasa siempre por una correcta ejecución de los revestimientos, en relación principalmente con el soporte.

REGLAS GENERALES PARA UNA CORRECTA EJECUCIÓN DEL REVOCO

1. EL SOPORTE

El muro de cerramiento exterior deberá tener siempre cierta rugosidad que facilite las penetraciones necesarias, en número y tamaño. La falta de rugosidad incapacita el conjunto soporte-acabado para contrarrestar los esfuerzos de tracción, cortante y rasante.

Los muros de ladrillo que se han ejecutado enrasando completamente el mortero de juntas pueden presentar un plano excesivamente liso, haciendo que el revestimiento tenga poca adherencia.

Por el contrario, si el mortero de las juntas ha rebosado y no se ha retirado el material sobrante, el revestimiento puede quedar debilitado en estos puntos, apareciendo con facilidad la fisuración. El mortero que rebosa por las juntas debe retirarse y es incluso conveniente realizar rehundidos en las juntas, para facilitar que el enfoscado quede trabado al soporte.

La superficie del soporte ha de tener una resistencia superior a la de la capa de enfoscado o revoco. No recubrir nunca un muro de fábrica blando o deformable con un revoco a base de cemento Pórtland rígido y poco permeable al agua.

No se debe enfoscar nunca sobre superficies de yeso, dado que absorben con facilidad la humedad ambiental, que origina importantes cambios volumétricos que pueden ser causa de desprendimientos. Si el soporte tiene cal, el mortero del enfoscado o revoco deberá también tenerla.

Los enfoscados que reciben posteriores capas de enlucido deben cumplir las mismas exigencias de rugosidad y resistencia que las fábricas base.

Por problemas de elasticidad y retracción, el enfoscado ha de ser de un mortero más fuerte que el enlucido, entendiendo por más fuerte que sea más graso o más rico en cemento y que imponga mayores retracciones. En general, el revoco debe ser más débil que la base:

- **UN ENFOSCADO DE CEMENTO PUEDE RECIBIR A UN ENLUCIDO DE YESO, PERO NO AL CONTRARIO.**

- **LOS REVOCOS Y ENFOSCADOS FINOS SE APLICARÁN SOBRE UNA PRIMERA CAPA DE ENFOSCADO GRUESO.**

El contacto cemento-yeso en presencia de humedad da lugar a sales de Candlot, produciendo desórdenes graves para el revestimiento. Por ello, es mejor evitar revocos que contengan yeso en muros de cemento.

Un soporte excesivamente seco absorbe el agua que necesita del enfoscado. Cuando se trata de morteros hidráulicos, la succión del agua por parte del soporte produce una disminución de la relación agua-cemento en aquéllos, impidiendo su correcto fraguado en la zona de contacto. Ello provoca que no se creen las penetraciones necesarias para la correcta adherencia mecánica.

Por el contrario, un soporte excesivamente húmedo genera, junto con el agua del mortero, una película de agua que anula o disminuye la adherencia del conjunto soporte-revoco.

Si el enlucido se efectúa poco después de haberse enfoscado la fábrica, deberá comprobarse su grado de humedad. Un método práctico consiste en comparar con la que presenten otros muros ya secos. Si el enfoscado va a quedar sin enlucir durante algún tiempo, es conveniente arañarlo en el momento de aplicarlo o, en cualquier caso, antes de proceder al enlucido, dado que las condiciones atmosféricas suelen taponar poros y hacer más lisa la superficie.

Si el soporte contiene restos de polvo, el revestimiento quedará suelto en muchas partes, al dificultar las interpenetraciones por medio de la rugosidad y favorecer la absorción de agua y, por lo tanto, la disminución de la relación agua/cemento necesaria para un correcto fraguado. Por ello, el soporte debe limpiarse y regarse abundantemente con agua, esperando a que empiece a secar para aplicar el enfoscado.

La presencia de grasa sobre el muro de cerramiento impide la materialización de la junta adherente, sea ésta mecánica o química. En el primer caso, porque la grasa dificulta el fraguado correcto y la interpenetración en las rugosidades. En el segundo caso, la suciedad y el polvo actúan como barrera, entorpeciendo la adherencia química a través de la unión molecular continua.



La ventilación de este calefactor, poco o nada aislada, trasmite las altas temperaturas y el resecamiento de la pintura circundante.



En el caso de revocos que cubren partes metálicas, hay que prestar especial atención a grietas y pérdidas de material. La corrosión a la que posteriormente se exponen estos elementos metálicos es nefasta.

Cuando una fábrica ha estado mucho tiempo sin recubrimiento y expuesta a la intemperie, debe limpiarse concienzudamente e incluso analizarse su grado de acidez.

2. ESPESORES Y ÁREAS

El revestimiento continuo tendrá por lo menos dos capas, siendo la primera de un espesor máximo de 15 mm y la segunda de 10 mm. El espesor crítico se establece en 2 cm. Los revocos proyectados con máquina no deberán tener espesores superiores a 30 mm.

Además de respetar las juntas de dilatación de la base, existe en este tipo de revocos un acusado peligro de grietas por retracción.

Por ello, es conveniente prever juntas de llagueado hasta 3 m o paños no superiores a 10 m^2, con una profundidad de llaga de hasta 5 mm dependiendo de las condiciones externas a que se halla expuesta la fachada.

Si se quiere aportar una mayor resistencia a la obra (protección contra fenómenos meteorológicos, resistencia a la fisuración del revestimiento y al impacto, protección contra el fuego, etc.), puede optarse por un gran espesor en el recubrimiento. Pero siempre mediante la superposición de capas, nunca a través de la ejecución de una capa de gran grosor.

Las distintas capas deben perder grosor en relación con las inmediatamente inferiores. No se puede aumentar nunca el espesor del revestimiento, dado que la acción de su propio peso, al superar el límite de su adherencia al soporte, puede producir desprendimientos.

3. LA EJECUCIÓN

No se recomienda enfoscar ni revocar a temperaturas inferiores a 0 ºC ni mayores de 40 ºC, como tampoco en condiciones de lluvia. El mortero u hormigón del soporte debe haber acabado su fraguado. En los aleros, es conveniente realizar goterones.

Se tendrán en cuenta las condiciones de rugosidad y humedad de la superficie de aplicación, así como su material; y las condiciones de composición, rigidez y porosidad del propio mortero.

Si se quieren disimular grietas o juntas, se pueden colocar telas metálicas o de fibra como armadura de mortero.

Los revestimientos continuos de mortero han de disponer de juntas de dilatación que eviten la aparición de fisuraciones cuando se considere la posibilidad crítica de que éstas aparezcan. Se situarán a una distancia que no supere 3,5 metros en vertical y 5 metros en horizontal.

Pueden hacerse coincidir con elementos que ayuden a cohesionar el aspecto estético, tales como juntas constructivas en forjados, pilares, etc.

En cualquier caso, siempre se realizará una junta donde existía ya previamente una junta de dilatación de la propia fábrica o soporte.

Se recomienda realizar operaciones de mantenimiento del acabado exterior cada 10 años y conservar limpio el revoco, sobre todo en zonas urbanas e industriales.

DIAGNOSIS Y TERAPIA DE LOS ACABADOS CONTINUOS

A la hora de rehacer el revoco, es necesario conocer con la mayor exactitud posible las causas de la lesión. La calidad de la unión entre soporte y revestimiento puede verificarse recortando una pequeña porción en forma de cuadrado, en una zona adecuada de la superficie. Uniendo dicho cuadrado con resina a una placa metálica, que dispone de un mecanismo especial que produce un esfuerzo de tracción hasta arrancarlo, es posible conocer cuál es el grado de adherencia de este revoco a su soporte.

La localización del fenómeno potencialmente causante del desprendimiento permitirá acometer las acciones más adecuadas para la solución del problema, incluso antes de que éste se presente.

Si se trata de un movimiento de dilatación-contracción que introduce un esfuerzo rasante, deberemos marcar las correspondientes juntas de retracción mediante alguna de las siguientes técnicas:

REDUCCIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA EN DETERMINADOS PUNTOS, con el objeto de conducir la fisura y evitar de este modo esfuerzos rasantes. La incisión directa sobre la capa de acabado, bien en estado plástico mediante los tradicionales llagueros, bien en estado endurecido mediante sierras de disco manuales son algunas de las técnicas más utilizadas.Introducción, durante el proceso de ejecución, de bandas de tela o de papel en las líneas modulares, para arrancarlas antes del fraguado del mortero. Con ello, se consigue también una disminución del espesor de la capa.

INCORPORACIÓN DE PERFILES METÁLICOS EN FORMA DE U EN EL ESPESOR DE LA CAPA. Estos perfiles actúan de junta de dilatación, interrumpiendo la capa de acabado y dificultando los esfuerzos rasantes.

Si la causa son los movimientos del soporte, la solución es marcar juntas de retracción en las zonas de posible movimiento. Estas suelen localizarse en áreas de especial riesgo, como los antepechos de balcones, donde habrá que cuidar especialmente la ejecución.

En ocasiones, habrá de valorarse la conveniencia de no aplicar ningún revoco y sustituirlo por algún tipo de acabado por elementos, en los cuales la independencia entre soporte y revestimiento es mayor.

Si el problema es causado por la dilatación de elementos infiltrados como consecuencia de la humedad, será necesario eliminar ésta. Si basta con una reparación parcial, las líneas modulares son un buen sistema para disimular la zona en donde se ha efectuado ésta.

Cuando el problema es de falta de rugosidad en el soporte, debe procederse al picado de la superficie o a colocar una malla metálica o plástica, que permita armar la capa de acabado y colgarla del soporte.

Existen mallas de gran resistencia, ligeras y flexibles, compuestas por un material plástico resistente a la alcalinidad de los cementos y las cales y por fibra de vidrio en su interior, que evitan con bastante eficacia la formación de fisuras o cuarteamientos en los revestimientos.

Este tipo de mallas son asimismo indicadas para reparar fisuras no estabilizadas pertenecientes al propio soporte y que se manifiestan en el revoco. La solución consiste en armar el cuerpo del revestimiento para que pueda soportar tensiones y movimientos. Por otra parte, hay que tener en cuenta las propiedades de toda una gama de tejidos indicados para el refuerzo de este tipo de materiales.





La misma grieta por la acción térmica en fachadas contiguas de un mismo edificio..

Los remedios posteriores, una vez aparecida la lesión en la totalidad del revestimiento (y raramente en zonas parciales), suelen revestir carácter más drástico. Si el enfoscado se encuentra en buenas condiciones, una solución tradicional y efectiva que está cayendo en desuso por motivos económicos consiste en picar todo el revoco existente, produciendo un "mosqueado" que facilitará el agarre de un nuevo revestimiento superpuesto. Existe el riesgo de que se trasluzca el mosqueado al nuevo revoco.

La solución del parcheado, que no va más allá de ser un remiendo provisional, presenta el común problema de las desigualdades de textura, color y adherencia entre el nuevo revoco y al anterior.

Además, el perímetro de contacto con el revoco existente produce con frecuencia problemas de humedad y desprendimientos. Un parcheado que podría llegar a ser aceptable es que el se realiza sobre paramentos despiezados en sillares, picando el enfoscado siguiendo sus líneas de junta.

Con ello, se consigue un corte limpio y las pequeñas variaciones de color pueden quedar compensadas estéticamente. Sin embargo, los problemas de perímetro siguen existiendo.

La solución más empleada actualmente es la de picar conjuntamente enfoscado y revoco, hasta alcanzar la fábrica de ladrillo. Rehaciendo de nuevo el enfoscado y, sobre éste, la capa o las capas de revoco.

Las posibilidades futuras son muchas. Entre ellas, se apunta la mejora de los métodos actuales, de modo que se deseche el picado conjunto excepto en casos muy graves.

FISURAS Y GRIETAS EN LOS REVOCOS EN ZONAS DE DINTELES Y VENTANAS

Gran parte de las lesiones de los revocos en muros de cerramiento exterior aparece en las zonas de los huecos de ventanas y puertas y, sobre todo, en el área de los dinteles, puntos débiles de toda fábrica. Ello es debido en esencia a varios fenómenos.

El aplastamiento que se produce por la concentración de cargas y que provoca una fisuración de la fábrica en torno a los dinteles. La sobrecarga aplicada no ha de ser necesariamente muy grande. En determinados supuestos, como puede ser un exceso de solicitación en los apoyos, basta una sobrecarga pequeña para el desarrollo de las lesiones. Ello se produce con frecuencia en dinteles de ventanas muy próximas al alero, en edificios con cubierta a dos aguas. La grieta suele dirigirse, de manera inclinada, hacia el faldón de la cubierta.

Las solicitaciones térmicas debidas a la insolación que se produce en fachadas orientadas al sur y al oeste. Si el revoco es defectuoso, el dintel quedará dibujado por una sucesión de grietas.

El empleo de diferentes materiales en el paramento del muro y en el dintel. Las frecuentes lesiones producidas por esta causa se manifiestan a través de grietas horizontales, situadas en la junta que queda entre el muro y el dintel, y que en ocasiones continúan hacia arriba formando escalones.

Los movimientos de contracción y dilatación, debidos a diferencias entre las solicitaciones térmicas del dintel y los ladrillos usados para la fábrica. Los efectos de estos movimientos diferenciales, que pueden durar hasta dos años después de la construcción del dintel, actúan como acciones continuas distribuidas a lo largo de todo el año.

También pueden producirse movimientos en un espacio de tiempo muy corto, pero con efectos muy nocivos. Por ejemplo, cuando se produce un calentamiento intenso de la fachada durante el día y un enfriamiento rápido de ésta durante la noche.

Dado que el dintel tiene coartadas sus posibilidades de dilatación y contracción longitudinales, puede producirse una deformación por abombamiento, es decir, por flexión. Las solicitaciones térmicas tienen la propiedad de incrementar o reducir de modo transitorio la flecha existente en el dintel.

Finalmente, como ya hemos visto anteriormente, la pérdida de agua, causada por un escaso humedecimiento del soporte, que provoca que éste absorba el agua de la pasta en el momento de su colocación, origina serios problemas del recubrimiento en la zona de huecos y dinteles. Del mismo modo actúa la evaporación del agua de la pasta, motivada por un importante aumento de la temperatura.

Fisuras y grietas en malla rectangular o cuadrícula	Debidas a la acción de flexiones, pandeos, aplastamientos o insuficiente trabazón.
Grietas escalonadas, con giros en ángulos rectos, que dibujan la geometría de las juntas	Se originan en movimientos de la base, manifestando una falta de resistencia de la junta con respecto a las piezas que une.
Fisuras en forma de tela de araña	Consecuencia clara y directa de un impacto puntual sobre revestimientos muy rígidos y lisos. Han de controlarse las juntas entre los diferentes elementos constructivos y respetar las juntas de dilatación entre elementos secundarios.

LOS TIPOS DE GRIETAS Y FISURAS NOS INDICAN EL ORIGEN DE LA MISMA Y SU ANÁLISIS APORTA LOS PRIMEROS DATOS PARA HALLAR UNA SOLUCIÓN

Si la unión entre las diferentes capas del revoco es desigual, presentando algunas zonas débiles, las sobresolicitaciones en el muro, las deformaciones de éste y los movimientos diferenciales producirán concentraciones de tensiones que pueden provocar la fisuración, siguiendo la zona de menos adherencia de la interfase.

Se formarán primeramente fisuras aleatorias, dibujando cuadrículas o ramificaciones, ocasionadas por movimientos diferenciales entre el soporte y el revestimiento o entre las diferentes capas de éste. Posteriormente, grietas (en ocasiones, a pesar del recubrimiento con tela metálica), seguidas de abolsamientos.

La mejor forma de evitar la aparición de desprendimientos de los acabados continuos en torno a cualquier hueco de fachada es revestir los dinteles y todos los elementos constructivos unidos a ellos con un aislante térmico. Se emplean frecuentemente placas ligeras que sirven al mismo tiempo de soporte al revoco. Para placas ligeras de lana de madera se necesita como mínimo un espesor de 35 mm.

Conviene también cumplir la norma DIN 1102, según la cual las placas ligeras tienen que revestirse con una malla de alambre protegida contra la corrosión. Si es necesario, las juntas entre materiales o entre elementos constructivos deberán recubrirse con metal nervado estirado *(nervometal)*. Este debe cubrir las juntas de unión entre el dintel y la fábrica, rebasándolas en unos 10 cm.

Este metal nervado, circundando la zona del dintel, asegura una buena adherencia del revoco, evitando la formación de grietas.

Otra solución es aplicar una estructura de hormigón armado que dé rigidez al piñón, permitiendo, junto con la viga continua que forma el dintel, una solución de ventanas de altos vuelos.

Si el dintel es de hormigón ligero, existen piezas en U y placas para el revestimiento o formación de los dinteles de puertas y ventanas. De esta manera, se evitan los puentes térmicos y las condensaciones y se consigue desviar los problemas derivados del uso de materiales heterogéneos en muro y dintel, al conseguir que la base de aplicación del revoco sea uniforme.

En general, siempre que sea previsible la formación de grietas por causas constructivas, deberá marcarse en el revoco la junta correspondiente, sellándola elásticamente con una masilla apropiada.

Las bases del revoco que tengan distinta capacidad de absorción de agua, como consecuencia de un cambio de materiales, deberán igualarse mediante la aplicación de un enfoscado a pistola.

FORMACIÓN DE GRIETAS EN MUROS DE FÁBRICA DE LADRILLO REVOCADO

En ocasiones, el muro de albañilería, que es el soporte más frecuente sobre el que se aplican los revocos, no puede absorber las tensiones que se producen por las deformaciones debidas, por ejemplo, a un aplastamiento por concentración de cargas.

El revoco, cuya libertad de fisuración depende en gran parte del comportamiento estático de la base y de la estructura de sus materiales, puede ser afectado por fisuras y desprendimientos como reflejo directo de las lesiones que presenta la propia estructura o muro de cerramiento.

De hecho, la aparición de fisuras en fachadas de ladrillo revocado es un fenómeno frecuente. Se trata, como hemos comentado, de fisuras de origen estructural, es decir, debidas a fallos en la estructura portante, que se manifiestan en el revestimiento de modo más visible y alarmante. De tal modo que éste actúa como avisador de la existencia de lesiones potencialmente peligrosas en la estructura.

Las grietas pueden presentar un aspecto bastante rotundo, con una dirección bien definida, y ser de longitud importante. Mientras que apenas si se distinguen en la planta baja, se hacen más visibles en la parte alta, desarrollándose diagonalmente por toda la pared y ensanchándose hacia arriba. En las plantas bajas, si aparecen, se manifiestan verticales y delgadas.

En revocos ejecutados sobre un enfoscado de cemento, si la fábrica de ladrillo está tomada por mortero de cal, existe además el riesgo de desprendimiento del conjunto enfoscado-revoco. Los muros de ladrillo envejecido, con arenas y nódulos, se manifiestan especialmente proclives a la disgregación y favorecen dicho desprendimiento.

La flexión de los forjados, que se va sumando de piso en piso, o la existencia de un asiento de la estructura producen tensiones y deformaciones en los muros exteriores, especialmente en los de carga. Las grietas ocasionadas por estas causas pueden detenerse en su progreso al cabo de unos meses o unos años.

Sin embargo, las expansiones y contracciones del revoco harán que éstas sigan trabajando, ya que a través de ellas penetra el agua que empapa el revestimiento.

Es importante comprobar que las grietas de este tipo sólo modifican sus dimensiones por la expansión y contracción del revoco o del muro de ladrillo y que no existen otras causas de deformaciones. Ante todo, habrá que detener tales movimientos, mediante el secado de todo el muro. La mejor manera es aplicar una impregnación que hidrofugue la superficie, para lo cual habrá que desprender previamente todas las partes sueltas de pintura. Es conveniente aplicar además sobre la base preimpregnada una pintura no solvente en agua y de gran adherencia, que puede ser también hidrófuga.

Existen varias causas comunes de la aparición de fisuras y desprendimientos en los revocos de muros de ladrillo. Es frecuente, por ejemplo, la transmisión a los revestimientos de las fisuras que se producen en los elementos estructurales (pilares, vigas, muros de carga o forjados). De hecho, los síntomas se muestran más claramente en los acabados que en el propio elemento estructural afectado.

1. Anclar individualmente cada pieza.

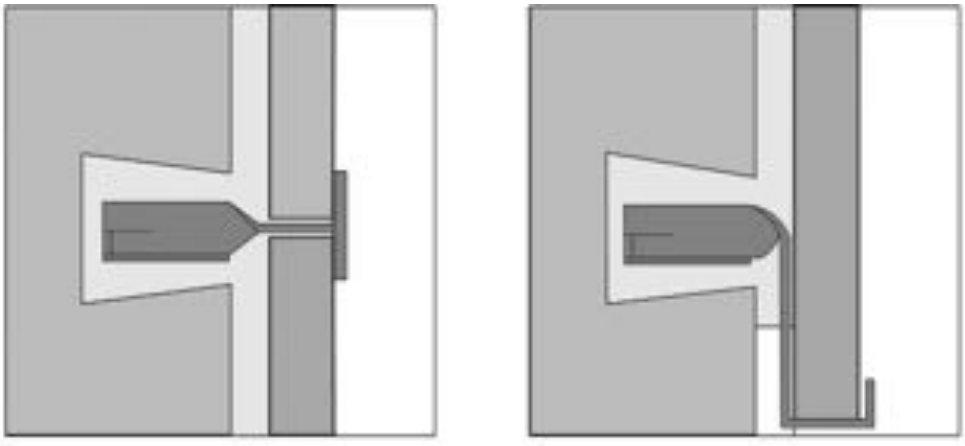
2. Rellenar completamente el trasdós de cada pieza con mortero de cemento si el sistema de adherencia es continuo.

3. Si hay que sujetar otros elementos exteriores, debe hacerse siempre sobre el cerramiento o soporte y nunca sobre el chapado.

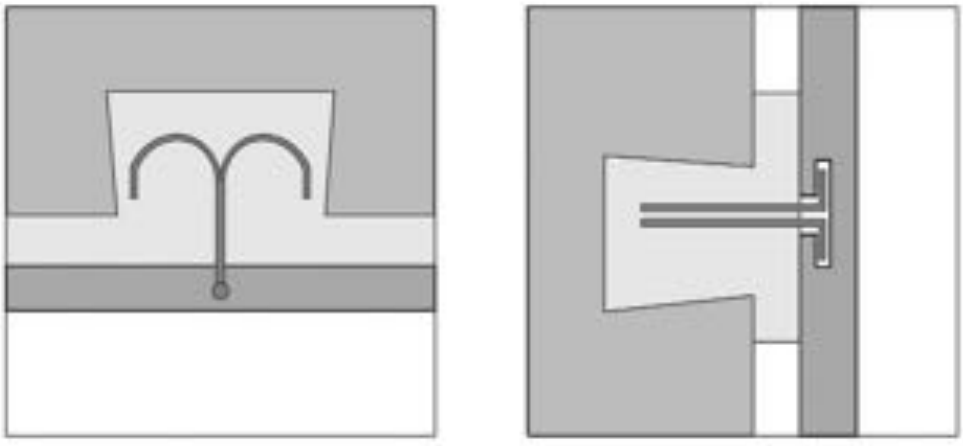
4. Cuidar la protección de ángulos y remates superiores.

5. Elegir espesores de piedra adecuados, según sea su tamaño y sus características físico-mecánicas.

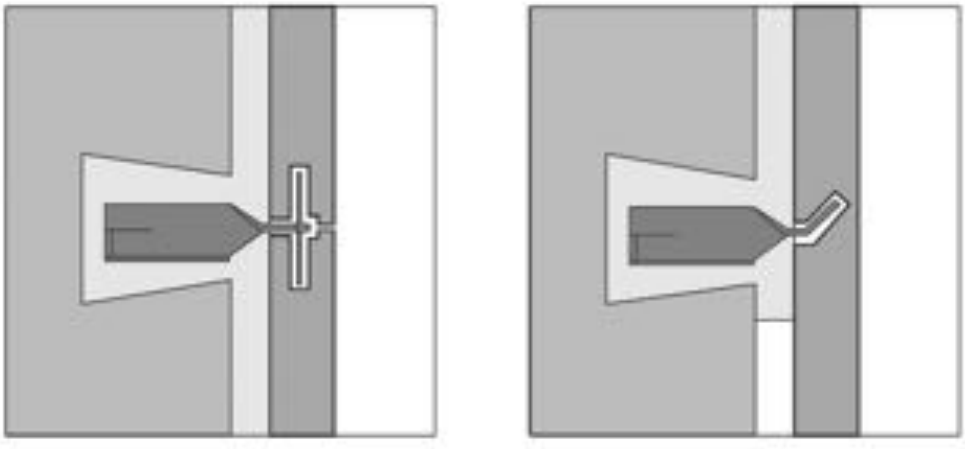
REGLAS PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE CHAPADOS DE PIEDRA NATURAL



Chapado con anclaje visto.



Chapado con anclaje de varilla.



Chapado con anclaje oculto.

Esquemas de correcta colocación de un revestimiento de muros a base de chapas o placas de gran tamaño. La realización de estos anclajes requiere una mano de obra esmerada y una revisión periódica.

Dado que cualquier terapia frente a las patologías de la edificación pasa siempre por resolver el problema de fondo, para corregir el defecto en el revestimiento es necesario estabilizar antes el movimiento de la grieta, con la reparación de la estructura afectada.

Posteriormente, la grieta en el revoco se repara mediante la ejecución de un nuevo revestimiento de características análogas al existente. Si las grietas son muy abundantes, no será suficiente taparlas, sino que habrá que proceder a un picado más o menos profundo del revestimiento y a una reposición de, por lo menos, la última capa.

Otra causa frecuente de desprendimientos de los revocos en muros de ladrillo son las deformaciones estructurales. Las vigas, pilares o muros afectados por pandeo o por deformaciones producen movimientos que no pueden ser seguidos por el revestimiento.

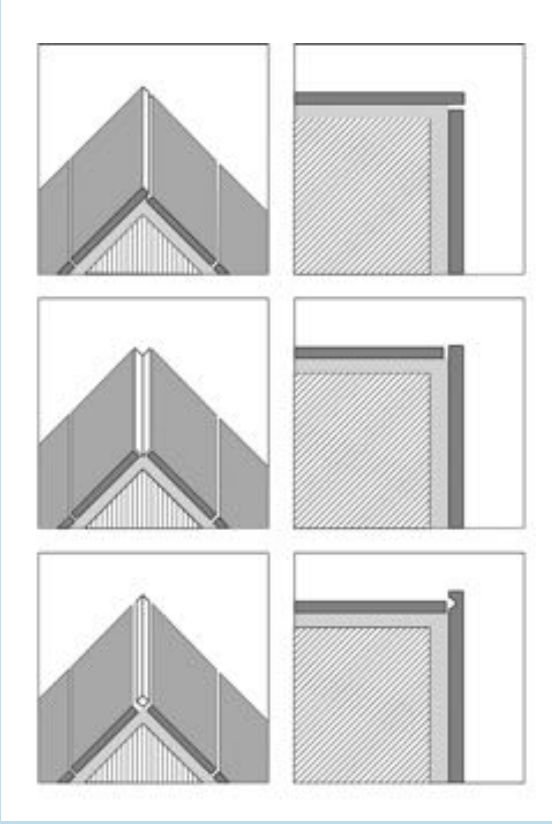
La aparición de fisuras puede llegar a indicar la existencia una deformación antes de que ésta dañe a la estructura.

Si tras examinar la lesión se concluye que el movimiento no reviste peligro, puede evitarse la reaparición de las grietas sobre el revoco mediante la aplicación de una armadura resistente a tracción en la zona que tapa la junta.

También pueden ocasionarse desprendimientos de los acabados continuos al transmitirse las fisuras de los elementos de cerramiento. Los muros de cerramiento exteriores y tabiques interiores manifiestan con frecuencia grietas y fisuras producidas por movimientos de la estructura o por variaciones dimensionales debidas a cambios térmicos o de humedad. Estas fisuras se transmiten al revestimiento.

1. Cuidar el anclaje individual de cada pieza.
2. Sujetar cualquier elemento exterior sobre el soporte y nunca sobre el aplacado.
3. Cuidar la protección de ángulos y remates superiores.
4. Elegir espesores de placas adecuados a su tamaño y a las características físico-mecánicas.
5. Las piezas deben quedar independientes del soporte, sin ningún material de adherencia intermedio (mortero o similar).

ALGUNAS REGLAS PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE LOS APLACADOS



Esquemas de juntas entre aplacados en esquina. Una buena colocación previene desprendimientos y roturas.

Finalmente, una última causa de fisuras y desprendimientos en los revocos de muros de ladrillo son las juntas del soporte que se manifiestan en el cerramiento.

Las juntas de unión entre los diferentes materiales que forman la base soportan movimientos diferenciales causados por variaciones de temperatura o humedad, que no pueden ser seguidos por el revestimiento.

Las uniones mal realizadas, con falta de trabazón, también se manifiestan a través del revestimiento. Es el caso de muros o tabiques ejecutados sin los debidos enjarjes, que tienden a abrirse en sus juntas. Las dosificaciones inadecuadas de los morteros de las juntas y la ausencia de juntas de dilatación, que actúan sobre superficies demasiado grandes en proporción al espesor del revestimiento, son otras causas comunes.

En general, este tipo de fisuras sigue las juntas de los ladrillos o de las maestras utilizadas en los revestimientos maestreados, manifestándose a través de fisuras o grietas horizontales y verticales, en forma escalonada o en cuadrícula.

ACABADOS POR ELEMENTOS

Los acabados por elementos son aquéllos que requieren únicamente su sujeción al cerramiento o soporte, presentando ya éste un cierto grado de acabado. Fundamentalmente, se utilizan dos sistemas de sujeción:

- **MORTEROS HIDRÁULICOS O PEGAMENTOS.**
- **CUELGUE A TRAVÉS DE ANCLAJES METÁLICOS, PLÁSTICOS O DE MADERA.**

El desprendimiento se produce en alguno de los cuatro puntos siguientes:

- **EN LA UNIÓN ENTRE ELEMENTO Y SISTEMA DE SUJECIÓN**. La lesión se manifiesta generalmente con la rotura del propio elemento, al superar la capacidad a esfuerzo cortante en la perforación.
- **EN LA UNIÓN DEL ANCLAJE AL SOPORTE**, cuando ésta no es suficientemente profunda o el material de unión (mortero hidráulico o producto químico) no está correctamente aplicado. Puede derivar en un arrancamiento del sistema de agarre.
- **EN EL PROPIO ANCLAJE**, por corrosión del elemento metálico, pudrición de la madera o por superarse su capacidad mecánica a esfuerzo portante o a tracción.
- **POR LA DEBILIDAD DEL PROPIO ELEMENTO UNITARIO DE ACABADO**. Una sección insuficiente provocará seguramente la rotura del elemento.

DESPRENDIMIENTO DE CHAPADOS

Se trata de acabados de losa de piedra natural en que los elementos u hojas exteriores son colgadas del cerramiento de manera independiente unas de otras, es decir, las superiores no descansan sobre las inmediatamente inferiores.

Su principal ventaja es que permiten la reparación sin necesidad de demolición, incluso cuando nos encontramos ante un cuadro con errores de ejecución generalizados.

El tipo de desprendimiento depende fundamentalmente del sistema de adherencia utilizado. La adherencia continua mediante morteros de agarre es utilizada raramente, siendo solamente posible cuando se trata de mamposterías irregulares y en alturas no superiores a dos plantas.

En el resto de los supuestos, deberán utilizarse patillas de acero inoxidable o galvanizado aplicadas sobre el cerramiento mediante su anclaje directo o por perfiles continuos que sujetan todo el borde de la pieza.

En el primer caso, el desprendimiento se produce si las piezas son grandes, con poca rugosidad en el dorso, por la pérdida de adherencia del mortero de agarre. Puede ser debida, por ejemplo, a un infiltración de agua y su posterior helada. O a movimientos del soporte. Para evitarlo, es necesario rejuntar las placas con mortero o con silicona. En el segundo caso, el desprendimiento es ocasionado por la rotura de los anclajes que unen las losas al cerramiento.

La rotura de los anclajes que unen las losas al soporte puede producirse por dilataciones acumulativas de las piezas, provocadas por el fenómeno denominado "histéresis". Es decir, por las variaciones dimensionales producidas por humectación, que generalmente no se recuperan.

Cuando los elementos están colocados "a hueso", ello provoca el levantamiento de las piezas como consecuencia de los empujes que se producen entre ellas, el arrancamiento del anclaje, la rotura de éstos en las piezas de los bordes, por esfuerzo cortante, o de los anclajes intermedios, por tracción.

En raras ocasiones, se produce la rotura de la pieza en el lugar de su enganche.

Si las variaciones dimensionales del chapado son producidas por cambios de temperatura, la solución es introducir juntas de retracción a base de demoler una fila de piezas y reponerla.

Puede unirse los labios de la junta con un elastómero, teniendo en cuenta que las piezas van ancladas de forma independiente, o incorporarse un perfil metálico en "U" sujeto al soporte. En todo caso, el sellante debe asegurar una estanquidad total.

La rotura, la corrosión o la pudrición de los sistemas de sujeción es otra causa probable de desprendimientos. En caso de rotura, nos encontramos con anclajes débiles o insuficientes para soportar el peso propio de las piezas. La acumulación de los esfuerzos acaba provocando una superación de la capacidad mecánica de los mismos.

La corrosión o pudrición se producen cuando existen filtraciones de agua, bien procedentes del exterior, a través de las juntas, bien del interior, por los petos de terrazas o por condensaciones intersticiales. Los trasdosados parciales de escayola, material muy higroscópico, empeoran el conjunto de situaciones.

Si la corrosión del anclaje se debe a la filtración o condensación de agua, la primera medida a tomar es interrumpir ésta, comprobando el estado del resto de los agarres. Si ello no es posible, deberán sujetarse preventivamente todas las piezas desde el exterior, utilizando para ello al menos dos pernos metálicos por pieza, con sistema metálico o químico, asegurando su agarre a la parte sólida del soporte.







Tres casos en donde los sistema de agarre han fallado: falta de anclaje metálico que colabore con mortero (arriba), escasa rugosidad del sustrato (medio) y mala elección del sistema de amure (abajo).

Normalmente, los anclajes puntuales aplicados "a posteriori" desde el exterior se profundizan en la propia pieza, tapándolos después con masilla. Los sistemas lineales son otra alternativa. Están formados por perfiles metálicos que se colocan desde el exterior y se sujetan por puntos. Se distribuyen de tal modo que todas las piezas presentan agarre en dos laterales opuestos. Puede procederse a un sellado de las juntas desde el exterior, cuando ésta es la puerta de entrada de las filtraciones.

Los movimientos elásticos o térmicos del soporte pueden también provocar un esfuerzo rasante que ocasione la rotura del anclaje o la apertura de las uniones entre piezas.

Finalmente, hay que considerar el fallo de las sujeciones producido por falta de integridad o por debilidad de la propia pieza, cuando ésta tiene espesores inferiores a dos centímetros, presenta "pelos de cantera" o está situada en zonas bajas del edificio y no se ha previsto su trasdosado frente a posibles golpes.

DESPRENDIMIENTO DE APLACADOS

Al igual que en los chapados, los aplacados cuelgan su hoja exterior del cerramiento que actúa como soporte. Pero en este caso los elementos superficiales, de gran dimensión, se superponen o solapan entre sí, asegurando de este modo su total estanquidad e impidiendo su movimiento.

La sujeción se realiza mediante anclajes puntuales, localizados en sus esquinas, muchas veces aprovechando el mismo agarre para piezas yuxtapuestas, en base al solape de las mismas.

Otras veces, se utiliza una estructura auxiliar de rastreles, sujetos previamente al cerramiento mediante mortero de cemento u otro sistema, a los cuales se anclan las piezas del aplacado en diferentes puntos o por presión, mediante clips. En piezas pequeñas, el solape debe ser por lo menos de un tercio de la pieza, para asegurar su estanquidad.

Este sistema constructivo, junto con las grandes dimensiones de las piezas, determina que las reparaciones suelan ser puntuales.

Los materiales usados son variados, desde piedra artificial a madera en tableros, escamas de fibrocemento, materiales plásticos, chapas metálicas o lajas de pizarra. En cualquier caso, deben presentar total homogeneidad, compacidad, compatibilidad con el soporte y con los anclajes, estabilidad física y química (resistencia al rayado, a la intemperie, al impacto y a la abrasión), buena respuesta mecánica a la flexión impuesta por la acción del viento y resistencia a la compresión sobre la carga concentrada que le impone el apoyo puntual en los anclajes.

Los desprendimientos están siempre en función del sistema de agarre utilizado y de la libertad de movimiento individual de las piezas.

VARIACIONES DIMENSIONALES

Al estar los elementos solapados y ser éstos de gran longitud, el empuje no se produce directamente de una a otra pieza, sino a través del propio anclaje. Ello puede llegar a provocar el fallo del propio agarre, por esfuerzo cortante, o bien la rotura de la pieza al ser superada la capacidad mecánica de la misma.

Los tornillos de cabeza avellanada siguen esta variaciones a través de su propia deformación, ya que el tipo de cabeza obliga a seguir todos los movimientos de la arandela. Resultan más adecuados los tornillos cuyo ajuste se realiza mediante apriete con llave inglesa, en los cuales el punto de contacto con la placa viene dado por una arandela de plástico, adaptándose de manera más flexible a estas deformaciones.

La dilatación excesiva de las piezas obliga a introducir nuevas sujeciones variables, tales como bielas, orificios rasgados, etc. Si la pieza rota no es recuperable, debe sustituirse, ya que será difícil sujetarla de nuevo y recuperar el solape con las adyacentes. Si la dilatación provoca la rotura o el desprendimiento del anclaje, habrá que reponerlo.



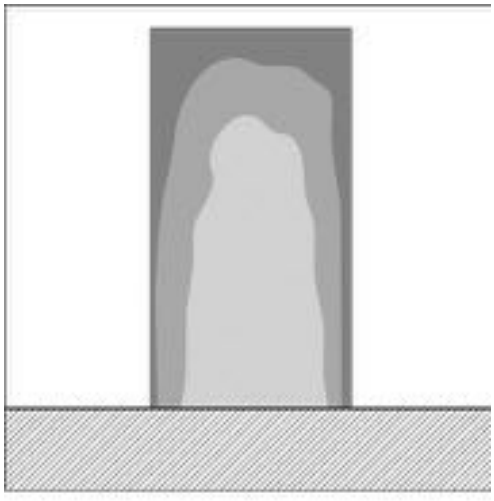
Desprendimiento del aplacado por fallo en el anclaje debido a los movimientos higrotérmicos en una parte expuesta del edificio.

FALLO DE LOS ANCLAJES

Este fallo puede producirse por rotura o por corrosión de los anclajes. Los tornillos, cuya distribución ha respondido tradicionalmente más a criterios constructivos que a las sobrecargas estáticas, son sometidos a solicitaciones muy diversas.

Desde acciones eólicas y esfuerzos tangenciales debidos al peso de las placas, hasta el incremento de succión que se produce en los bordes.

La insuficiencia para enfrentar este último fenómeno es tan frecuente que la rotura de los anclajes afecta con mayor frecuencia a las sujeciones de borde.



Esquema típico de mojado de una fachada de un edificio sometido al viento y a la lluvia.

Por ello, en estos puntos debe aumentarse el número de puntos de sujeción con respecto a los que se sitúan en el centro de las placas.

El cálculo del número de anclajes necesarios y de su distribución debe realizarse teniendo en cuenta los factores de profundidad de atornillado y de diámetro del tornillo. Probablemente, la disposición uniforme de los anclajes a lo largo de toda la placa no sea la solución ideal.

La corrosión es consecuencia de la falta de protección de los agarres o de las filtraciones de agua, provocadas por una incorrecta colocación, por solape inadecuado de las piezas o por falta de los elementos de estanqueidad necesarios en el anclaje.

La concurrencia de diferentes materiales, con diversos comportamientos que se influyen mutuamente, puede llegar a ocasionar reacciones de tipo químico.

Por ejemplo, en aplacados de fibrocemento sobre estructura de madera, podemos prever la aparición de reacciones entre las sujeciones metálicas, las placas, la madera y las impregnaciones que protegen ésta y que contendrán normalmente sales.

Conviene adoptar medidas de protección de los anclajes que eviten su contacto directo con el resto de materiales, utilizando, por ejemplo, tacos de plástico. O sustituir los anclajes habituales por tornillos de acero inoxidable.

Ante la detección de un fallo en los anclajes, será necesario proceder a comprobar el conjunto de éstos y, en cualquier caso, buscar el origen de dicha lesión. Si es debido a infiltraciones de agua o a contaminantes contenidos en la misma, habrá que buscar la procedencia de éstas, que puede localizarse en condensaciones y filtraciones posteriores, en una filtración frontal por solape insuficiente o en la falta de estanqueidad del propio elemento de sujeción.

Si son aprovechables, se sujetarán las piezas desde el exterior mediante anclajes puntuales (pernos metálicos que pueden profundizarse en la propia pieza y taparse exteriormente con alguna masilla) que aseguran el agarre a la parte sólida del soporte. Previamente, habrá de valorarse si la estructura de placas está suficientemente dimensionada para la colocación de estos anclajes, más largos que los originales.

Han de colocarse como mínimo dos por pieza o realizarse sujeciones lineales (perfiles metálicos colocados por el exterior y anclados por puntos, distribuidos de tal modo que todas las piezas resulten sujetas por dos laterales opuestos).

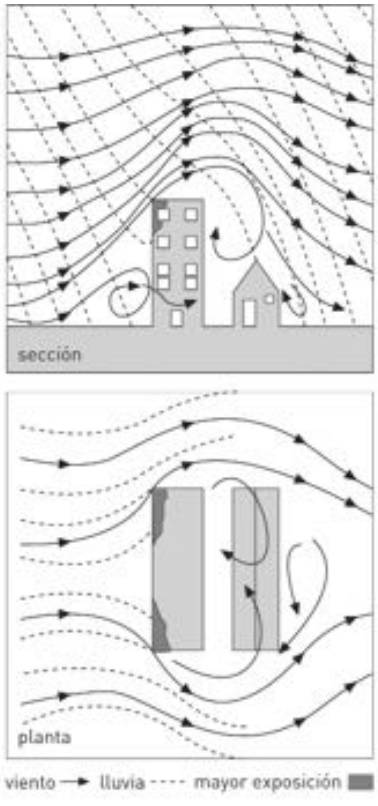
Si las placas están fijadas sobre una estructura de madera horizontal, con un contraenlistonado vertical, es válido considerar que su dimensionado es correcto, porque desde el principio ha sido solicitada estáticamente.

La sustitución de las piezas afectadas por otras nuevas resulta de fácil ejecución, dado que al tratarse en la mayoría de los casos de elementos grandes la lesión no afecta más que a un pequeño número de ellas.

A la hora de enfrentar una reparación de estas características, hay que plantearse si el sistema de recubrimiento es adecuado.

Si la lesión se generaliza a gran parte de la fachada, quizás deba considerarse la posibilidad de aplicar otro sistema, teniendo siempre en cuenta que ello producirá un cambio estético en el edificio. En piezas pequeñas, la reparación afectará normalmente al conjunto.

Dado que gran parte de las lesiones se produce por defectos en el proyecto y la ejecución del aplacado, la prevención se remonta a la redacción del proyecto y el control de la obra.



Esquemas de actuación del viento y la lluvia sobre edificios con diferente grado de protección.

APLACADOS DE LAJAS DE PIZARRA O EMPIZARRADOS

Puesto que se trata de un caso particular de aplacados, es conveniente analizar de manera específica los aplacados realizados con lajas de pizarra.

Normalmente, se trata de placas de gran tamaño, aplicadas directamente sobre el paramento o por interposición de un tablero o enrrastrelado.

Es conveniente colocar un doble recubrimiento, es decir, dos placas de pizarra superpuestas, con un solape de al menos 2 cm entre la 1ª y la 3ª línea.

Ello es especialmente importante en edificios de gran altura, donde las acciones eólicas presentan mayores riesgos de desprendimientos. En este tipo de acabados, los desprendimientos pueden deberse a dos causas fundamentales.



La falta de previsión o proyecto constructivo no puede evitar estos churretones que luego depositarán suciedad sobre la fachada.

A. EL USO DE ANCLAJES INADECUADOS

No se deben usar nunca clavos convencionales para pizarra, sino modelos dobles de 50 mm de longitud, galvanizados al fuego, especialmente diseñados para este tipo de fijaciones.

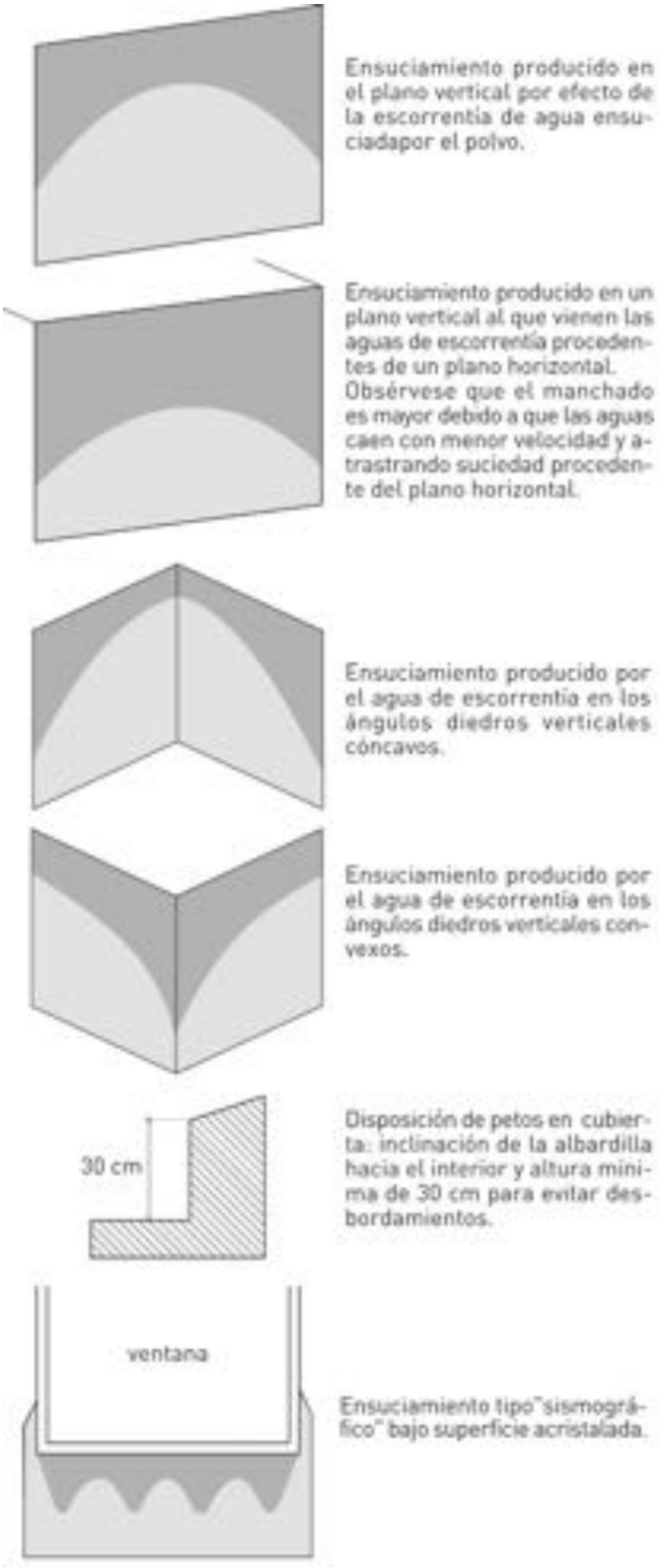
Los clavos redondos normales provocan, al clavarlos, la compactación local del material que rodea el extremo inferior. Los clavos especiales, cónicos y de sección rectangular, producen una compactación en toda su longitud, con lo cual se consigue aumentar notablemente la resistencia a tracción.

B. DEFECTOS DE LA BASE

Es condición indispensable que ésta sea plana, produciéndose en caso contrario combados tempranos de la superficie. El ataque del viento sobre el aplacado ya afectado por el alabeo contribuye a empeorar el cuadro patológico.

PANELES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Los paneles de fachada prefabricados de hormigón, ampliamente usados a partir de los años cincuenta, manifiestan con claridad dos fallos esenciales. La degradación de la apariencia superficial como consecuencia de un progresivo ensuciamiento, que produce un efecto antiestético de envejecimiento. Y el desprendimiento de los paneles, como consecuencia de fallos producidos bien en el anclaje, bien en el propio material constitutivo, bien en el proyecto o la ejecución.



Esquemas de acumulación de suciedad en fachadas.

Ante una caso de desprendimiento de un panel prefabricado de hormigón, el procedimiento más correcto consiste en sustituir completamente el acabado, dado que su reparación ofrece muchas dificultades y escasas garantías de éxito.

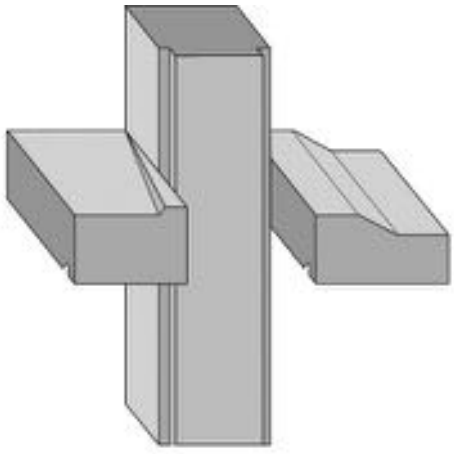
Por ello, en este apartado nos centraremos principalmente en aquellos aspectos más relacionados con la prevención. En definitiva, conviene conocer bien los fallos que anclajes, paneles y armaduras pueden llegar a ocasionar, para poder evitarlos desde el origen. Asimismo, es necesario proceder en este tipo de acabados con una ejecución en extremo cuidadosa.

A. FALLOS EN LOS ANCLAJES

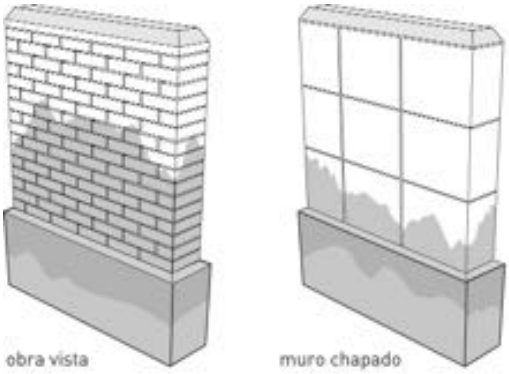
El anclaje es la parte resistente esencial en este tipo de estructuras. Su corrosión, una unión defectuosa o inadecuada con el panel, fallos en la soldadura o una ejecución deficiente pueden provocar con cierta celeridad el desprendimiento del acabado.

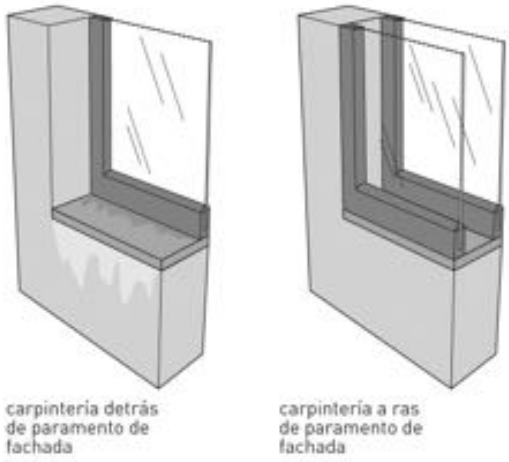
Existe una gran cantidad de tipos de anclajes, resultantes de combinar tamaños y formas de hormigón prefabricado con la variedad de funciones estructurales que pueden desarrollarse.

Encontramos incluso uniones específicas, desarrolladas por algún fabricante para sus propias técnicas de fabricación y/o montaje, y uniones diseñadas para proyectos concretos de obra.

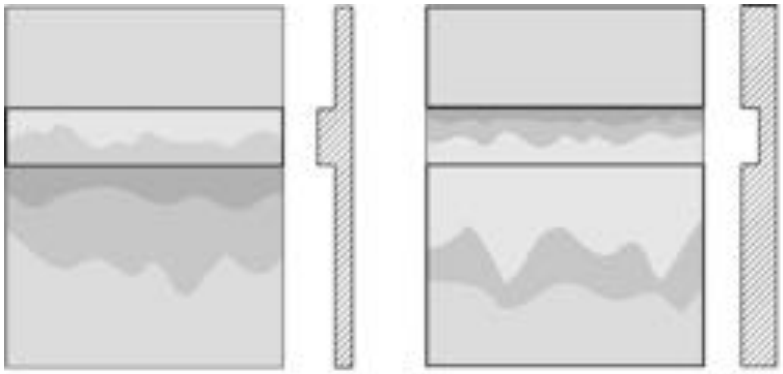


Detalle de umbral de hueco en fachada para facilitar el escurrimiento del agua y alejarla de los rincones rápidamente para que no produzcan suciedad o humedades.

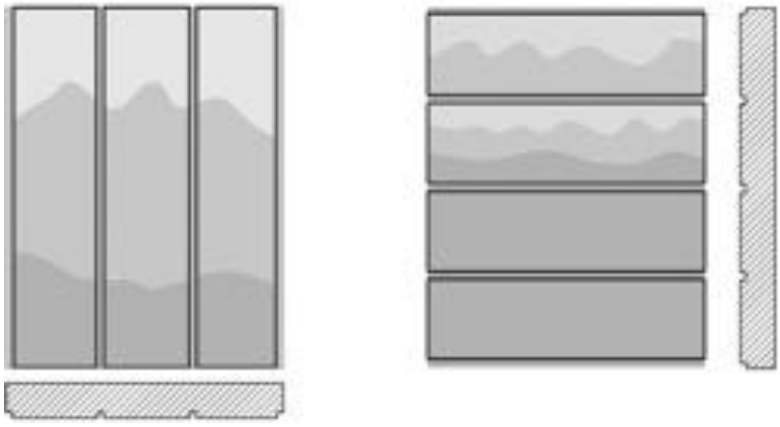




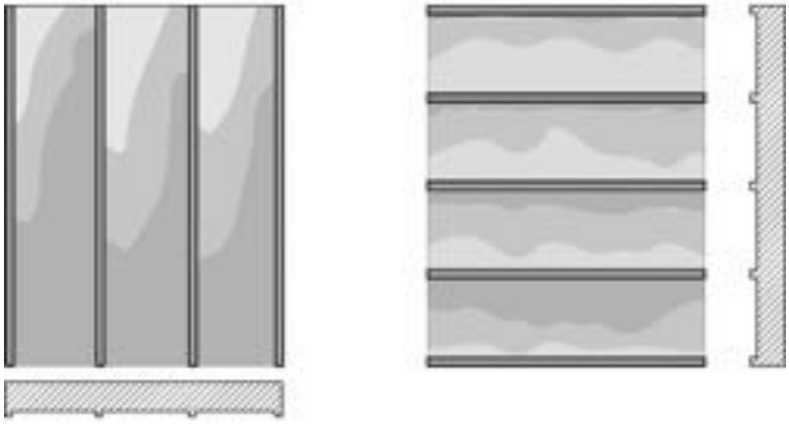
Esquemas de ensuciamiento de fachadas.



Impostas salientes y remetidas



Acanaladuras verticales y horizontales.



Molduras verticales y horizontales.

Esquemas de los efectos de salientes y entrantes de una fachada en el depósito de suciedad.

En general, cuanto más sencillo sea el diseño de las uniones menos problemas desarrollarán éstas en su trabajo conjunto con el hormigón. Siempre deberán proyectarse de manera que las partes menos complicadas se completen en obra.

Estas son algunas de las lesiones causantes de desprendimientos en las uniones:

LA CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS

Estos deben tratarse con una protección especial, imprescindible en ambientes agresivos. Los métodos más usuales son las pinturas de zinc o de resinas; la galvanización o tratamiento con cadmio; y el uso de anclajes de acero inoxidable. El aumento del coste de la obra es menor en el primer caso y mayor en el último.

Los tratamientos con pinturas son sólo posibles cuando los elementos de las uniones van a ser fácilmente accesibles, de modo que pueda realizarse su posterior inspección y reparación.

Los morteros ricos en cemento y con amianto en su masa, utilizados como protección contra el fuego, son también eficaces contra la corrosión. Toda área soldada en obra deberá ser protegida con pintura de zinc.

Si se utilizan metales distintos en la composición de los anclajes, debe considerarse la posibilidad de una corrosión bimetálica.

LA MANIPULACIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS

Las cargas de impacto asociadas a estos procesos pueden llegar a duplicar y hasta triplicar la carga estática utilizada en el diseño de una unión. Dependiendo de los métodos y controles de elevación y de la vulnerabilidad del anclaje para las cargas de impacto.

En zonas sísmicas, es necesario el uso de uniones dúctiles, es decir, capaces de deformarse antes de la rotura cuando se aplica una carga, lo cual produce una liberación de los esfuerzos hacia la estructura. En uniones diseñadas para cargas sísmicas iguales o superiores a las de impacto, las exigencias por impacto se satisfacen automáticamente.

EL PUNTO DE FIJACIÓN

El diseño de uniones se simplifica cuando los elementos prefabricados se fijan en dos puntos y en uniones laterales, con algún grado de flexibilidad.

Una solución habitual es sostener los paneles por puntos cercanos a su parte inferior, colocando las uniones laterales en la parte superior. En elementos suspendidos, las uniones a los soportes se colocan siempre en la parte superior.

En algunos casos, los elementos pueden superponerse por la parte superior y unirse lateralmente en la inferior. Es también muy frecuente el uso de una misma unión para varios elementos.

Los detalles de unión de los marcos estructurales de acero y de los moldeados *in situ* difieren únicamente en que, en los primeros, el punto de sujeción debe estar cerca del eje longitudinal de la viga.

En muros extendidos entre pilares, las estructuras de hormigón pueden quedar sujetas directamente sobre éstos. En piezas colocadas bajo forjados, no es conveniente disponer todas las uniones a lo largo de los bordes de los soportes de éstos, dado que las piezas de gran longitud tienden a doblarse.

EL TIPO DE UNIÓN

La piezas embebidas en el hormigón, en sus numerosas variantes, son una de las uniones metálicas más corrientes. Requieren un cuidadoso cálculo, un diseño apropiado, una ejecución correcta y un uso seguro. La carga puede ser distribuida entre las piezas o bien éstas pueden ser dimensionadas para resistir de manera individual toda la carga prevista.

Las superficies del panel y de las piezas metálicas de unión deben ser paralelas con el fin de obtener una óptima transmisión de carga.

Las piezas embebidas deben colocarse perpendicularmente a la superficie y en la misma línea de acción de la fuerza aplicada. En caso contrario, su resistencia disminuye sensiblemente. Asimismo, es importante que la profundidad de la rosca sea constante para un mismo tamaño de pieza y en una misma obra.

Otra unión de uso frecuente consiste en barras de diferentes formas, con cartelas si es necesario, ancladas al hormigón mediante espigas de acero, espárragos, abrazaderas de barras lisas, angulares o una combinación de éstos.

Los angulares con agujeros para roblones o tornillos, normalmente fijados al hormigón mediante pernos o conectadores, ofrecen mayor seguridad en el montaje que las placas lisas.

Si los anclajes van insertados en oquedades del panel, es necesario asegurarse de que no sean afectados por condensaciones o humedades y de que sean inspeccionables, para poder vigilar periódicamente su estado.

LA SOLDADURA

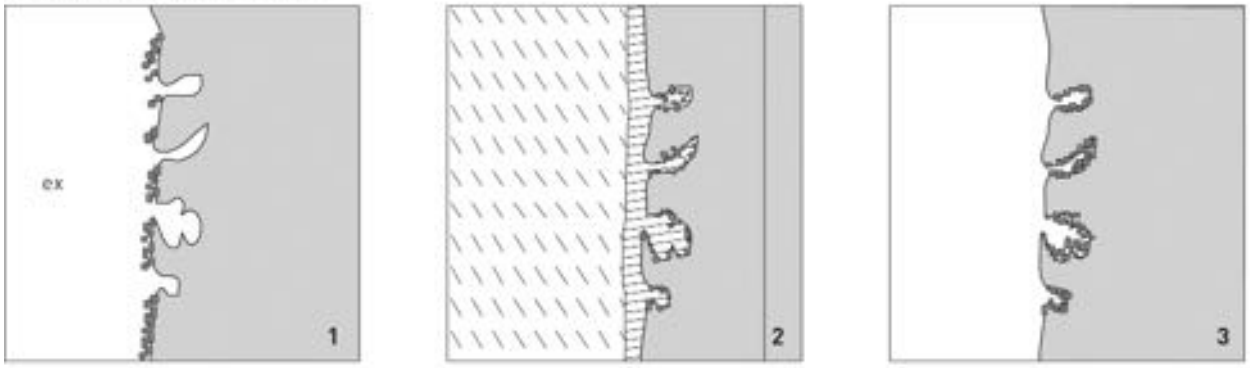
La dilatación del metal que produce la soldadura puede dañar el anclaje de las piezas y agrietar el hormigón contiguo a éstas. Por ello, debe utilizarse sólo cuando es absolutamente necesaria y, en todo caso, evitarse en lugares de difícil acceso y en piezas metálicas galvanizadas.

Las piezas sujetas o embebidas en el hormigón que sean sometidas a soldadura deberían tener un espesor mínimo de 9,5 mm. Si éste es menor, hay que tomar la precaución de cubrir el metal con espuma sellante, arcilla u otros materiales para disminuir el riesgo de agrietamiento del hormigón. Las soldaduras de gran longitud deben calcularse y realizarse por tramos.

LA EJECUCIÓN

En el caso de estructuras de gran altura hormigonadas *in situ*, es necesario retrasar el montaje de los elementos prefabricados para permitir cierta contracción y fluencia plástica. En caso contrario, las uniones y juntas deberían ser diseñadas para poder absorber dichos movimientos. Hay que prever además el envejecimiento de los materiales de sellado de juntas y la necesidad de su sustitución periódica.

Ensiuciamiento por humedad.

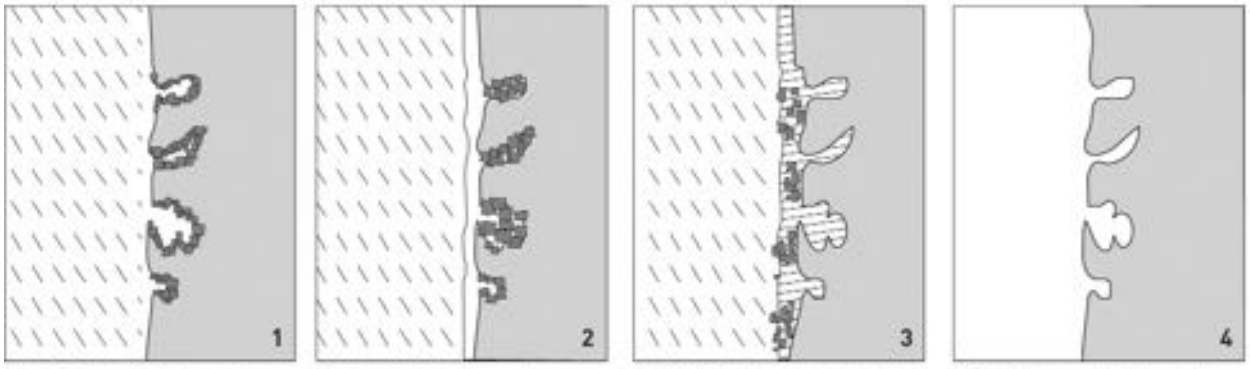


Depósito de partículas en seco.

Saturación de poros superficiales con introducción de partículas en ellos.

Evaporación del agua y permanencia de partículas en el interior de los poros.

Lavado por humedad.



Lluvia sobre fachada sucia.

Los poros se saturan de agua.

La lámina de agua arrastra las part´culas al exterior.

La fachada queda "lavada".

Acción de la lluvia en combinación con las partículas depositadas sobre la fachada. Generación de la suciedad de fachada.

B. FALLOS EN LAS ARMADURAS DE LOS PANELES

El armado de los paneles de hormigón resulta esencial en la prevención de desprendimientos en el acabado. La colocación de las armaduras será tanto más cuidadosa cuanto más delgadas sean las placas y más delicadas las formas de los elementos. El diámetro de las barras depende de las dimensiones del panel, pero siempre deberá ser lo más pequeño posible, incluso a costa de reducir la distancia entre redondos. De este modo, se disminuyen las posibilidades de fisuración y se mejora la distribución de los esfuerzos térmicos.

El recubrimiento mínimo de las armaduras es de 4-5 cm, empleando áridos de tamaño de 20-40 cm. Los separadores no deben manifestarse en el exterior. La armadura principal suele ser una malla electrosoldada, ocasionalmente reforzada con redondos. Debe ser de acero soldable y de mayor rigidez si los empalmes se hacen por soldadura.

En elementos colgados, lo mejor es aplicar una malla metálica ligera en ambas caras para contrarrestar los esfuerzos de tracción. Otras alternativas son las mallas metálicas galvanizadas y el pretensado de los elementos de hormigón, utilizado como refuerzo, aunque normalmente no consigue reducir o controlar la curvatura o el alabeo.

SUCIEDAD DE LOS CERRAMIENTOS EXTERIORES

La suciedad, en tanto que acumulación de partículas ensuciantes en las fachadas, es una de las lesiones más frecuentes en edificios urbanos. Sus síntomas pueden en ocasiones confundirse con los que manifiestan otros procesos patológicos, tales como las erosiones químicas, los organismos o la propia humedad.

El procedimiento de reparación ha de enfocarse de modo simultáneo en dos direcciones: por un lado, atacando las causas que han originado la lesión, para evitar que se produzca de nuevo o, como mínimo, atenuar su aparición. Por otro lado, anulando el síntoma. Dependiendo del tipo de lesión y de su origen, se procederá primero a reparar la superficie para posteriormente anular las causas o a la inversa.

Resulta imposible actuar sobre los agentes causantes directos de la suciedad (la contaminación, el agua y el viento), que son externos al propio sistema constructivo. Por ello, en la eliminación de las causas, al igual que en la prevención, solamente puede intervenirse sobre aquellos factores de influencia indirecta, que resultan regulables y modificables: la textura, la geometría y el color. Hay que señalar que estos causantes indirectos condicionan sobre todo la suciedad por lavado diferencial, no resultando determinantes en la suciedad derivada del depósito de partículas.

Para llevar a cabo actuaciones de prevención y reparación resulta necesario un correcto diagnóstico que identifique el tipo de partículas ensuciantes depositadas, la evolución de la lesión y los agentes que han podido influir en ella.

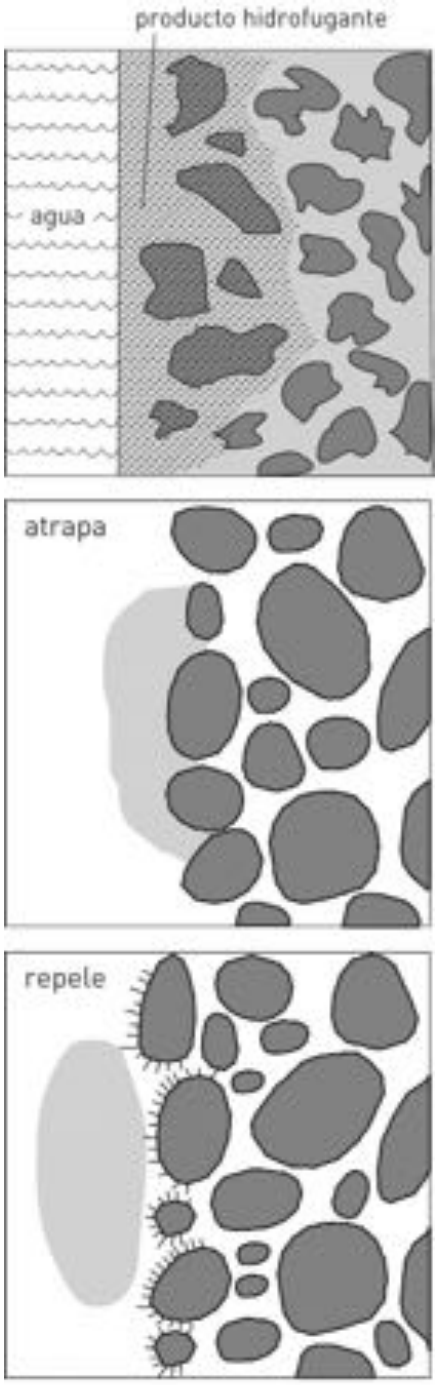
PARTÍCULAS CONTAMINANTES

Un estudio físicoquímico de éstas, junto con un análisis de la contaminación ambiente, delimitará el tipo de partículas depositadas, tanto en la superficie como en el interior de los poros. Es fundamental separar entre la suciedad originada en procesos en los que intervienen factores como el viento, la lluvia, la textura y la geometría de la fachada y las patologías relacionadas con erosiones químicas.

Estas últimas resultan de la actuación de los compuestos químicos derivados de reacciones entre contaminantes atmosféricos y componentes mineralógicos de los propios materiales de fachada. Se usarán para ello microscopios y reactivos de identificación.

CLIMATOLOGÍA Y NIVEL DE EXPOSICIÓN

El estudio incluye los vientos dominantes y su intensidad, el régimen anual de lluvias y la pluviometría asociada al viento, datos que se pueden obtener fácilmente en los institutos de meteorología locales. Ello permitirá comprender los niveles de exposición a que están sometidas la fachada y sus partes, según su situación y orientación.



Hidrofugación de paramentos de fábrica y hormigón mediante el uso de morteros hidrófugos premezclados.

Además, conviene analizar la posición de la fachada afectada con respecto a los edificios cercanos, para lo cual puede ser de utilidad la tabla que propone el C.S.T.B. de Francia.

TEXTURA, GEOMETRÍA Y COLOR DE LA FACHADA

Estos son los únicos condicionantes sobre los que podremos intervenir, ya sea en el proceso de prevención o en el de reparación.

Debemos conocer el coeficiente de absorción superficial del material empleado en la fachada, así como su textura (lisa, rugosa, rayada horizontal o vertical); identificar la inclinación de los distintos planos; la existencia o no de discontinuidades entre ellos y la presencia de molduras, relieves o anclajes que puedan provocar algún tipo de distorsión en el recorrido del agua.

Conocer el color original que tenía la fachada permitirá determinar qué tono debe alcanzarse en el proceso de limpieza.

El diagnóstico final calcula la incidencia de cada uno de los factores en el proceso de ensuciamiento, a partir de lo cual se programan las actuaciones de anulación de la causa.

Por ejemplo, si la porosidad del material o su textura han sido determinantes, puede tratarse de modificar ambos. Si es la geometría de la fachada la causa principal, la solución es proyectar la eliminación de elementos que distorsionan el recorrido de la lámina de agua o integrar nuevos elementos que controlen dicho recorrido.

A la hora de proyectar, ejecutar una obra o reparar una estructura, la identificación de las causas potenciales de la suciedad permite diseñar medidas preventivas que minimicen y retrasen esta lesión, siempre partiendo de la base que su aparición es inevitable, sobre todo en áreas urbanas e industriales.

Puede recurrirse a la aplicación de adiciones e impregnaciones especiales. Pero también se intentará disminuir al máximo el depósito de partículas o disimularlo en lo posible, actuando sobre la textura, la geometría o el color.

En general, cuanto más pulida sea la superficie exterior, menor será la necesidad de limpieza, sobre todo en edificios muy expuestos a vientos, en zonas protegidas y en plataformas horizontales y planos inclinados hacia arriba, como son los alféizares, las albardillas, las molduras horizontales y los antepechos corridos.

Además, si la superficie es plana, la uniformidad de ensuciamiento será mayor y, por lo tanto, la notoriedad de la misma más atenuada.

Las texturas rugosas obligan a proceder a una limpieza con mayor periodicidad, dependiendo además del clima y del grado y naturaleza de la contaminación. En general, cada cinco años como media en zonas urbanas.

Conviene reducir en lo posible los elementos en relieve para la subdivisión transversal, tales como resaltos, cornisas y superficies inclinadas, que implican una heterogeneidad en el depósito.

Hay que intentar limitar la cantidad de agua que choca con la pared, por medio de aleros, voladizos, etc. El agua de las fachadas debe canalizarse por medios adecuados, intentando impedir en lo posible que resbale por los paramentos, al igual que el agua de condensación..







Distintos churretones en diferentes situaciones constructivas: cornisas, balcones y escalones.

En cuanto al color, lo ideal sería emplear tonos más oscuros en las zonas más protegidas, donde se van a depositar las partículas, tales como bajos de fachada y planos inferiores a cuerpos volados.

SUCIEDAD POR DEPÓSITO DE PARTÍCULAS

El depósito de las partículas contaminantes sobre la superficie de la fachada (depósito superficial) o en el interior de sus poros superficiales (depósito interno) es el primer paso en el proceso de ensuciamiento de la fachada, alcanzando su grado de evolución dependiendo de los condicionantes externos directos, del tamaño de la partícula, de la compacidad del material y de la textura y geometría de la fachada.

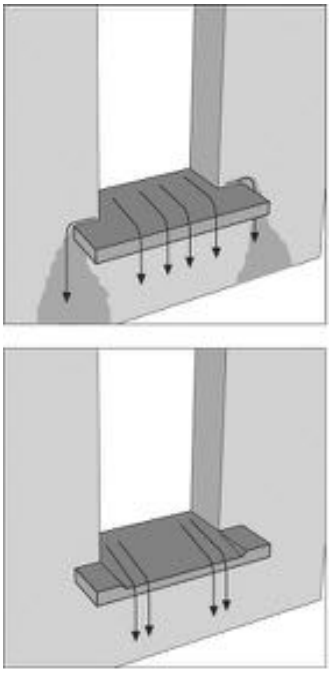
El depósito superficial ocurre sobre una superficie seca, a la cual queda ligada la partícula de suciedad por simple gravedad, atracción electrostática o molecular.

Sobre superficies húmedas o en zonas protegidas, la partícula se deposita en el interior de los poros por tensión superficial o por simple absorción. En los materiales porosos, el agua se evapora en época seca dejando la suciedad dentro de los poros.

Como método preventivo en fachadas de alto riesgo, es conveniente proceder a la hidrofugación, es decir, a tornar repelente al agua la superficie. La aplicación de estos tratamiento se hará después de la limpieza, lo cual pospone la actuación sobre las causas a la anulación de los síntomas.



La mayoría de las manchas de suciedad en las fachadas se pueden eliminar. Un plan de manteniemiento mínimo puede evitar que un edificio llegue al estado que se muestra en la fotografía.



El correcto diseño o ejecución de los alféizares de ventanas es fundamental para permitir un buen escurrimiento y evitar al máximo las manchas de suciedad.

Debe alertarse contra los productos hidrofugantes que son además impermeabilizantes, es decir, que sellan los poros del material, impidiendo la respiración del muro y, por lo tanto, causando graves problemas secundarios.

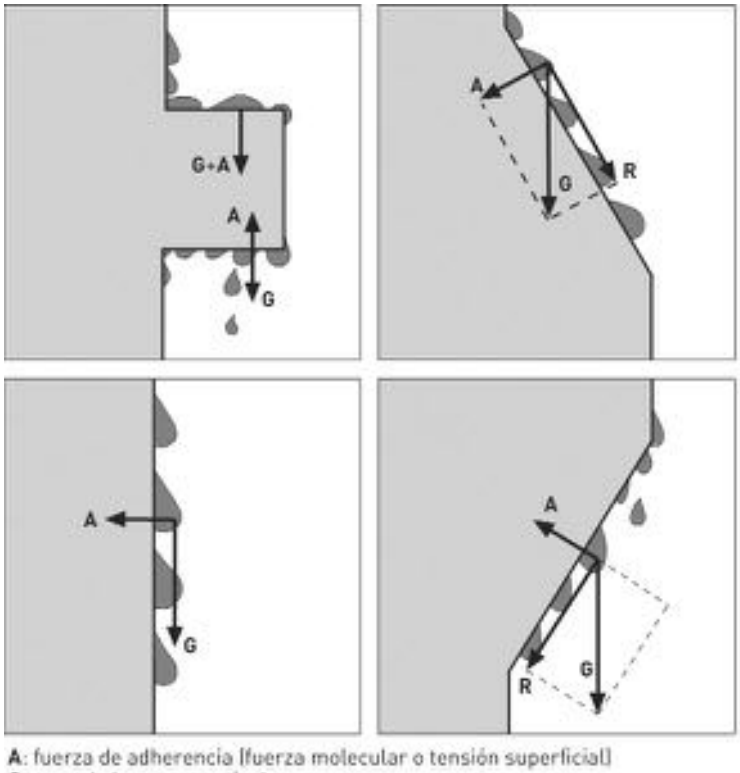
Entre los productos hidrofugantes más utilizados, hallamos las resinas, ésteres de silicona, estearato de aluminio, fluoruros, resinas acrílicas, poliéster saturado y clorado, caucho clorado y siloxano de metilo. Para materiales pétreos pesados, hay que tratar de evitar las resinas epoxídicas, procurando siempre mantener en la superficie un valor de pH entre 7 y 9.

Muchos de estos tratamientos químicos adolecen, en realidad, de cierta experiencia de uso. Por ello, antes de proceder a su aplicación, es necesario asegurarse acerca de su compatibilidad con los materiales de fachada; de la no modificación de las características higrotérmicas y, sobre todo, de su permisividad al paso del vapor de agua.

Además, ha de tenerse en cuenta que su eficacia es temporal y que, por lo tanto, habrá que reponerlos cada cierto tiempo. La alternativa de una limpieza periódica, frente a un mantenimiento periódico, debe ser considerada, sobre todo desde el punto de vista económico.

Los productos que mantienen una electricidad estática del mismo signo que las partículas evitan la atracción forética en suciedades en que el depósito es superficial y la adhesión es de tipo forético. Si se trata de adhesiones moleculares, se puede aplicar algún producto químico que actúe de barrera entre partícula y fachada.

Si la suciedad ha penetrado dentro de los poros, es conveniente aplicar tras la limpieza un producto sellante que obstruya la entrada de agua y, por lo tanto, de las partículas de suciedad. Los más usados son los derivados de las siliconas.

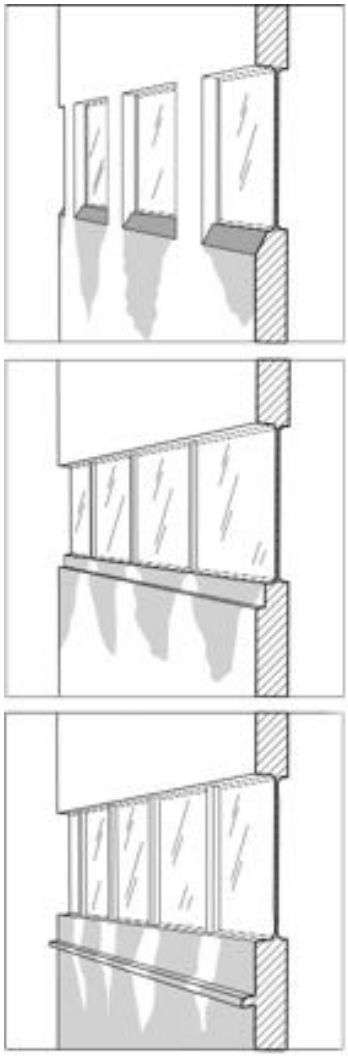


A: fuerza de adherencia (fuerza molecular o tensión superficial)
G: peso de la gota o partícula
R: resultante de **G+A** que vence el rozamiento y avanza

Esquema de fuerzas en el escurrimiento del agua sobre una fachada y sus distintos salientes.



Aquí se aprecia, gracias al color de la fachada, la parte que recibe el lavado de los escurrimientos.



Esquemas de modelos de suciedad originados por el lavado que ejerce el agua que escurre sobre la fachada.

En casos extremos, puede barajarse la conveniencia de dar un nuevo acabado superficial menos absorbente, como por ejemplo revocos acrílicos, alicatados, etc. Si se introducen nuevos materiales sobre la fachada, tanto la causa como el efecto pueden considerarse eliminados, quedando oculta la suciedad bajo el nuevo acabado.

SUCIEDAD POR LAVADO DIFERENCIAL

Los relieves, resaltos y cambios de plano en las fachadas provocan distorsiones en el recorrido de la lámina de agua, con interrupciones, cambios de velocidad y concentraciones de chorreo. En la fase de lámina, cuando ésta adquiere suficiente velocidad, la interacción agua-fachada provoca efectos desiguales cuya consecuencia es la aparición, en unas zonas de la superficie, de lavados más o menos intensos y, en otras, de depósitos internos de diverso grado.

El lavado diferencial se identifica por los denominados churretones, que pueden ser limpios (blancos) o sucios (negros). La intensidad y dirección de la lluvia, la compacidad o estructura porosa superficial y la textura y geometría de la fachada son factores que determinan el tipo de churretón.

En fachadas con riesgo de lavado diferencial, hay que intentar que la distribución de la suciedad sea lo más uniforme posible, con el objeto de evitar un aspecto desagradable del conjunto.

Para ello, habrá que controlar la escorrentía de la lámina de agua y sus zonas de paso. La anulación de las causas indirectas implica una actuación sobre la textura del material de fachada o sobre su geometría.

En el primer caso, intentando mejorar las condiciones superficiales con el objeto de disminuir el lavado. En zonas protegidas (bajos de edificios) o en zonas de concentración de escorrentías, tratando de que la superficie sea más compacta y lisa, para que dificulte la formación de churretones o, por lo menos, facilite su limpieza posterior.

En zonas de protección media o baja y de grandes paños, son preferibles las texturas de rugosidad alta o rayada que rompen la continuidad del churretón y lo disimulan o, en el caso de las rayadas verticales, lo conducen de un modo controlado por aristas y rincones.

En el apartado de la geometría, es fundamental que el paso de un plano a otro sea discontinuo, con la solución, prácticamente universal, del vierteaguas, el babero o el goterón. Se procederá añadiendo piezas que faciliten el salto de agua, como los vierteaguas de chapa o de cerámica en alféizares y albardillas donde no los había, o provocando incisiones en el comienzo de los planos verticales después de un plano horizontal.

La inclinación de planos hacia arriba ha de ser lo mayor posible, para asegurar que reciben poco depósito y que la escorrentía del agua se realiza por el frente, donde la discontinuidad está asegurada, y no por los laterales. Es el caso de albardillas, molduras horizontales o alféizares de ventanas con poca inclinación, en los que el agua se mueve despacio y tiende a concentrarse en los lados, formando los clásicos churretones en forma de bigote.

ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE UNA FACHADA CON SUCIEDADES

1. Naturaleza del soporte y de su textura superficial. Su estado de conservación en general. Debe determinarse el alcance de la limpieza.

2. Estado de los morteros de las juntas y su meteorización. Definir trabajos previos de consolidación: rascado y reposición del mortero de juntas, sellado de juntas y grietas, etc. Las fisuras, por pequeñas que sean, deben sanearse y sellarse, dado que son una puerta de entrada del agua de lavado o de los productos químicos que se usen en la limpieza.

3. Posible existencia de una interacción negativa entre los materiales componentes de la fábrica.

4. Anteriores intervenciones: limpieza, consolidación, hidrofugación, pintado, etc.

5. Grado y tipo de ensuciamiento. No hay que intentar eliminar todo rastro de suciedad, sobre todo en edificios históricos en los que su apariencia final resultará casi "artificial" y, sobre todo, muy perecedera.

6. Protección necesaria para puertas, ventanas, materiales pintados, acabados, etc. Métodos para cubrir la fachada.

7. Minimización del impacto de los trabajos sobre ocupantes y usuarios del edificio. Análisis del entorno del edificio.

8. Realización de ensayos de distintos procedimientos posibles, para evaluar sus efectos, sobre pequeñas zonas con distintos grados de ensuciamiento o sobre distintos materiales componentes de la fachada.

En las ventanas, los vierteaguas deben recogerse por sus laterales o colocarse de manera muy saliente, dado que en caso contrario producen la canalización del agua hacia los extremos y un efecto de lavado intenso en forma de cascada. Por ello, en zonas muy expuestas, puede barajarse la conveniencia de no colocar vierteaguas.

Asimismo, ha de asegurarse la discontinuidad en el paso de un plano vertical a otro inclinado hacia abajo (antepechos, dinteles de ventanas y molduras). Algo que no es necesario en el caso contrario, de plano inclinado hacia abajo a plano vertical, en situaciones de gran nivel de exposición en que el viento y la lluvia anularán el lavado diferencial. En estos casos, la colocación de un vierteaguas puede ser incluso contraproducente, provocando una zona de sombra bajo él.

Los elementos en relieve son siempre un punto conflictivo en el proceso de ensuciamiento, dado que provocan lavados intensos y puntos de concentración de suciedad. En toda fachada que no presente un alto nivel de exposición y, en todo caso, en las zonas altas de los edificios, es mejor evitar el uso de molduras.

En las horizontales, es necesario introducir discontinuidades entre planos, mientras que en las verticales habrá que canalizar la escorrentía en su base. De igual modo hay que proceder con bajantes y jabalcones.

En las cornisas e impostas, los vuelos amplios son más efectivos cuando la velocidad del viento es mayor y en fachadas con exposición escasa. Conviene distribuir varias impostas a lo largo de la fachada.

Las impostas intermedias en frentes de forjados, si son salientes y de distinta textura, suponen una interrupción momentánea del recorrido del agua y una acumulación de las partículas, que reanudan la marcha a más velocidad, produciendo un lavado desigual con depósitos.

Si son impostas hacia adentro, el paño superior actúa de goterón, por lo que no suelen recibir lavado más que en su línea inferior, con efecto sombra. Las gárgolas producen una suciedad similar si no se separan suficientemente de la fachada.

En zonas de gran nivel de protección, se evitarán las superficies curvas horizontales, cóncavas o convexas, los rincones y las esquinas, sobre todo con distancias entre diedros superiores a un metro. Los balcones y cuerpos volados de amplia superficie y gran longitud en vertical deben ser evitados en edificios poco expuestos, ya que la lámina de agua tiende a concentrarse en su centro y formar churretón.

TÉCNICAS DE LIMPIEZA

La técnica de limpieza a utilizar se escogerá tras haber analizado cada caso particular, el tipo de adhesión de las partículas, el material de fachada, su absorción y su textura. No existen sistemas de limpieza buenos ni malos, sino más o menos adecuados para cada material y situación concreta.

Previamente a acometer una operación de limpieza, hay que realizar determinadas consideraciones estéticas y técnicas, que permitan adoptar la mejor solución teniendo en cuenta la necesidad de alcanzar un equilibrio entre la eliminación de la suciedad y la preservación del soporte.

En este aspecto, hay que preguntarse en qué grado modificará la operación de limpieza el carácter visual del edificio y, en todo caso, si ello supondrá una mejora de su apariencia. Hay que estar abiertos a definir grados de suciedad y a no acometer operaciones en la totalidad del conjunto, si ello no se considera necesario ni adecuado.

Por otra parte, en el aspecto técnico, hay que definir con toda precisión las características del soporte y el grado en que éste se ve afectado por la presencia de suciedad.

Hay que señalar que toda limpieza genera un cierto cambio en la estructura superficial de la fachada que, de todos modos, ya se encontraba afectada por el propio proceso de ensuciamiento.

Muchos de los procedimientos comportan una cierta pérdida de la piel de los materiales, es decir, son abrasivos en mayor o menor medida. Por ello, lo más adecuado es en realidad proteger preventivamente las superficies, antes de que la deposición de la contaminación sea irreversible o costosa de eliminar.

Todo proceso de limpieza consta de dos etapas:

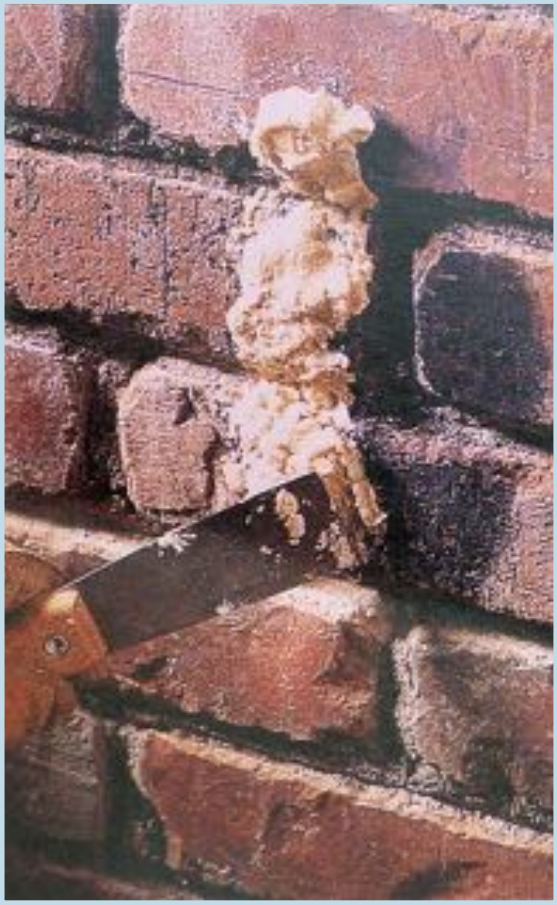
- **EL DESPRENDIMIENTO DE LA SUCIEDAD**, es decir, el arranque de las partículas por algún método adecuado.

- **LA EVACUACIÓN DE LA SUCIEDAD** arrancada a través de algún sistema de arrastre, como son el aire o el agua.

Existen varios tipos de procesos de limpieza que, en la práctica, no suelen aplicarse de modo aislado, sino combinando dos e incluso de tres de ellos.



El chorro de agua a presión es uno de los mejores métodos para eliminar pintadas y salpicaduras de materiales. Su poder abrasivo llega a ser de importancia por lo que no puede ser utilizado sobre cualquier superficie.



Limpieza de ladrillos manchados con pasta hecha con disolvente de limpieza y polvos de talco oharina.

LAVADO

Se trata de un método absolutamente desaconsejable en materiales de alta porosidad. Se utiliza agua limpia, con el menor contenido en sales posible, proyectada mediante presión, gran presión o pulverización sobre la superficie. Un cepillado suave puede ser de ayuda para ir desplazando la suciedad.

En este proceso, es importante controlar la interacción agua-fachada, pasando rápidamente por las fases de mojado y saturación y alcanzando la de lámina lo antes posible.

No obstante, la fase de mojado es importante, ya que ablanda las partículas de suciedad adheridas al soporte, las pone en suspensión o las disuelve. Si la suciedad es grasosa o aceitosa, pueden mezclarse con el agua agentes emulsionantes.

También puede emplearse vapor de agua a baja presión. En materiales blandos poco sucios, se recomienda un rociado y cepillado suaves, con un cepillo de nylon o cobre.



La obra de fábrica tiene un gran capacidad para disimular estas manchas de humedad. A pesar de la pérdida de calidad a nivel estético, con otro tipo de terminación este muro ya necesitaría una intervención.

Para cada tipo de suciedad y material, se aplicará una presión menor o mayor (hasta 120 atmósferas), a una distancia variable del soporte. Las pulverizaciones son de corta duración y reiteradas si es necesario.

Las principales ventajas de este procedimiento son su facilidad de aplicación y su suavidad. Puede usarse en piedras blandas o deterioradas, conservando incluso la piel natural de los materiales. Además, elimina las sales solubles y permite actuar sobre las grasas.

La principal desventaja es que su aplicación sobre materiales porosos puede provocar la aparición de distintos efectos secundarios, como la disgregación de los materiales cementantes, la introducción de partículas agresivas que pueden dar coloración tras el secado, el transporte y cristalización de sales, la proliferación de organismos vivos favorecidos por las condiciones de humedad, etc.

Un exceso de presión puede arrancar la piel meteorizada y, en el uso de agua caliente, la alta temperatura provoca reacciones químicas nocivas y disgregación por choque térmico.

La proyección de agua caliente, generalmente a una temperatura próxima a los 140 ºC, se realiza a presión. El agua se convierte en vapor de agua a la salida de la pistola, provocando una saturación de este vapor húmedo cuando entra en contacto con la superficie de la fachada.

El agua condensada produce el reblandecimiento de la suciedad depositada o incrustada, que se desprende y es transportada por el agua que se desliza por el paramento. El inconveniente de este sistema es el choque térmico que puede provocar en la estructura, razón por la cual debe realizarse con extrema rapidez.

Para paliar esto, puede proyectarse una mezcla de vapor y de agua en proporciones de 40 a 60 %. Ello permite aplicar el chorro durante un periodo de tiempo mayor. Este tipo de limpieza es adecuado para superficies poco porosas, permitiendo conservar la pátina, sin deterioro de los granos de la superficie.

LIMPIEZA QUÍMICA

Se manifiesta eficaz en casos de adhesión molecular de las partículas o cuando resulta complicado extraer la suciedad introducida en los poros.

Consiste en pulverizar un disolvente diluido en agua o en aplicar una pasta preparada, provocando una lámina que sea capaz de arrastrar la suciedad, como en el caso del lavado.

Los agentes químicos reaccionan con la suciedad, disolviéndola o destruyendo su cohesión con el soporte por efecto de la saponificación. La solución se deja actuar durante un periodo de tiempo, que depende del grado de arranque pretendido.

Finalmente, se proyecta agua limpia para eliminar los restos de disolvente y se procede a un secado acelerado, mediante aire caliente o esponja. En la práctica, se trata de un método complementario al de lavado con agua.

Los ácidos y los álcalis son los principales agentes químicos utilizados en este sistema. Los primeros resultan agresivos, pero eficaces. Deben usarse siempre diluidos y con moderación. Tras el aclarado, es recomendable aplicar algún producto alcalino que contrarreste o neutralice la acción del ácido. Se usan con frecuencia el ácido fluorhídrico, el clorhídrico, el fosfórico y el sulfúrico y, entre los más débiles, el fórmico, el acético y el oxálico.

En el caso del empleo de fluoruro de calcio y de que el contacto con la superficie sea prolongado, se producirán cristalizaciones insolubles que pueden formar sobre algunas piedras una especie de "pátina" artificial. Por el contrario, en materiales a base de sílice, tales como los ladrillos o las rocas areniscas, es un procedimiento inadecuado. El ácido clorhídrico, muy eficaz por su fuerte ataque a la cal, puede llegar a provocar la disgregación de los materiales.

Los álcalis son menos agresivos, aunque pueden atacar ciertas rocas silíceas. Dado que neutralizan los ácidos grasos, son recomendables sobre todo para la limpieza de sustratos con suciedad aceitosa.

Uno de los álcalis más usados, el hidróxido de potasio, presenta el inconveniente de formar sales capaces de cristalizar en eflorescencias. La sosa cáustica está cayendo en desuso, ya que provoca frecuentemente la aparición de eflorescencias blancas, características de los sulfatos alcalinos.

Como principal ventaja, la limpieza química resulta enérgica y eficaz, sin tratarse de un procedimiento caro. No ha de provocar necesariamente erosión. Simplemente se trata de hallar el agente adecuado para el tipo de suciedad a eliminar.

La desventaja es que, sobre todo en el uso de ácidos, se elimina la piel de los materiales blandos, tales como las piedras calcáreas.

Además, requieren la adopción de severas medidas de precaución y protección de los operarios y del entorno. Los ácidos requieren abundancia de agua en el aclarado y, en ocasiones, la neutralización con álcalis.

ueden ocasionar eflorescencias, oxidaciones, sales solubles, cloruros agresivos y reacciones químicas en cadena.

Los productos tensoactivos, que disminuyen la tensión superficial del agua, permiten un mejor contacto con la suciedad. También actúan como disolventes por emulsión de grasas y aceites.

LIMPIEZA MECÁNICA

Aunque ciertos autores aconsejan evitar en lo posible el uso de este tipo de limpieza, lo cierto es que el grado de abrasión de los paramentos y de erosión del substrato que ésta ocasiona es muy variable entre unas técnicas y otras, oscilando entre 0,5 y varios milímetros según la dureza del material y el espesor de la costra.

Existen varios métodos de limpieza mecánica:

MANUALES. Solamente adecuados para actuaciones puntuales, debido a la lentitud con que se efectúan los trabajos. Consisten en rascar la superficie, punzonando las partes más afectadas, a través de cepillos o discos abrasivos.

Para zonas pequeñas y de especial valor artístico o arquitectónico, tales como relieves o esculturas, pueden utilizarse una serie de técnicas de acción controlada, como el microchorro de arena, el láser o los ultrasonidos.

Se trata de sistemas más suaves, pero de muy lenta ejecución, que no aportan humedad, siendo útiles cuando la costra de ensuciamiento es más dura que el propio soporte.

Los sistemas mecánicos rebajan en algún milímetro la capa externa del paramento. El polvo y el ruido que provocan pueden ser paliados con la adición de agua, que produce no obstante la indeseada aparición de barro.

ABRASIVOS LANZADOS EN SECO. La proyección sobre la fachada de un chorro de material granuloso (arena en seco, sílice, vidrio triturado, macroesferas de vidrio, escoria y limaduras de hierro, serrín de madera, cáscaras de frutos secos o polvo de cobre) produce un impacto directo que desplaza y arranca las partículas sucias.

El inconveniente es que, en superficies blandas, puede arrancarse también parte del material sano o de la costra de alteración. En todo caso, la erosión no es nunca inferior a 1 mm.

Además, la eficacia de este sistema es tanto más alta cuanto mayor sea la densidad del abrasivo y el impacto, pero con ello también aumenta la erosión.

La presión a la que trabajan las máquinas de proyección se sitúa en torno a las 7 atmósferas y el tamaño de los áridos suele estar entre 2 y 3 mm.

El aire comprimido sirve en este caso de medio de arranque de la suciedad adherida al soporte y de vehículo de transporte de las partículas sueltas.

Se trata de un sistema rápido y eficaz, de fácil aplicación y bajo coste. El mayor inconveniente es que resulta difícil controlar la presión y exactitud de la dirección de la proyección, que puede desplazarse provocando daños irreparables.

Ello ocasiona una alteración desigual del soporte, que puede observase a través de rugosidades diferentes entre zonas blandas y duras.

No debe usarse sobre piedras blandas, en las cuales se corre el riesgo de eliminar la pátinas, ni sobre fachadas con aristas o relieves decorativos.

El ruido y el polvo que ocasionan estos sistemas son los grandes inconvenientes de su uso.

Gracias a la variedad de boquillas que existen en el mercado, que van desde los grandes diámetros para amplias superficies y altas presiones a verdaderos pinceles de aire de diminutos diámetros y para presiones bajas, pueden limpiarse pequeños detalles e incluso piedras delicadas.

ABRASIVOS LANZADOS CON AGUA. Consiste en proyectar un chorro de agua mezclada con material granuloso abrasivo (normalmente, arena con proyección húmeda o hidroneumática), a una presión de 1 a 3 atmósferas.

El agua atenúa el impacto, resultando menos violenta para la fachada que la proyección en seco. La profundidad de erosión es menor que en el sistema anterior, pero también lo es la eficacia.

Este procedimiento es en realidad una modalidad de lavado, en el que el agua se encarga de ablandar la suciedad por la humedad aportada y el abrasivo de arrancar las partículas.

El acabado final suele presentar un aspecto rugoso. Hay que evitar operar a menos de 30 cm del paramento y procurar utilizar una presión poco elevada para poder controlar el trabajo.

Al contrario que el método de chorro seco, no se produce una contaminación del entorno por emisión de polvos contaminantes.

Este sistema consigue eliminar la nube de polvo que generan los abrasivos lanzados en seco e incluso amortiguar el ruido de aquéllos, pero por contra genera un barrillo que, por salpicado, se deposita sobre el muro y que ha de ser eliminado posteriormente mediante lavado.

OTROS SISTEMAS novedosos, de proyección seca o ligeramente húmeda, con abrasivo a base de polvo de vidrio micronizado bajo aire a presión (sistema Thomann-Hanry).

La particularidad de estos métodos, escasamente experimentados en España, es que sustituyen el impacto ortogonal por la frotación tangencial, lo cual reduce el espesor de la erosión y permite utilizarlos en todo tipo de materiales (piedras, ladrillos, hormigones y estucos).

La abrasión de los materiales de fachada es más controlada que con otros métodos, siendo el acabado más liso y la erosión menor. No produce polvo ni contaminación.

Permite limpiar todo tipo de paramentos, al poder escoger entre diversos tamaños de polvo: finos, microfinos y superfinos.

El mayor inconveniente es la alta inversión económica en equipamientos y en mano de obra cualificada.

Además, no consiguen eliminarse las sales nocivas existentes en el interior de los materiales.

TORTAS O CATAPLASMAS

Las tortas de arcilla o de otros materiales con un alto coeficiente de absorción se aplican directamente sobre la superficie de la fachada, después de haber saturado ésta con agua limpia mezclada con disolvente o con algún agente limpiador jabonoso.

Las tortas absorben el agua, arrastrando las posibles partículas de suciedad que se han disuelto en ella. También eliminan los restos adheridos al paramento, como consecuencia del uso de otros productos de limpieza química.

Las cataplasmas a base de mezclas de productos químicos, agua y sustancias gelatinosas o polvos absorbentes son igualmente efectivas.

Estas técnicas sofisticadas se usan en la limpieza puntual de partes delicadas de la fachada, tales como estatuas, relieves o molduras, manifestándose muy eficaces en mármoles y piedras pulimentadas. No deben aplicarse sobre superficies porosas.

LIMPIEZA MEDIANTE LÁSER

Consiste en rociar las partes ennegrecidas de la superficie de la piedra mediante un haz de fotones por medio de un rayo láser capaz de eliminar los depósitos y costras, sin atacar la capa superficial de la misma y manteniendo en la piedra incluso su pátina original. Se trata de un método inocuo, que no ejerce impacto ni abrasión y no introduce agua ni productos químicos, logrando una gran uniformidad de limpieza. El láser permite acceder con facilidad a las partes más recónditas de esculturas y elementos decorativos pequeños de la fachada.

Se trata de una técnica de reciente introducción, cuyo mayor inconveniente es su carestía. Requiere la realización de pruebas que determinen la longitud de onda de haz de fotones a proyectar.

TÉCNICAS ESPECIALES

En pequeñas áreas de fachadas (arquerías, bajorelieves y molduras) se está aplicando una nueva técnica de limpieza consistente en la sustracción de los iones metálicos de las costras y pátinas y su sustitución por iones hidrógeno u oxidrilo, mediante intercambiadores iónicos constituidos por resinas sintéticas. Se trata de un tratamiento costoso y de lenta ejecución.

LOS MATERIALES DE FACHADA

El proceso de ensuciamiento depende y evoluciona según un cúmulo de factores diversos, entre los cuales el material de fachada y su compacidad resultan esenciales. Además, el sistema de limpieza aplicado está en buena parte determinado por este factor. Todos los materiales sometidos a una limpieza deben ser lavados, neutralizados totalmente y secados, con el objeto de evitar eflorescencias posteriores.

Todos los materiales pétreos presentan porosidad en mayor o menor grado, dependiendo de su densidad. Los materiales cerámicos son poco porosos, tanto menos cuanto mayor sea el grado de cocción y más fina la arcilla utilizada en su elaboración. El gres es considerado como el material cerámico más compacto.

Para piedra natural y hormigón, son válidas las técnicas de limpieza vistas anteriormente, siempre estudiando con anterioridad el grado de porosidad del material y teniendo en cuenta los condicionantes de color y de textura, que deben conservarse.

En el hormigón, es recomendable aplicar posteriormente un tratamiento inhibidor. Para manchas de diversa procedencia, se sugiere un lavado con agua limpia o con una solución de detergente.

En la limpieza y conservación de la piedra, en muchas ocasiones nos encontraremos ante un trabajo de tipo artesanal. En este caso, hay que justificar siempre debidamente la necesidad de una limpieza, dado que el material que es necesario desprender para realizar el trabajo tardaría años en perderse por vía natural.

Las piezas o detalles frágiles pueden necesitar técnicas de protección previas a la limpieza y posteriores retoques mediante pasta del mismo material. En las grandes áreas planas, podrán utilizarse métodos más agresivos.

Los hormigones, morteros y revocos son los materiales en los que la suciedad produce consecuencias más desagradables, dependiendo su porosidad de la composición con que se han elaborado.

Para los revocos tendidos con mortero de cemento, puede rascarse la superficie ligeramente con un cepillo de nylon, rociando con abundante agua. Para tendidos de mortero de cal, el polvo, las grasas o los restos de materias orgánicas pueden arrancarse raspando la superficie y aplicando posteriormente una capa de pintura para exteriores.

En los revocos proyectados con mortero de cemento, se procede de igual forma y se aplica finalmente una capa nueva de mortero de grano fino.

Para tendidos y proyectados con mortero de resinas sintéticas, se pasa ligeramente un cepillo y agua con un detergente neutro en pequeña proporción, enjuagando con agua abundante.

Los paramentos de fábrica de ladrillo o revestidos de losetas cerámicas se limpian rociando agua sola o con disolución de jabones o detergentes no agresivos.

El uso de emplastos o de productos químicos debe ser estudiado en cada caso particular.

Los materiales metálicos resultan muy compactos y además su superficie pulida dificulta el depósito de partículas, siendo lavables con más facilidad e incluso autolimpiables por efecto de la lluvia. No puede evitarse, sin embargo, el depósito producido por tensión superficial. En el caso de metales oxidados, la capa de óxido que se forma sí presenta gran porosidad y resulta, por tanto, fácil de ensuciar y difícil de lavar.

BIBLIOGRAFÍA

Arquitectura sin fisuras. *Josep María Adell Argilés. Munilla-Lería. Madrid, 2000.*

Conservation of brick. *John Warren. Butterworth-Heinemann. Oxford, 1999.*

Conservation of historic buildings. *Bernard M. Feilden. Butterworths Scientific. London, 1982.*

Construcció amb bloc de formigó. *Josep Ignasi de Llorens Durán-Alfons Soldevilla Barbosa. U.P.C. Barcelona, 1993.*

Curso de patología. Tomo 3. Cerramientos, acabados y cubiertas. *AA.VV. COAM. Madrid, 1995.*

Curso de protección contra incendios en la edificación. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de Rehabilitación Nº 7. Cerramientos y acabados. *AA.VV. COAM. Madrid, 1988.*

Curso de Rehabilitación Nº 8. Acondicionamiento térmico y acústico. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Defectos de las capas de pintura. *Manfred Hess. Blume. Barcelona, 1973.*

Elementos de edificación. Revestimientos continuos. *José María Bielza de Ory. Universidad de Educación a Distancia. C.O.A.A.T. de Madrid. Madrid, 1996.*

Fachadas prefabricadas de hormigón. *AA.VV. Herman Blume. Madrid, 1973.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

La obra de fábrica y su patología. *Ortega Andrade. Colegio de Arquitectos de Canarias. Las Palmas, 1999.*

La prevención de daños por incendio en arquitectura. *Luis Herrera Zogby. LIMUSA. México, 1981.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Lesiones en los edificios. Síntomas. Causas. Reparación. *AA.VV. Ediciones CEAC. BCN, 1981.*

Limpieza, restauración y limpieza de fachadas. *Bernabé Farré-Obdulia Aldoma. Prensa XXI. Barcelona, 1989.*

Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1997. 2º edición.*

Patología de fachadas urbanas. *E.T.S.A.V. Universidad de Valladolid, 1990. Secretariado de Publicaciones.*

Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas. *Francisco Serrano Alcudia. Fundación Escuela de la Construcción. Madrid, 1998.*

Prevention of Premature Staining of New Buidings. *Phil Parham. E & FN SPON. London, 1997.*

Rehabilitació d'habitatges rurals. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1985.*

Standard details for fire-resistive building construction. *Louis Przetak. Mc.Graw-Hill Book Company. EUA, 1977.*

Técnicas para revestir fachadas. *Celia Barahona Rodríguez. Munilla-Lería. Madrid, 2000.*

Tecnología del fuego (2 tomos). *Manuel Pascual Pons. Manuel Pascual Pons. Barcelona, 1977.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

Informes de la Construcción Nº 419. *Identificación de presencia de cemento aluminoso en hormigones mediante el uso del Panchómetro. Andrade-Lozano-Seguí-Vicens-Hernández. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recientes intervenciones en monumentos en España. Rodríguez Ortiz-Monteverde-García Gamallo.*

Informes de la Construcción Nº 452. *Refuerzo de estructuras con composites avanzados. Alfonso Recuero-José Pedro Gutiérrez-Antonio Miravete-Jesús Cuartero. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Materiales de Construcción Nº 226. *Influencia de las concentraciones en iones hidróxilos, carbonatos y cloruros sobre la corrosión por picaduras del acero en el hormigón. Chaussadent-Aron. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

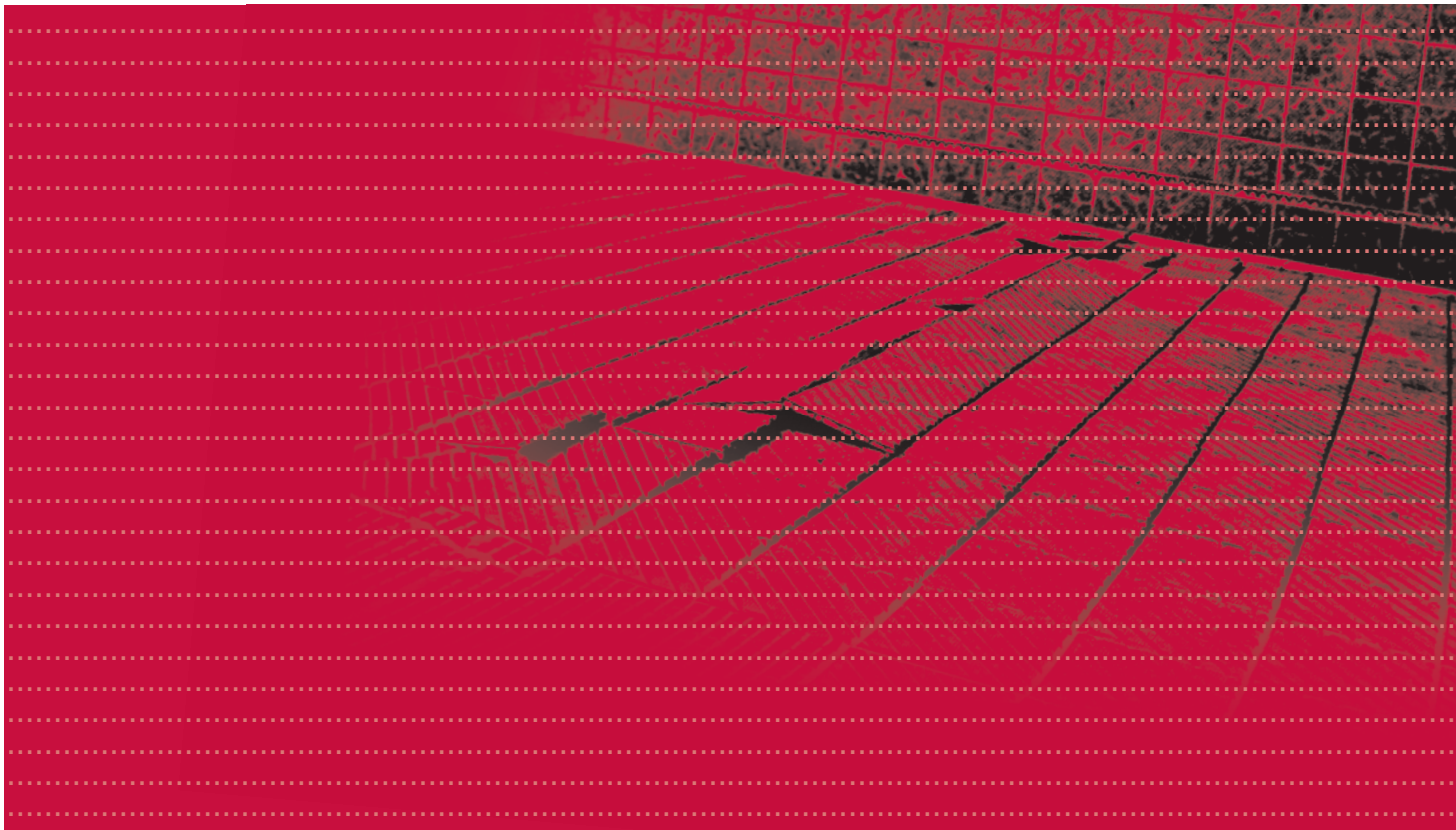
Materiales de Construcción Nº 259. *La torre inclinada de Pisa. Estructuras, materiales de construcción e intervenciones de refuerzo. Veniale. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Hormigón Preparado Nº 31. *Refuerzo de estructuras con materiales compuestos con fibra de carbono. Sistema SIKA CARBODUR. Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.*

Hormigón Preparado Nº 48. *Fisuración de soleras. Luis Cavero. Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.*

Hormigón y Acero Nº 210. *Refuerzo de estructuras de hormigón con materiales compuestos con fibras de carbono. Asociación Técnica Española del Pretensado Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.*

Cuadernos INTEMAC Nº30. *Estrucutras dañadas por corrosión.*



PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

PATOLOGÍA DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES.....167

LESIONES MECÁNICAS.....185

LESIONES EN ACABADOS.....195

PAVIMENTOS.....217

PATOLOGÍA DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES 167

HUMEDAD POR CONDENSACIÓN SUPERFICIAL 168

HUMEDAD ACCIDENTAL 180

LESIONES MECÁNICAS 185

GRIETAS POR DEFORMACIÓN DE FORJADOS 186

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS 187

REPARACIÓN DE LAS LESIONES MECÁNICAS DE MUROS NO PORTANTES 190

LESIONES EN ACABADOS 195

DESPRENDIMIENTO DE REVOCOS Y ENFOSCADOS 195

LESIONES EN ELEMENTOS: ALICATADOS 202

PATOLOGÍA DE LAS PINTURAS 206

PAVIMENTOS 217

A. PAVIMENTOS EMBALDOSADOS 217

B. PAVIMENTOS DE MADERA 221

C. PAVIMENTOS ALISADOS 225

D. PAVIMENTOS SINTÉTICOS 228

BIBLIOGRAFÍA 229

HUMEDAD DE LOS CERRAMIENTOS INTERIORES

La tabiquería, entendida como un conjunto de delgadas paredes de partición, no tiene o no debería tener ninguna función estructural. Es decir, no está preparada para contribuir estructuralmente al descenso vertical de cargas en la edificación.

Sin embargo, la realidad es que a menudo la deformación de elementos estructurales por flexión, tales como los forjados, acaba provocando tensiones y esfuerzos sobre los tabiques, que ven fácilmente superada su capacidad para soportar cargas.

En cualquier caso, la tabiquería debe presentar, como mínimo, una estabilidad suficiente frente a su propio peso y la resistencia mecánica adecuada ante los choques que puede, por ejemplo, provocar un mueble.

Asimismo, debe disponer de una cierta capacidad de deformación que le permita absorber las tensiones generadas por deformaciones diferenciales de la estructura, ocasionadas por las variaciones de temperatura y humedad. La tabiquería tradicional de ladrillos, de poco espesor y demasiado rígida, resulta a menudo tremendamente frágil frente a estas deformaciones.

La altura y espesor del plano mural debe ser tenida en cuenta a la hora de proyectar cerramientos interiores de gran superficie bajo forjados muy flexibles (planos o reticulares).

TRADICIONAL	Tabique	De ladrillo hueco sencillo, reves-tido por ambas caras, con espesores de hasta 7 cm.
	Tabicón	De ladrillo hueco doble, alcanza 9 cm. de espesor y está revestido por ambas caras. Permite alojar conducciones de agua en su interior.
	Citara	De ladrillo hueco doble colocado a soga, con un espesor de medio pie. Se usa para muros transversales o muros más altos.
INDUSTRIAL	Tabique de hormigón	Espesor mínimo de 9 cm. Elemento frágil, con retracciones importantes y fácilmente fisurable.
	De morteros o pasta de yeso proyectado.	Requiere de tela metálica o mallazo a ambas caras o encofrados a una cara.
	Tabiques de placas macizas de escayola o yeso.	Placas machihembradas ejecutadas en fábrica, fáciles de cortar.
	Tabiques de entramados y placas cartón-yeso.	Constituida por un entramado soporte de canales o suelas y pies derechos, metálicos o de madera.

TIPOS DE TABIQUERÍA DE PARTICIÓN

Los acabados interiores (revocos y alicatados) son, por su estrecha relación de adherencia o de anclaje con el cerramiento, los planos verticales más débiles en los interiores de edificaciones. En el plano horizontal, debemos hablar de los pavimentos, que tratamos ampliamente en este apartado.

Así como los muros de cerramiento exteriores se encuentran afectados por condensaciones, intersticiales e higroscópicas, y humedades de capilaridad, en el interior de los edificios hemos de hablar fundamentalmente de unas humedades que revisten cierto grado de familiaridad cotidiana, las conocidas condensaciones superficiales. Al igual que las humedades de tipo accidental, causadas básicamente por la rotura de las conducciones de agua empotradas en los muros o enterradas en los pavimentos.

En el primer caso, resolver una humedad de condensación es siempre enfrentarse a un cuadro patológico de origen térmico. En las humedades accidentales, sin embargo, la localización y reparación de la causa resulta, en la mayoría de los casos, bastante sencilla.

HUMEDAD POR CONDENSACIÓN SUPERFICIAL

Las condensaciones aparecen sobre la cara interior del cerramiento cuando su temperatura superficial es inferior a la de rocío, generalmente por la presencia de dos factores cotidianos bien conocidos, que a menudo confluyen:

- **UNA ALTA PRODUCCIÓN DE VAPOR DE AGUA**, de carácter puntual e intermitente, localizada generalmente en las zonas de baños y cocinas.

- **LA IMPERMEABILIDAD DE ALGUNOS MATERIALES DE ACABADO INTERIOR**, tales como los vidrios, los azulejos o los cerramientos de aluminio, sobre los que a menudo se forma un verdadero goteo.

Sin embargo, y a pesar de que la no permisividad al paso del vapor de agua sea la causa principal de la aparición de humedades de condensación, hay que señalar un tercer supuesto de condensación.

En ambientes menos extremos, donde la emisión de vapor de agua es moderada y los materiales de revestimiento son porosos, la existencia de ***PUENTES TÉRMICOS*** sin aislamiento adecuado puede generar la aparición de este tipo de humedades.

Algunos apuntes pueden ayudarnos a entender tal situación. La superficie o paramento de un cerramiento adquiere una temperatura que a menudo no coincide ni con la que existe en puntos interiores de su masa ni con la del espacio que encierra. Por esta razón, el aire no se saturará o condensará en el centro de la estancia, pero sí al entrar en contacto con el muro, normalmente más frío.



Coloque una barrera de vapor de polietileno de 0,15 mm en el lado del aislante más cálido en invierno.

MATERIAL[1]	RESISTENCIA AL VAPOR [2]	
	MN s/g	mmHg m^2 día/g^2 cm
Hoja de aluminio de 8 micras	4000	347
Lámina de polietileno de 0,05 mm	103	9
Lámina de polietileno de 0,10 mm	230	20
Lámina de poliéster de 25 micras	24	2,08
Papel Kraft con oxiasfalto	9,4	0,84
Papel Kraft	0,43	0,037
Pintura al esmalte	7,5-40	0,65-3,48
Papel vinílico de revestimiento	5,10	0,43-0,86

(1) Pueden considerarse como barreras de vapor aquellos materiales laminares cuya resistencia al vapor está comprendida entre 10 y 230 MN s/g (0,86 y 20 mmHg m^2 día/g).

(2) Es el inverso de la permanencia al vapor.

RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA DE MATERIALES EN FORMA DE LÁMINA
(Fuente: Tratado de rehabilitación.Tomo 4: Fachadas y cubiertas)

Por otro lado, la existencia de puentes térmicos en determinados puntos provoca sensibles diferencias de temperatura entre dos zonas relativamente próximas del paramento.

Una situación que puede llegar a ser bastante acusada en función de las diferentes resistencias térmicas.

Este fenómeno, según el cual el paramento no presenta una temperatura homogénea, se manifiesta por la aparición de puntos o franjas de condensación, localizadas en aquellas zonas donde el aire saturado se precipita al contacto con la pared fría.

Junto con los dos factores anteriormente expuestos (producción excesiva de vapor de agua en cocinas y baños e impermeabilidad de los paramentos), los puentes térmicos dibujan un típico cuadro de humedades por condensación. Un cuarto factor, la falta de iluminación en los rincones y de ventilación en los locales, puede agravar esta sintomatología.



La aparición de humedad ha provocado la pérdida del revoco y el deterioro de la pintura.

De modo esquemático, hemos citado ya los dos principales síntomas de esta humedad, que pasamos a desarrollar más extensamente. El goteo, fenómeno inconfundible únicamente asociado a la condensación, aparece sobre las superficies interiores del cerramiento cuando éste es impermeable.

En la siguiente tabla, se indican las resistencias al vapor de agua de los materiales más comunes en la edificación.

Como métodos preventivos, en locales con alta producción de vapor de agua, es necesario preparar la superficie interior de los cerramientos, disponiendo revestimientos absorbentes y resistentes a la humedad y acabados con pinturas fungicidas.

En cocinas y baños, conviene colocar revestimientos impermeables, así como mantener la puerta cerrada y usar extractores de aire en el momento de producción del vapor. De modo que éste no pase a otras habitaciones de la vivienda, como los dormitorios, que normalmente se mantienen más frías.

En las ventanas, punto donde la condensación resulta inevitable, es conveniente colocar canaletas para la recogida de aguas de condensación.

Asimismo, es conveniente optar por la calefacción eléctrica, evitando el uso de los sistemas a gas. La instalación de deshumidificadores puede ayudar a reducir las condensaciones, pero no las elimina completamente.

La formación de ***MANCHAS DE CONDENSACIÓN***, seguida del desprendimiento de los acabados y la aparición de hongos, es un síntoma propio de los acabados superficiales de elevada porosidad, con gran capacidad de absorción del vapor de agua.

Estas manchas, de carácter superficial, se localizan fundamentalmente en las zonas más oscuras y peor ventiladas de la estancia (rincones, armarios empotrados, detrás de muebles y cuadros), aunque también en el encuentro entre forjados y cerramientos y en torno a las ventanas e incluso por encima de rodapiés, pudiéndose confundir en este caso con las humedades de capilaridad.

Su color pardo oscuro e incluso negro intenso las hace fácilmente localizables, sobre todo cuando, con el tiempo, propician la formación de un hongo de gran población y de característico olor a podrido.

En su primer estado de desarrollo, estas manchas son superficiales y fáciles de eliminar. Pero reaparecen al cabo de poco tiempo si el problema no está solucionado. Si la superficie es porosa, pueden confundirse con las humedades de capilaridad, filtración, de obra e incluso con humedades accidentales. Ello obliga a un estudio detallado y minucioso de los gradientes de temperatura y a la localización de posibles puentes térmicos.

Antes de efectuar el diagnóstico, si del estudio previo se extrae la posibilidad de que se alcance la temperatura de rocío en la superficie interior, conviene comprobar que la lesión se manifiesta en coincidencia con las épocas frías y de mayor producción de vapor en los locales. Ello nos permitirá corroborar sin margen de duda la existencia de humedad de condensación.

Asimismo, es necesario determinar el estado en que se encuentran los revestimientos exteriores, su grado de absorción de agua y su contenido permanente de humedad. Muchas veces, con sólo mantener el muro en estado más seco y sano habremos resuelto el problema.

En estancias con una producción de vapor limitada (salas de estar, dormitorios, oficinas) y con acabados superficiales porosos, debe evitarse la formación de la condensación elevando la temperatura interior y eliminando los puentes térmicos.

Y, en cualquier caso, preparando la superficie para que el agua no produzca lesión en ella. Veamos algunos de los sistemas posibles:

MEDIDAS PARA ELIMINAR LA HUMEDAD DE CONDENSACIÓN

Impedir que se alcance la temperatura de rocío puede conseguirse mediante el aumento de la temperatura del cerramiento o la disminución de la presión del vapor de agua del local.

AUMENTAR LA TEMPERATURA DEL CERRAMIENTO

Los sistemas de calefacción, costosos y eficaces, pueden ser utilizados sólo temporalmente. Por ello, es aconsejable recurrir a los métodos constructivos, más efectivos y de acción permanente, consistentes en aumentar el coeficiente de aislamiento del propio cerramiento.

Aplicables preferentemente sobre paños ciegos y en la totalidad de la superficie, en ocasiones pueden ser sólo necesarios en puntos concretos del cerramiento, donde su encuentro con otros muros o con estructuras exteriores conforman un puente térmico.



La humedad de condensación en este cuarto de baño mal ventilado ha favorecido el crecimiento de microorganismos (moho, hongos) y manchas en la pared.

MATERIAL	RESISTIVIDAD AL VAPOR r_V (1)	
	MN s/g	mmHg m^2 día/g^2 cm
Aire en reposo (cámaras)	5,5	0,004
Aire en movimiento (cámaras ventiladas)	0	0
Fábrica de ladrillo macizo	55	0,048
Fábrica de ladrillo perforado	36	0,031
Fábrica de ladrillo hueco	30	0,026
Fábrica de piedra natural	150-450	0,13-0,39
Enfoscados y revocos	100	0,087
Enlucidos de yeso	60	0,052
Placas de amianto-cemento	1,6-3,5	0,001-0,003
Hormigón de áridos normales o ligeros	30-100	0,26-0,086
Hormigón aireado con espumantes	20	0,017
Hormigón celular curado al vapor	77	0,06
Madera	45-75	0,039-0,065
Tablero aglomerado de partículas	15-60	0,013-0,052
Contrachapado de madera	1500-1600	1,30-5,20
Hormigón con fibra de madera	15-40	0,013-0,035
Cartón yeso en placas	45-60	0,039-0,052

(1) Es el inverso de la permeabilidad al vapor.
(2) cualquier tipo sin incluir protecciones adicionales que pudieran constituir barrera de vapor.

RESISTIVIDADES AL VAPOR DE AGUA
(Fuente: Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas).

AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Aglomerado de corcho UNE 56 904	92	0,06
Espuma elastomérica	48000	416
Fibra de vidrio (2)	9	0,007
Lana Mineral Tipos I y II	9,6	0,008
Tipos III, IV y V	10,5	0,009
Perlita expandida	0	0
Poliestireno expandido UNE 53 310		
Tipo I	138	0,12
Tipo II	173	0,15
Tipo III	173	0,15
Tipo IV	253	0,22
Tipo V	253	0,22
Poliestireno extrusionado	523-1047	0,45-0,90
Poliestireno reticulado	9600	8,33
Polisocianurato espuma de	77	0,06
Poliuretano aplicado *in situ,* espuma de		
Tipo I	96	0,083
Tipo II	127	0,111
Tipo III	161	0,142
Tipo IV	184	0,166
Poliuretano aplicado *in situ,* espuma de		
Tipo I	76	0,066
Tipo II	82	0,071
Urea formaldehido espuma de	20,30	0,017-0,026

(1) Es el inverso de la permeabilidad al vapor.
(2) cualquier tipo sin incluir protecciones adicionales que pudieran constituir barrera de vapor.

RESISTIVIDADES AL VAPOR DE AGUA
(Fuente: Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas).

En edificios de nueva construcción, la aplicación preventiva de estos sistemas no reviste mayor dificultad, ya que el mercado provee de gran cantidad de soluciones y materiales aislantes de demostrada eficacia.

Sin embargo, en inmuebles ya construidos, el problema es más complejo, puesto que las soluciones aplicadas por el exterior demandan la elevación de complejos andamiajes, con el consiguiente coste y molestia para vecinos y viandantes. Las soluciones aplicadas por el interior provocan, del mismo modo, una modificación de la vida cotidiana.

Por ello, la primera solución que se contempla es la colocación del aislamiento en el interior del cerramiento, para lo cual habrá de averiguarse si éste dispone o no de cámara de aire.

Otra posibilidad es incrementar la resistencia térmica del edificio, actuando sobre su envolvente exterior. En último término, cuando ninguna de estas soluciones es posible, solamente queda la posibilidad de actuar por el interior del edificio, metodología que como veremos presenta serios inconvenientes.

RELLENO DE LA CÁMARA DE AIRE CON ESPUMA

Esta medida es posible siempre que el cerramiento disponga de cámara de aire y no haya peligro de formación de humedades intersticiales. La ventaja de este sistema reside fundamentalmente en su facilidad de aplicación, sin necesidad de desmontar el cerramiento.

Como inconvenientes, podemos citar el peligro de un desigual reparto de la espuma en el interior de la cámara, razón por la cual es conveniente medir su alcance mediante testigos u orificios.

Asimismo, este sistema no anula los puentes térmicos, dado que la cámara queda interrumpida por los elementos estructurales. Por otra parte, existe la limitación del propio espesor de la cámara, que en ocasiones no permite alojar la cantidad de aislante que los cálculos han definido como adecuada según el grado del problema que enfrentamos.

Antes de proceder a aplicar este método es necesario comprobar que las dos hojas del cerramiento sean suficientemente rígidas para soportar las tensiones ejercidas por la inyección del material aislante y su posterior expansión. También debe comprobarse que la cámara no esté ocupada por instalaciones de fontanería, electricidad o calefacción, que hagan imposible su relleno.

Finalmente, debe tenerse en cuenta la función inicial para la que fueron proyectadas estas cámaras: proteger el muro contra humedades de infiltración. Si se procede a rellenarlas, se pierde esta misión de protección al tiempo que se inutiliza potencialmente la solución contra las humedades de condensación, ya que si el aislante introducido se humedece es posible que pierda parte de su eficacia.

Deben valorarse todos estos aspectos y calcularse las probabilidades de que se produzcan humedades de infiltración, sobre todo en las fachadas de ladrillo visto y en las fuertemente expuestas a condiciones meteorológicas adversas de lluvia y viento.

Los sistemas más utilizados son dos:

- **INYECCIÓN DE ESPUMA DE UREA-FORMALDEHÍDO (UF)**. Ampliamente usada desde 1920, posteriormente llegó a ser prohibida en algunos países como consecuencia de la alarma social provocada por problemas sanitarios manifiestamente relacionados con deficiencias en su uso y aplicación. Actualmente, siguen siendo usadas bajo estrictos controles de ejecución.

Estas espumas se preparan añadiendo un ácido a una solución acuosa de resina de urea folmaldehído, a la que se incorporan finalmente un agente espumante y un agente tensoactivo.

En función de la proporción de reactivos empleados en la formulación, pueden variarse la textura de la espuma y su velocidad de reacción. Sus propiedades físicas dependen de su formulación. Así, por ejemplo, es habitual la inclusión de elementos que convierten a las espumas en hidrófugas.

La polimerización debe ser siempre completa, dado que en caso contrario podría favorecerse la presencia de formol libre, sustancia contaminante cuando pasa al ambiente interior del local.

El equipo de espumación de uso más frecuente consiste en mezclar los componentes con aire a presión, formando una espuma que es inyectada en la cámara de aire a través de orificios preparados a tal fin. Esta espuma se consolida en un periodo que va de 2 a 4 horas, secándose totalmente en un tiempo que varía entre 7 y 15 días.

- **RELLENO DE LA CÁMARA DE AIRE CON FIBRA DE VIDRIO**. Este segundo procedimiento, aparecido como alternativa a las espumas UF, consiste en la insuflación de borra de fibra de vidrio baquetizada en forma de copos.

Generalmente, este proceso se realiza mediante unos ventiladores centrífugos que impulsan a presión los copos a través de una manguera de longitud variable, cuyo extremo, rematado con una boquilla, se introduce en orificios previamente practicados en determinados puntos del muro.

Los copos rellenan con mayor o menor compacidad la cámara, dependiendo su conductividad térmica de la densidad alcanzada dentro de ésta.

APLICACIÓN DE UNA HOJA EXTERIOR DE MATERIAL AISLANTE

Este sistema permite aumentar la temperatura superficial interior actuando por el exterior sobre el muro de cerramiento, bien en su totalidad o bien puntualmente, sobre los puentes térmicos. El riesgo de condensaciones queda eliminado al existir un revestimiento permeable al vapor delante del aislante y una gran resistencia al vapor detrás de éste (el propio muro), no precisándose la colocación de las denominadas barreras de vapor.

La principal ventaja de esta solución es la posibilidad de aislar cantos de forjados y demás encuentros del cerramiento con la estructura, al poder situar la hoja exterior de modo pasante por delante de todo el muro de cerramiento.

Relleno de la cámara de aire con espuma	Si el cerramiento dispone de dicha cámara y no hay peligro de formación de humedades intersticiales. No hay necesidad de desmontar el cerramiento y no se producen modificaciones estéticas en el muro.
Hoja exterior de material aislante	Aplicada sobre todo el muro o, de for-ma puntual, en los puentes térmicos. El sistema más utilizado es el de planchas de poliestireno solapadas sobre la fachada.
Planchas aislantes en el interior del cerramiento	Es la solución menos recomendable, dado que el vapor de agua sigue pasando hasta la superficie original. Es necesario usar un material aislante con barrera de vapor hacia el interior del local.

DISPOSITIVOS PARA AUMENTAR LA AISLACIÓN TÉRMICA DE UN LOCAL INTERIOR CON EL FIN DE DISMINIUR LA HUMEDAD DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL

De manera que este sistema se convierte en el único que permite anular los puentes térmicos.

Además, en los periodos de calor, el aislamiento exterior permite amortiguar la curva de temperaturas del ciclo día-noche, disminuyendo el efecto de las puntas de calor y evitando el calentamiento del muro por la acción solar. Asimismo, se protege al edificio frente las oscilaciones térmicas, que pueden generar tensiones que deriven en grietas en el paramento y en el desprendimiento de acabados. Además, la fachada queda protegida frente a las humedades de infiltración y de absorción.

El principal inconveniente se presenta en los locales de uso intermitente. En ellos, se precisará una mayor energía calorífica para aclimatar el espacio y la masa de los muros. Energía que posiblemente será restituida al local cuando éste esté deshabitado y ya no sea necesaria. Por otra parte, al introducir un cambio radical en el aspecto de la fachada, es imposible aplicar este sistema en edificios históricos.

Las exigencias mínimas que debe cumplir cualquier sistema de aislamiento exterior son, aparte de la evidente resistencia térmica, las siguientes:

- **IMPERMEABILIDAD A LA LLUVIA.**
- **RESISTENCIA AL IMPACTO.**
- **ENVEJECIMIENTO Y DURABILIDAD ADECUADAS.**
- **COMPORTAMIENTO AL FUEGO ACORDE CON LAS NORMATIVAS.**

El espesor de la capa estará en función de los grados de temperatura que queramos elevar y de la condiciones exteriores, que siempre deben ser consideradas en los supuestos más adversos posibles.

El sistema más utilizado, por su buena relación economía /prestaciones, consiste en disponer planchas de poliestireno expandido o de poliuretano extruido, solapadas sobre la fachada.

Estas planchas suelen tener unas medidas de 100 x 50 cm y espesores variables. Se sujetan con adhesivos de mortero cola o con fijaciones mecánicas especiales de materiales plásticos o metálicos.

Como revestimiento protector y de acabado, se aplica directamente sobre el aislante una capa de mortero cola de 3 a 5 milímetros de espesor, armada con malla de poliéster o de fibra de vidrio especial, aplicada en fresco y resistente al ataque de los álcalis del cemento. Esta capa proporciona continuidad al conjunto y, sobre ella, se extiende una segunda capa de preparación y una última de acabado, similares a las empleadas en los revocos corrientes.

Adecuado para muros de ladrillo o bloque con o sin revestimiento, el aspecto final que ofrece el trabajo es el de una fachada revocada.

Como exigencias mínimas del soporte, éste debe estar totalmente seco y limpio y proporcionar un buen agarre.

Aparte de las planchas de poliestireno expandido, existen muchos otros sistemas comerciales que resumimos a continuación:

- **MORTEROS ESPECIALES DE CONGLOMERANTE HIDRÁULICO** con pequeñas esferas de poliestireno, vidrio o arcilla expandida. Se colocan manualmente o por proyección en espesores de unos 5 cm.

- **AISLANTES DE POLIURETANO EXPANDIDO *IN SITU***, con densidades que varían entre 30 y 60 kg/m³. Sus dos componentes (isocianato y poliol) se proyectan en capas sucesivas de 1 cm hasta conseguir el espesor definido por el cálculo. Se rematan con productos elastoméricos que realizan la función de acabado y de protección frente a las agresiones físicas y fotoquímicas.

- **PANELES RANURADOS DE POLIURETANO EXTRUIDO**. Estos facilitan la adherencia de una capa de acabado a base de morteros hidráulicos proyectados, reforzada con una armadura que se ancla previamente al cerramiento mediante fijación mecánica.

- **PANELES DE POLIURETANO**, que incorporan ya su propio acabado, anclados al cerramiento por medio de rastreles de chapa galvanizada o de aluminio.

- **PANELES DE LANA MINERAL O DE FIBRA DE VIDRIO** anclados mecánicamente al soporte. Sobre ellos se fija a su vez una estructura de rastreles también sujetos al soporte, que sirven de apoyo a un recubrimiento formado por lamas de madera, pizarra o plástico.

PLANCHAS AISLANTES EN LA CARA INTERNA DEL CERRAMIENTO

Se trata de la solución menos recomendable, pero la única posible cuando debe respetarse la fachada exterior y el muro no dispone de cámara de aire.

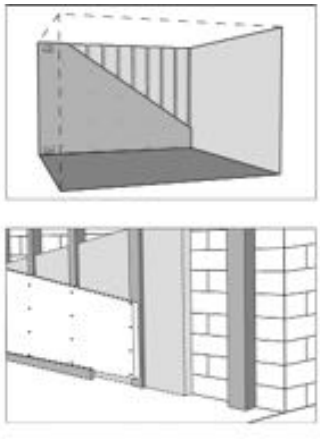
Adecuada para locales con intermitencia de uso, su principal inconveniente es que el vapor de agua sigue pasando hasta la superficie original.

Por ello, en locales de elevada higrometría, aumenta el riesgo de condensación intersticial en invierno. En este caso, el aislamiento solamente se encargará de ocultar la humedad, por lo cual será necesario instalar una barrera de vapor que evite que se alcance la temperatura de rocío sobre la superficie original.

Existen en el mercado placas de material aislante que incorporan ya esta barrera, en forma de lámina entre la placa y el aislante. Hay que tener en cuenta, no obstante, que la barrera de vapor produce una acumulación de éste, lo cual que permite alcanzar la temperatura de rocío con una temperatura interior más alta. Por ello, en caso de utilizarla, deberá aumentarse el aislamiento interior.

Por otra parte, al quedar interrumpido el aislamiento por los encuentros transversales con la estructura y el forjado, es imposible eliminar los puentes térmicos.

Finalmente, otras desventajas son la dificultad de ejecución del aislamiento cuando existen elementos que entorpecen en el muro (caso de los radiadores) y el inconveniente de reducir el espacio útil de la estancia al engrosar las paredes.



Reacondicionamiento de tabiques mediante la adición de paneles prefabricados y aislación termoacústica.

La principal ventaja es la facilidad de ejecución de los sistemas basados en el encolado de las piezas y la posibilidad de llevar a cabo el aislamiento únicamente en aquellas habitaciones que lo precisen.

En el aspecto térmico, la resistencia que aportan estos sistemas es importante, creando locales de baja inercia térmica, rápidos de calentar.

Los paneles base de uso más habitual son los prefabricados de cartón-yeso, con unas medidas normalizadas de 10 mm de espesor, 1,20 m de ancho y una longitud variable entre 2,50, 2,60 ó 3 m.

A ellos se encolan los aislantes, siendo los más utilizados el poliestireno expandido, la fibra de vidrio y el poliuretano extruido, con o sin acabado incorporado.

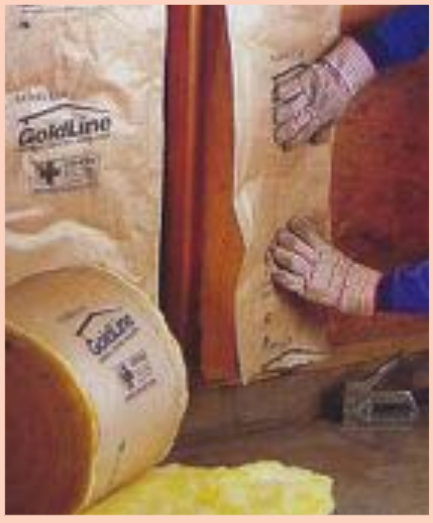
Existen tres modalidades de aplicación de estos paneles interiores:

- **POR TRASDOSADO DIRECTO**. Se trata de la solución más sencilla en cuanto a ejecución y consiste en encolar directamente las placas o paneles sobre el muro a trasdosar, mediante una pasta de agarre o mortero especial. La única exigencia es que la superficie del muro esté seca y no contenga suciedades o elementos que impidan la adherencia de la pasta de agarre. Cuando el soporte presente irregularidades, será necesario preparar unos tientos perfectamente aplomados que definan el plano de apoyo. Las placas han de levantarse siempre unos 15 mm del suelo.

- **POR TRASDOSADO SEMIDIRECTO**. Consiste en atornillar las placas a una semiestructura de perfil de chapa metálica o de madera, previamente fijada al muro soporte mediante una pasta de agarre o fijaciones mecánicas, dependiendo del tipo de muro. Esta estructura forma líneas verticales en todo el perímetro del muro, separadas entre 40 y 60 cm.



Aísle las viguetas de la parte superior de los muros del sótano rellenando los huecos con aislante de fibra de vidrio, sin apretar.



Aísle el garaje anexo con aislante de fibra de vidrio revestido, orientando la barrera de vapor hacia el garaje.

Este sistema es recomendable cuando las extremas irregularidades del muro a trasdosar impidan el recibido directo de las placas o cuando empleamos como aislante el poliuretano, poco adherente para ser aplicado por trasdosado directo. Por el contrario, no es posible utilizar placas de fibra de vidrio, debido a que su compresibilidad impide una fijación correcta por atornillado.

- **POR TRASDOSADO AUTOPORTANTE**. Este sistema, de ejecución más compleja, se utiliza en los casos en que es necesario crear una cámara de aire entre el muro y el trasdosado, como medida de aislamiento de la humedad o por el paso de instalaciones. Este espacio puede a su vez ser rellenado con material aislante.

La solución más habitual consiste en conformar una estructura portante de perfiles metálicos especiales, independiente del muro y fijada a suelo y techo, que permita atornillar las placas y su aislante.

Como en el caso anterior, no es recomendable el uso de fibra de vidrio, dado que su compresibilidad impide una fijación correcta por atornillado.

DISMINUIR LA PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA DEL LOCAL

Otra manera de combatir la humedad de condensación consiste en disminuir la presión del vapor de agua en la estancia. Ello puede realizarse por dos métodos de ventilación: natural o mecánico.

Dado que las exigencias de confort impiden que el primero sea practicable en época de frío cuando la casa está ocupada, lo habitual es actuar sobre el segundo.

Podemos a su vez proceder de dos maneras:

- **AUMENTANDO LA PERMEABILIDAD DE LAS VENTANAS AL AIRE**, tal como recoge la norma NBE-CT-79. Para ello, habremos de sustituir carpinterías y eliminar "burletes" y topes de goma.

- **COLOCANDO REJILLAS DE VENTILACIÓN** en las paredes.

Ambas soluciones no son aplicables a viviendas ni habitaciones dormitorio, dado que afectan al confort y a la temperatura interior del local.

La única solución restante son pues los deshumidificadores. Algunos modelos existentes en el mercado pueden conseguir una reducción efectiva de la humedad ambiental.



La pérdida en conducciones realizadas de manera incorrecta es una de las causas más frecuentes de la aparición de humedad en los cerra-mientos interiores.

PREPARAR LA SUPERFICIE PARA LA POSIBLE CONDENSACIÓN

Cuando resulta imposible eliminar completamente la humedad de condensación por las vías anteriormente descritas, nuestra actuación debe dirigirse a, como mínimo, evitar que esta humedad provoque daños en la superficie del muro.

Para ello, deberemos configurar superficies pulidas e impermeables, que permitan ser secadas e higienizadas con facilidad. Sobre superficies muy porosas, aplicaremos acabados pulidos (desde un esmalte a un alicatado, un chapado de piedra o un revestimiento plástico).

Como medida preventiva de desprendimientos en los acabados, es conveniente colocar canaletas para la recogida del agua de condensación que se produce sobre los acristalamientos, cuando éstos están situados sobre muros de materiales porosos.

El uso de acabados continuos de yeso, muy efectivo en climas secos, es totalmente inútil en los húmedos. Este material, altamente higroscópico, absorbe en las regiones secas la humedad del ambiente en forma de vapor de agua y la retiene hasta que aquélla baja, volviéndola entonces a ceder al ambiente. Ello produce una regulación de la humedad del local, lo cual retarda la acumulación de vapor de agua en la superficie y, por lo tanto, la condensación. Sin embargo, en zonas húmedas, el acabado de yeso se halla normalmente saturado con la humedad ambiente normal, por lo cual no puede absorber en grado alguno el vapor de agua adicional.

HUMEDAD ACCIDENTAL

Esta es probablemente la humedad de diagnóstico más claro, desde el punto de vista del proceso patológico. Sin embargo, en ocasiones puede llegar a revestir más complicaciones de las que en un principio pudiese parecer.

La causa más frecuente es la rotura de las conducciones de agua situadas en el interior de los muros, lo cual produce el paso del líquido al cerramiento que contiene el conducto. También es posible que las conducciones sean exteriores y que el muro afectado sea el más cercano a ellas.

El síntoma más habitual es la aparición de una mancha de humedad, que puede tomar forma circular, alrededor del punto de rotura, o alargada, siguiendo el recorrido del conducto lesionado.

Cuando la mancha es puntual y muy abundante o cuando sigue un recorrido lineal muy claro, el diagnóstico es relativamente fácil. Sin embargo, el agua puede también discurrir por dentro del muro, formando un recorrido sinuoso, hasta aparecer en el exterior en un punto muy lejano a su foco.

Ello puede conducir a equivocaciones a la hora de identificar el tipo de humedad, llegando a confundirla con la de condensación, filtración o capilaridad.

Por ello, en casos poco claros, será necesario recurrir a la documentación técnica del edificio para detectar la presencia de conductos. Igualmente, puede usarse detectores de metales embebidos (pachómetros) o incluso optar por el método más directo y seguro: la realización de calas, siguiendo el recorrido inverso del agua hasta dar con el origen de la lesión.

Habrá que averiguar si el pavimento de planta baja está en contacto o se encuentra cercano a las redes de saneamiento y conducción de agua, productoras habituales de humedad. En este caso, es posible que se presente una lesión paralela y secundaria, también causada por la humedad accidental: el levantamiento del pavimento o solado por efecto de la presión ejercida por ésta.

En este caso, se habrá de proceder a demoler el pavimento, hasta alcanzar el terreno y descubrir totalmente estas redes húmedas, permitiendo de este modo su inspección y reparación o su sustitución por conducciones nuevas.

Es conveniente complementar la reparación con la creación de una barrera de capilaridad en el muro de cerramiento, a una altura de 10-15 cm por encima del nivel superior de las redes húmedas. Para ello, se procede rellenando los espacios existentes entre las conducciones, cubriéndolas posteriormente con un geotextil de polipropileno de 200 gr/m^2, solapado entre sí de 15 a 20 cm.

Puede complementarse la operación colocando una lámina impermeable de betún polimérico (APP o SBS) y, de nuevo, un geotextil de polipropileno de 140 gr/m^2, solapado entre sí de 15 a 20 cm.

Finalmente, en la ejecución del nuevo forjado debe preverse la instalación de una capa de compresión de 7-8 cm de espesor.

En ocasiones, el forjado de planta baja está montado sobre una cámara de aire sin ventilación. Ello ocasiona un aumento de la humedad relativa y, como consecuencia, una condensación de la misma sobre el elemento constructivo. Por efecto capilar, es muy probable que acaben apareciendo humedades en el muro de fachada y en el pavimento interior.

En este caso, habrá que demoler igualmente el forjado para reparar las redes. Como complemento, se aconseja la apertura de ventilaciones protegidas con rejilla, enfrentadas entre ellas para originar un flujo de aire y de esta forma eliminar las humedades de condensación. A continuación, como en el caso anterior, debe procederse a crear una barrera de capilaridad en una altura lo más próxima posible a la cabeza de apoyo del forjado, con las descritas capas de compresión, de betún polimérico (APP o SBS) y de geotextil de polipropileno.

Existen tres grupos posibles de causas para las humedades accidentales:

- **AL SER SUPERADA LA CAPACIDAD DE LAS CONDUCCIONES DE AGUA POR ESFUERZOS DE TRACCIÓN O DE CORTANTE**, se producen una serie de cambios dimensionales que no puede ser seguidos por el cerramiento en el que se alojan las conducciones. Estas variaciones dimensionales son generalmente consecuencia de grandes fluctuaciones en la temperatura del agua que fluye por los conductos.

Un segundo efecto de estas sobretensiones ejercidas sobre las conducciones es la propia rotura de éstas. Resultan especialmente conflictivos los encuentros entre conductos, tales como empalmes o piezas en "T", ya que a menudo se produce la dilatación de una parte sin que la otra siga el movimiento, apareciendo un esfuerzo cortante muy localizado que provoca la rotura del conducto.

La reparación se hará cambiando la pieza, si la sobretensión ha sido capaz de introducir una rotura en el conducto. O introduciendo la holgura suficiente entre éste y el cerramiento, cuando la lesión es provocada por su dilatación y contracción.

Desde el punto de vista de la prevención, es fundamental contemplar esta holgura en cualquier encuentro de las conducciones con los elementos estructurales y, en todo caso, en la confluencia de varias piezas susceptibles de manifestar movimientos divergentes.

En conductos vistos, normalmente sujetos con abrazaderas, bastará con corregir la holgura entre éstas y el cerramiento. Sin embargo, en los empotrados, será necesario descubrir prácticamente todo el conducto para proceder a rodearlo de algún tipo de coquilla continua, ya sea de PVC o de fibra de vidrio. En forjados, se puede recurrir a colocar pasatubos de PVC o metálicos en el momento de hormigonar.

- **OTRA CAUSA DE HUMEDADES ACCIDENTALES ES LA ROTURA POR ACCIONES MECÁNICAS EJERCIDAS SOBRE LAS CONDUCCIONES DE AGUA**, que pueden proceder de diferentes fuentes. Desde acciones externas y puntuales, tales como obras de reparación o de mantenimiento que afecten al cerramiento; hasta movimientos del edificio, tanto térmicos como elásticos, que introducen esfuerzos cortantes y aplastamientos en el cerramiento; e incluso el paso de personas o maquinarias sobre los pavimentos en cuyo interior se alojan los conductos.

Como en el caso anterior, habrá que reparar introduciendo una independencia entre estructura y conducciones de agua, de modo que los movimientos de aquéllas no afecten en modo alguno a éstas.

Si el conducto es exterior, pueden disponerse protecciones metálicas, en función de las posibles acciones mecánicas previsibles. Si discurre enterrado por el pavimento, es conveniente colocar una protección de tubos o semitubos de acero.

- **FINALMENTE, LA CORROSIÓN DE LAS CONDUCCIONES METÁLICAS ES OTRA CAUSA FRECUENTE DE HUMEDADES ACCIDENTALES**. Esta corrosión produce una merma progresiva de la sección de las paredes de los conductos, disminuyendo consecuentemente su resistencia a cualquier tensión ejercida. Proceda ésta de su interior, por el propio fluido que discurre; o de su exterior, por las presiones de tracción y cortante anteriormente descritas.

Para proceder a su reparación, será necesario determinar la causa de la corrosión. Si se trata del propio material constitutivo de la tubería, será necesario cambiar integralmente los conductos.

Cuando la corrosión se debe a la formación de un par galvánico por el contacto del conducto con otro elemento metálico de mayor potencial eléctrico, puede introducirse un manguito aislante de material plástico entre ambos elementos para evitar el contacto en todos los puntos que lo precisen.

La operación se complica, sin embargo, cuando el par galvánico no aparece por contacto directo, sino por transmisión de los electrones a través del propio fluido en la dirección en que discurre éste.

En este caso, no queda más remedio que cambiar toda la tubería y sustituirla por otra que no ocasione esta reacción. Unos apuntes finales acerca de la prevención y reparación de este tipo de humedades:

- **SI EXISTE YESO EN LOS COMPONENTES DEL CERRAMIENTO** y éste resulta decisivo en el aporte de humedad, hay que proceder a retirarlo. Si no es necesario, ha de colocarse una coquilla continua para evitar posibles contactos con el yeso, en cualquier punto directo o cercano.

- **EN OTROS MATERIALES POROSOS**, conviene aplicar una imprimación anticorrosiva y una coquilla de protección, que puede ser un simple tubo de plástico.

- **EN PREVISIÓN DE AGRESIONES QUÍMICAS EXTERIORES**, debemos proteger los tubos contra la corrosión, incluso si quedan embebidos en cemento. Un error frecuente es pensar que, en este caso, la corrosión no alcanzará al conducto.

- **TAMBIÉN HAY QUE EVITAR EL CONTACTO DIRECTO CON LAS ABRAZADERAS**, cuando éstas son metálicas o de un material con distinto potencial. Colocaremos aislantes entre ambos elementos.

LESIONES MECÁNICAS

En tanto que muros sin misión resistente, los cerramientos interiores o tabiques son, desde el punto de vista mecánico, elementos individuales solamente capaces de absorber ciertos esfuerzos de compresión. Unidos entre sí y a la estructura mediante morteros que los mantienen trabados, los cerramientos dependen, a la hora de absorber tensiones, de las características mecánicas de sus componentes y de la proporción mortero-muro. Así como de la disposición de cada unidad, trabada o solapada, y de su tamaño.

En general, tratándose de elementos básicamente superficiales y colocados en vertical, los tabiques resultan, por su propia técnica constructiva, elementos poco preparados para absorber los esfuerzos de tracción o de cortante ejercidos por elementos de la estructura. La aparición de lesiones es frecuente, facilitada por el poco espesor de estos muros, alcanzando a menudo la rotura en forma de grieta que atraviesa todo el espesor del cerramiento.

La posibilidad de fractura será menor cuanto mayor sea la capacidad mecánica a compresión y el coeficiente de adherencia, ambos en relación directa con las dimensiones de la unidad. Así, no deben proyectarse tabiques de ladrillo hueco sencillo de alturas superiores a 3 m y longitudes superiores a 4 m. Además, no deben utilizarse en ningún caso tabiques aislados.

Cuando el esfuerzo que se produce no es suficiente para romper el cerramiento, sí lo será para afectar al acabado, habitualmente de extrema finura y muy vulnerable ante los esfuerzos de tracción. En los acabados por elementos, es bastante frecuente la rotura provocada por los movimientos de la estructura.

Si las grietas y fisuras provocan la división del elemento unitario original en dos o más partes, encontramos un cuadro patológico de difícil reparación. Cada una de estas partes empezará a funcionar de un modo independiente, tanto física como mecánicamente.

En la identificación de la lesión, habremos de tener en cuenta la posibilidad de que las causas no sean individuales y perfectamente identificables. En realidad, es difícil atribuir un proceso patológico a una sola causa. Sí podemos indicar que los principales desencadenantes de lesiones mecánicas en cerramientos interiores se hallan en errores de diseño constructivo, al concebir estos muros como superficies continuas muy delgadas y de gran longitud y, por lo tanto, extremadamente débiles. Además, la excesiva rigidez del tabique, una de sus propiedades principales en el comportamiento frente a la rotura, provoca que éste sea incapaz de adaptarse a las deformaciones impuestas por la estructura o a los movimientos higrotérmicos propios de ésta, que se encuentran coartados en el tabique.

La instalación embutida de conductos de fontanería, calefacción o electricidad en el interior de los tabiques es otra causa generalizada de debilitamiento de éstos. En este caso, las fisuras y grietas que aparezcan estarán en función de la causa directa, siguiendo la línea de los conductos si se trata de rozas para instalaciones eléctricas o situándose sobre los puntos de humedad cuando se trata de conductos de fontanería o calefacción.

En cualquier caso, estas instalaciones suponen siempre una disminución del espesor del cerramiento y de su capacidad de respuesta ante la aparición de tensiones de cualquier tipo. Debe evitarse disminuir la sección del tabique en más de un 50 %, por lo cual no se realizarán rozas en tabiques de ladrillo hueco, en los cuales siempre se pierde más de la mitad de su espesor.

GRIETAS POR DEFORMACIÓN DE FORJADOS

Esta es una de las lesiones más frecuentes en cerramientos de tabiquería, normalmente más débiles que los de fachada o medianería, que suelen ir apoyados sobre las vigas. Por ello, esta lesión se manifiesta en primer lugar y con mayor rapidez en este tipo de cerramientos interiores.

Los empujes verticales ejercidos por las flechas de forjados provocan la aparición de grietas parabólicas, en arco o semiarco de descarga, ubicadas según la localización del esfuerzo. Si el empuje se produce en el centro del tabique, puede llegar a provocar un aplastamiento del muro, con grietas horizontales en la parte superior, e incluso el pandeo de la tabiquería cuando la tensión ejercida es muy importante.

El caso más frecuente es el de un pandeo fuera del plano, que produce grietas horizontales coincidiendo con los tendeles en el lado traccionado. Pero también podemos encontrar pandeos en el propio plano, transformándose las tensiones en esfuerzos de tracción horizontales y manifestándose a través de grietas verticales.

Si el empuje vertical del forjado se produce en un extremo de la tabiquería, aparecerán además esfuerzos de tracción horizontales en la parte alta del muro, que se traducen en típicas grietas verticales en "V".

La causa primera de esta lesión debemos buscarla en la construcción de forjados de grandes luces y poca rigidez. Su gran flexibilidad ocasiona deformaciones en las vigas y flechas considerables, que imponen a su vez flexiones en la tabiquería, normalmente incapacitada para asumirlas.

La incorporación de los forjados de vigas planas, de claras ventajas económicas, ha supuesto un franco incremento en la incidencia de esta patología, que se manifiesta igualmente frecuente en estructuras de forjados reticulares.

Podría concluirse que, para evitar este tipo de lesiones en tabiques, debería volverse a los forjados rígidos, de flechas más controladas; o colocar tabiquerías más flexibles, compatibles con las deformaciones. Para elementos horizontales sustentantes de cerramientos de fábrica, no estabilizados por su propio peso, las flechas deben limitarse a 5 mm en valor absoluto.

Existen una serie de situaciones tipo que analizamos a continuación:

- **DISTINTAS PLANTAS DE UN EDIFICIO, CUYOS FORJADOS PRESENTAN RIGIDEZ IGUAL, FLECHAS EXCESIVAS DE VALORES SEMEJANTES Y SIMILARES SITUACIONES EN CUANTO A CARGA**. En este caso, los forjados generarán tracciones en el centro de la parte inferior del tabique. La lesión se manifestará por la aparición de fisuras claramente parabólicas, de ángulo muy cercano a los 45º.

- **FORJADO MÁS RÍGIDO Y CON MENOS FLECHA EN LA PLANTA SUPERIOR QUE EN LA INFERIOR, QUE SOPORTA MAYOR CARGA**. En este supuesto, el tabique presenta una fisuración parabólica y de amplias ramas horizontales en la parte inferior, debido al descuelgue de esta zona. La zona superior del tabique no se verá afectada, quedando estabilizada por su adherencia al forjado superior o por su encaje entre los pilares.

- **ES POCO FRECUENTE QUE SE PRESENTE EL CASO INVERSO AL ANTERIOR, CON UN FORJADO INFERIOR DE MAYOR RIGIDEZ Y UN FORJADO SUPERIOR QUE DESARROLLA MAYOR FLECHA**. En este caso, se produce un agotamiento del tabique a compresión en su parte superior y central, con cortas y abundantes fisuras horizontales en su coronación.

- **EN EDIFICIOS DE VARIAS PLANTAS CON DIVISIONES INTERIORES SIMILARES**, que se apoyan sobre una planta baja diáfana, sin divisiones, los tabiques de las distintas plantas trabajan acumulando las cargas en sentido descendente y descargándolas sobre los de las plantas inmediatamente inferiores. La planta primera se encuentra con la imposibilidad de descargar sobre la baja, lo cual provoca la aparición de alarmantes fisuras en la primera.

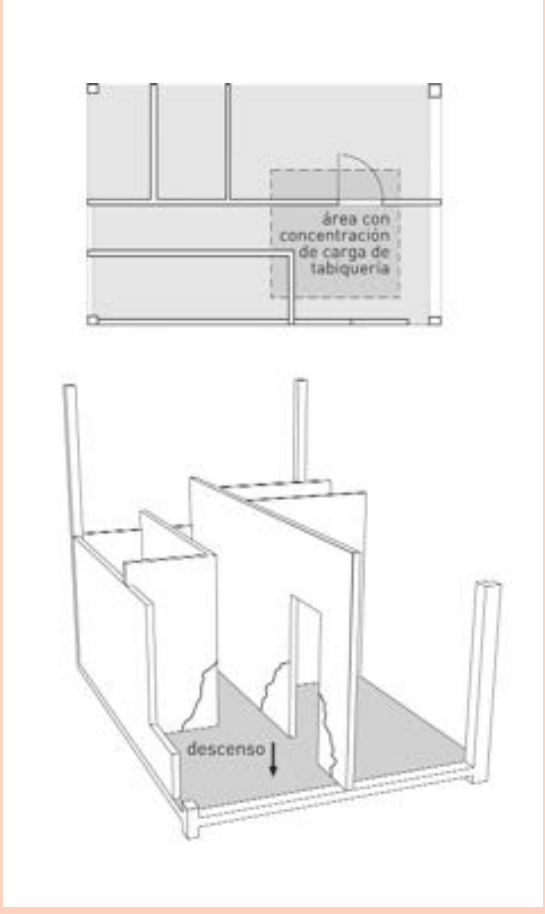
- **CUANDO LA RAZÓN DEL EMPUJE SOBRE EL TABIQUE ES UN ASIENTO DIFERENCIAL** y el forjado está compuesto por dos partes yuxtapuestas, una de las cuales cede. Si el cerramiento está situado en dirección perpendicular al apoyo del forjado, aparece un esfuerzo a cortante muy claro, con la aparición de grietas inclinadas superpuestas. Los empujes verticales, de carácter puntual, pueden provocar el aplastamiento del tabique y la aparición de una grieta vertical en el borde.

- **EN ASIENTOS CONTINUOS Y EN TABIQUES PERPENDICULARES A LA DIRECCIÓN DE APOYO DE LOS FORJADOS**, no se llegan a formar los arcos de descarga habituales, dado que los puntos de apoyo teóricos y de arranque del arco se encuentran muy alejados. Sí se forma una grieta horizontal por descenso de la parte inferior del tabique, coincidente con una hilada aproximadamente a un metro de altura. En forjados de grandes luces y tabiques de grandes longitudes, cuando éstos se asientan en la misma dirección de apoyo de los forjados, podemos encontrar este mismo tipo de agrietamientos, al quedar los arranques del teórico arco de descarga muy alejados.

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS

Las deformaciones o variaciones dimensionales que sufren las estructuras como efecto de la acción de las temperaturas y de la humedad pueden introducir importantes tensiones en los elementos de partición.

Al no poder absorber los movimientos de los elementos resistentes, éstos desarrollan fisuras limpias y coincidentes con las juntas constructivas origen de la lesión, ya sean horizontales o verticales.



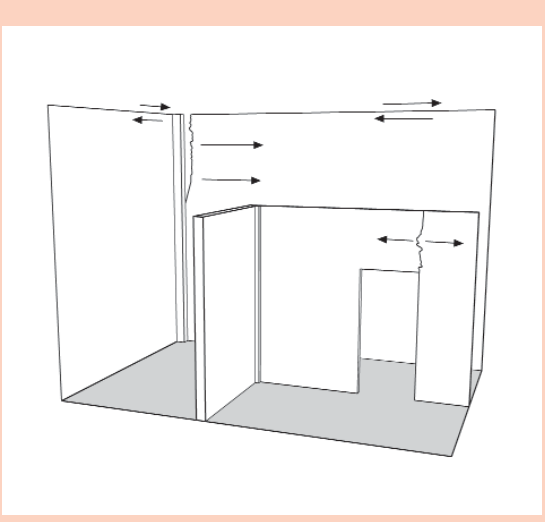
Fisuras en tabiques ocasionadas por flechas excesivas debidas a cargas concentradas en el centro del forjado.

Prácticamente todas las unidades constructivas manifiestan tales cambios dimensionales, que dependen en su grado del coeficiente de dilatación potencial de los materiales y de la técnica constructiva. La yuxtaposición de dos unidades constructivas distintas y la aplicación de un mismo acabado superficial derivará, con total seguridad, en una fisuración de éste.

Es totalmente imposible lograr que dos unidades con misiones constructivas distintas trabajen como un solo elemento, ya que a lo largo de su vida manifestarán movimientos diferentes y hasta divergentes.

Uno de los casos más claros de esta lesión es la yuxtaposición, en un mismo plano, de un elemento estructural (un pilar o un forjado) y un cerramiento de tabiquería, recubiertos con un mismo acabado continuo o por elementos.

En general, dos elementos con funciones diferentes deben mantenerse funcionalmente independientes, aunque físicamente deban estar unidos. Si deben situarse en un mismo plano, habremos de marcar la junta constructiva correspondiente, sellándola o tapándola en función de su situación y del aspecto estético del conjunto.



Fisuras en tabiques debidas a los movimientos térmicos de la estructura.

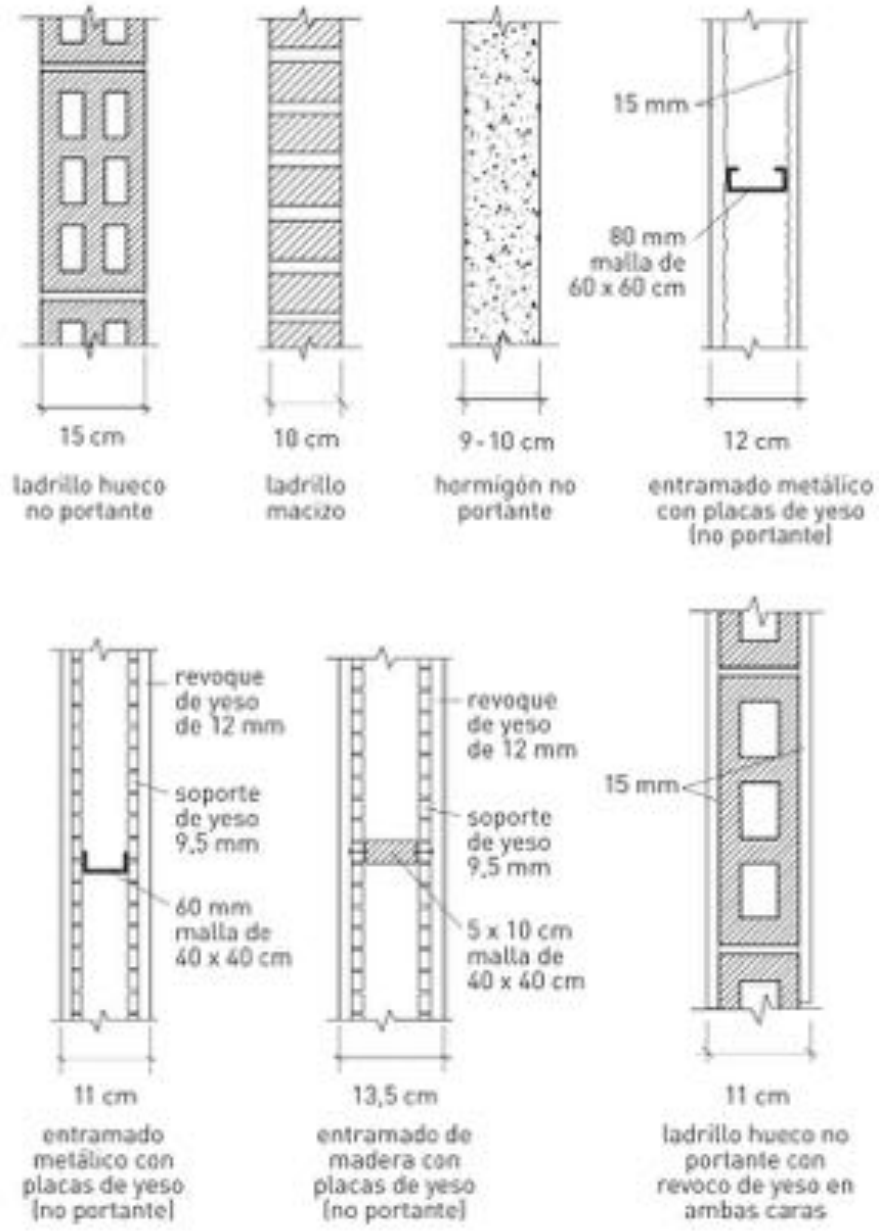
En otros casos, aunque el encuentro entre elemento estructural y cerramiento sea correcto, no existe entre ellos la independencia necesaria que evite la acción de uno sobre el otro. Un ejemplo típico lo encontramos en las deformaciones de dilatación y contracción de la capa de compresión de los forjados de última planta, que pueden soportar un amplio salto térmico.

El consecuente arrastre de los pórticos superiores de la estructura puede provocar una separación entre los pilares y los tabiques, fácilmente identificable por una fisura vertical en el encuentro de dichos elementos. En este caso, puede producirse además una situación de movimientos contrapuestos: los forjados de última planta comienzan a manifestar dilataciones en las primeras horas de la mañana, al hallarse directamente expuestos al sol; momento en el cual la tabiquería sigue desarrollando contracciones, por efecto del enfriamiento de la noche anterior.

De este modo, la coronación del tabique se ve sometida a un esfuerzo rasante en su encuentro con el forjado y, como consecuencia de la dilatación de éste, manifiesta una fisura horizontal a lo largo de dicho encuentro, acompañada en ocasiones por un serie de desgarros.

Lo mismo sucede en el encuentro entre dos cerramientos no portantes. Una situación en que la fachada dilata cuando el tabique interior, excesivamente unido a ella, contrae, puede derivar en una grieta vertical localizada en el mismo encuentro o en el interior del tabique, según la solución constructiva de dicho encuentro.

Como conclusión, diremos que la tabiquería manifiesta sus propios movimientos de adaptación térmica, que son a menudo diferentes en cuanto al grado y al momento de producción de las contracciones-dilataciones que desarrolla la estructura. La incompatibilidad entre ambos provoca la fisuración del elemento más débil: el cerramiento.



Secciones de muros con resistencia al fuego de 1 hora (RF60).

REPARACIÓN DE LAS LESIONES MECÁNICAS DE MUROS NO PORTANTES

Como en cualquier otra lesión, en los muros interiores de cerramiento deberemos siempre eliminar la causa de la lesión antes de proceder a reparar sus síntomas. No obstante, al igual que en muchos de los supuestos de la patología constructiva, aquí también resulta difícil actuar sobre las causas directas. Por ello, el objetivo prioritario será la anulación de las indirectas, que suelen ser generalmente las relacionadas con errores de proyecto o de ejecución. En las lesiones producidas por esfuerzos higrotérmicos, las actuaciones preventivas y de reparación se dirigirán a mitigar, de manera indirecta, los cambios dimensionales producidos por factores de temperatura y humedad.

Si la causa que origina la grieta en el cerramiento procede de movimientos en la estructura que lo soporta, la reparación puede orientarse de dos maneras, que en ocasiones pueden simultanearse para asegurar el resultado:

- **LA ESTABILIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA ESTRUCTURA**, mediante una actuación sobre su causa. Sin embargo, determinados movimientos, como los de tipo higrotérmico, no admiten este tipo de solución, por lo cual habremos de recurrir al punto siguiente.

- **LA INDEPENDENCIA ENTRE LA ESTRUCTURA Y EL CERRAMIENTO**, estableciendo una holgura entre el elemento estructural de posible deformación y el cerramiento que está en contacto con él. De este modo, se evitan no solamente los empujes de la estructura sobre el muro, sino que también se impide que la traba entre ambos produzca la rotura por tracción al dilatar o contraerse de manera divergente la estructura y el cerramiento.

Mientras que en los cerramientos exteriores, apoyados normalmente sobre la estructura, esta solución es difícil de aplicar en edificios ya construidos, en los tabiques, que no precisan de un contacto directo con los elementos estructurales, la independencia no reviste mayores dificultades.

Al establecer, en proyecto o a posteriori, la independencia de los cerramientos interiores, debe tomarse la precaución de que no se depositen durante la ejecución restos de mortero entre las dos unidades, ya que éstos facilitan la transmisión de los esfuerzos.

Relacionamos a continuación los encuentros más habituales entre estructura y tabique y la metodología para independizarlos:

- **CERRAMIENTO SOBRE VIGA O FORJADO**. En tabiques interiores, al margen de la limitación de la flecha del forjado o como alternativa si esta actuación no es posible, podemos establecer un sistema de apoyo independiente, que aporte rigidez propia al muro. Para ello, situaremos en su base un perfil metálico que transmita las tensiones hacia los extremos.

También es posible dar a las primeras hiladas del muro una forma de arranque en arco de correa, hasta regularizar la fábrica. Con ello, se consigue que la carga de todo el tabique se transmita a los arranques del arco de correa, evitando el asiento.

- **CERRAMIENTO BAJO VIGA O FORJADO**. Para contrarrestar el esfuerzo vertical que el forjado ejerce sobre el cerramiento, es necesario independizar la unión entre ambas unidades. Sin embargo, no puede prescindirse por completo de dicha unión, necesaria para llevar a cabo la función de cerramiento y partición que tiene el muro interior.

Por ello, la independencia consistirá en ejecutar el muro hasta su última hilada, que queda separada unos 2 o 3 cm del forjado. Cuando, tras levantar todos los tabiques de las plantas superiores, se calcula que el forjado ha sufrido tanto la sobrecarga como la flecha permanente, puede procederse a rellenar este último tendel con un mortero más pobre y de mayor espesor que el utilizado en el resto de la fábrica. De modo que éste pueda comprimirse sin transmitir el esfuerzo al cerramiento.

- **CERRAMIENTO ADOSADO A LA ESTRUCTURA VERTICAL**. En este caso, la holgura deberá marcarse con algún material interpuesto entre tabique y pilares, como puede ser una lámina de ***POREXPAN*** o polietileno, marcando una distancia mínima de 1 cm. Se puede también tratar de conseguir que el muro sea pasante por delante del pilar o estructura vertical.

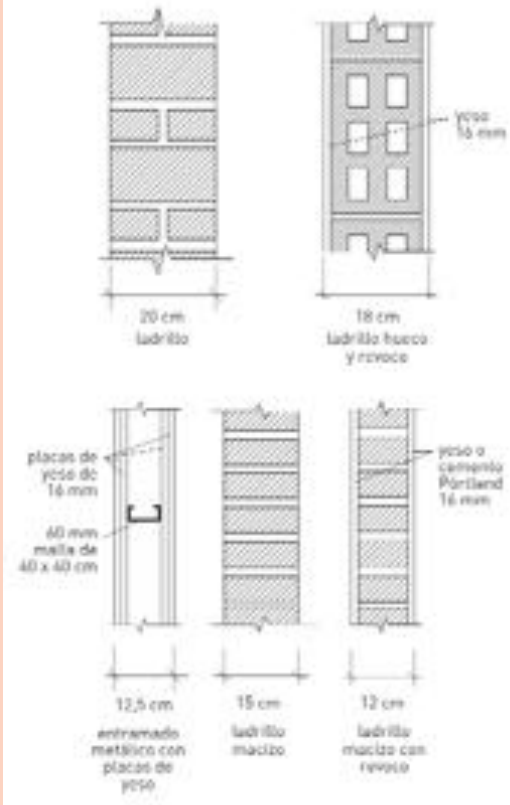
REPARACIÓN DE GRIETAS Y FISURAS ESTABILIZADAS EN TABIQUES INTERIORES

Tras actuar sobre la causa de la lesión, la reparación del efecto es el paso final, que permitirá restituir al muro su función constructiva original como elemento de partición. Para ello, debe consolidarse el conjunto en una sola unidad, cerrando las aberturas que provocan que el cerramiento funcione como dos partes con movilidades elásticas o higrotérmicas independientes.

Antes de proceder a reparar las grietas aparecidas sobre los tabiques interiores, debe comprobarse que su movimiento haya finalizado mediante la colocación de testigos. En caso contrario, es muy probable que la reparación no sirva de nada y que la grieta reaparezca poco tiempo después. La fórmula según la cual se considera que los edificios de más de siete años han finalizado los movimientos propios de la estructura no es del todo exacta. En general, sí podemos considerar que cuanto más liso y más ciego sea un cerramiento, mayores serán los movimientos de éste.

Nunca deberían llevarse a cabo reparaciones puntuales o superficiales. Estas han de afectar a toda la longitud de la lesión y a todo el espesor de la unidad. En este sentido, no existe mejor reparación que la refacción, es decir, la demolición de la unidad y su nueva ejecución. No obstante, esta solución, costosa y compleja, es generalmente sustituida por las reparaciones directas, que presentan siempre el peligro de que la lesión vuelva a aparecer.

En cerramientos de carácter histórico, es recomendable adoptar algún sistema que permita dejar manifiesta la existencia de la grieta, obstruyéndola con algún tipo de argamasa que simplemente devuelva al muro su misión de cerramiento.



Secciones de muros con resistencia al fuego de 2 horas (RF120).



Raspe el picado y la pintura desconchada.



Elimine el yeso suelto o blando de los bordes.



Aplique una capa abundante de cola de látex sobre los bordes del agujero y en el soporte de la base.



Rellene el agujero con una sola capa de emplaste.



Llene los agujeros más profundos con una primera capa superficial y marque una trama cruzada en el yeso húmedo. Aplique luego una segunda capa.



Reproduzca la textura de la superficie, utilizando pintura texturada o masilla. Cubra la zona con una capa de imprimación y pinte encima.

En tabiques interiores comunes, procederemos a la reparación limpiando previamente la superficie, para asegurar su adherencia, e impregnando los bordes de la grieta con una resina acrílica. La colocación de una gasa cubriendo toda su longitud servirá de base a una segunda capa de resina que, finalmente, se pintará con una pintura elástica. Esta solución aporta una flexibilidad suficiente para absorber movimientos de alguna décimas de milímetro sin que se vuelva a manifestar la fisura.

Si la grieta es tan ancha que no permite este tipo de solución, puede restablecerse la continuidad con alguno de los métodos de cosido contemplados para los muros de cerramiento exterior.

Si existe rotura de ladrillos, deben eliminarse todas las piezas afectadas y sanear el entorno, colocando los nuevos elementos con un mortero igual al del resto del muro. Conviene que éste tenga cierta plasticidad para que se acomode bien a las juntas y, en algunos casos, que sea expansivo para asegurar el relleno. Se puede recurrir a una inyección posterior dentro de las juntas y a un retacado superficial.

Si las grietas discurren simplemente entre los ladrillos, bastará con sanear el entorno y rellenarlas mediante la inyección de un mortero fluido y expansivo, preferentemente con resina epoxi, para mejorar su adherencia al muro.

LESIONES EN ACABADOS

DESPRENDIMIENTO DE REVOCOS Y ENFOSCADOS

Los acabados continuos en muros interiores (revocos, enfoscados, enlucidos) tienen la particularidad de estar exentos de grandes movimientos dimensionales por su situación, a salvo de grandes variaciones de temperatura, por lo que no es necesario prever la colocación de juntas de retracción.

Su sistema de adherencia, fundamentalmente de tipo mecánico en junta constructiva superficial, determina tres tipos básicos de desprendimiento, que pueden actuar simultáneamente:

- **POR ESFUERZO RASANTE** entre soporte y acabado
- **POR HUMEDADES** que causan la presencia y dilatación de elementos infiltrados
- **POR DEFECTOS DE EJECUCIÓN** que impiden que la adherencia tenga lugar.

El esfuerzo rasante entre soporte y acabado es generalmente provocado por los movimientos elásticos del soporte estructura, las flechas de forjados o el pandeo de pilares. En este caso, resulta conveniente marcar juntas en las zonas que presentan movimiento, reduciendo de este modo el posible esfuerzo rasante.

En cuanto a las humedades, pueden causar la presencia y dilatación de elementos infiltrados, normalmente sales que cristalizan.

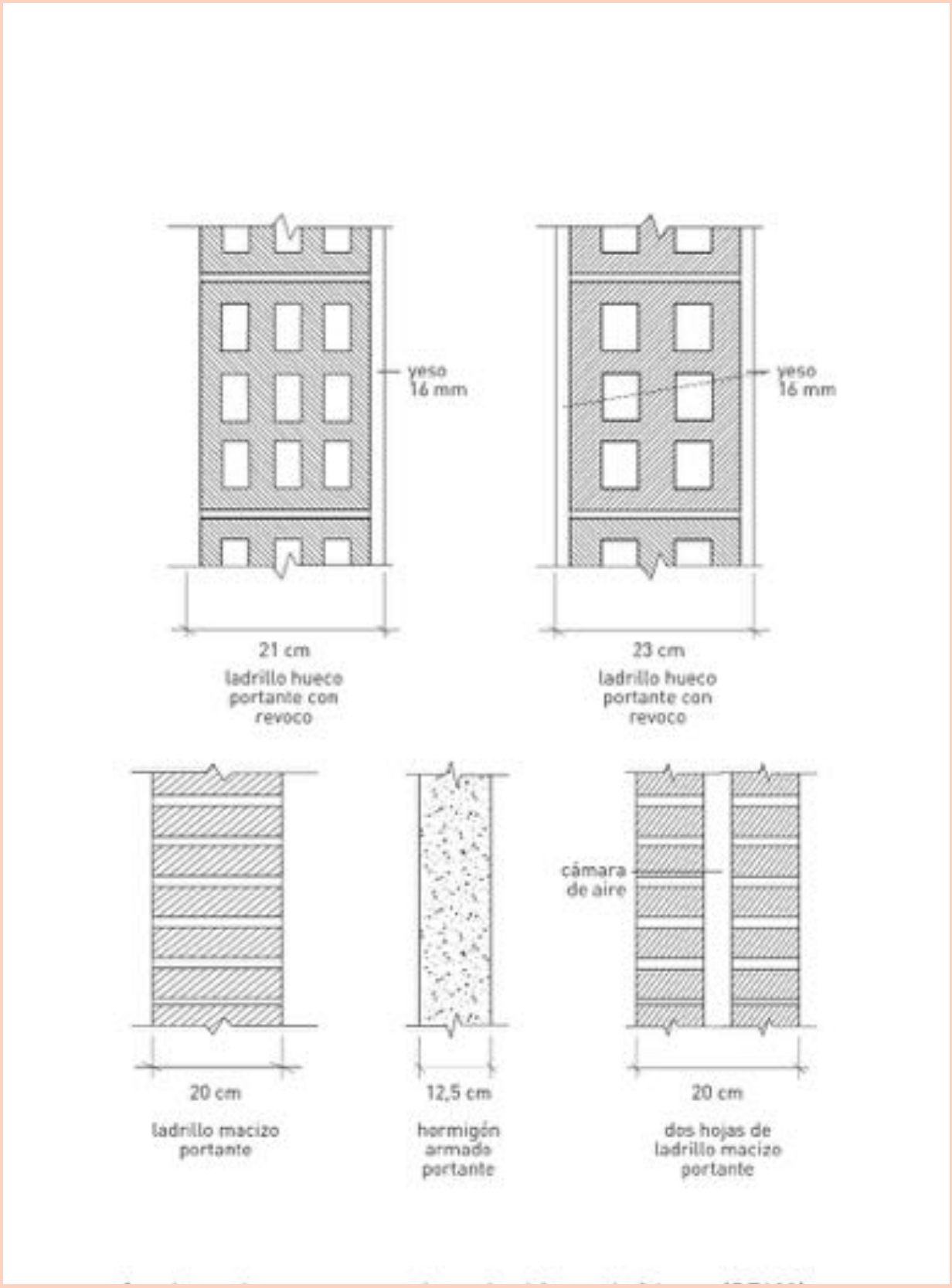
Estas acceden al acabado desde el interior, por condensación intersticial o accidental; o desde el exterior, por filtración a través de grietas y fisuras.

La localización del foco de humedad y su eliminación resulta imprescindible para solucionar esta lesión. Posteriormente, procederemos a realizar una reparación parcial o total del conjunto, dependiendo del grado de gravedad que presenten los síntomas. Como mínimo, hemos de alcanzar en la reparación la líneas modulares o juntas, lo cual nos permitirá disimular la actuación parcial.

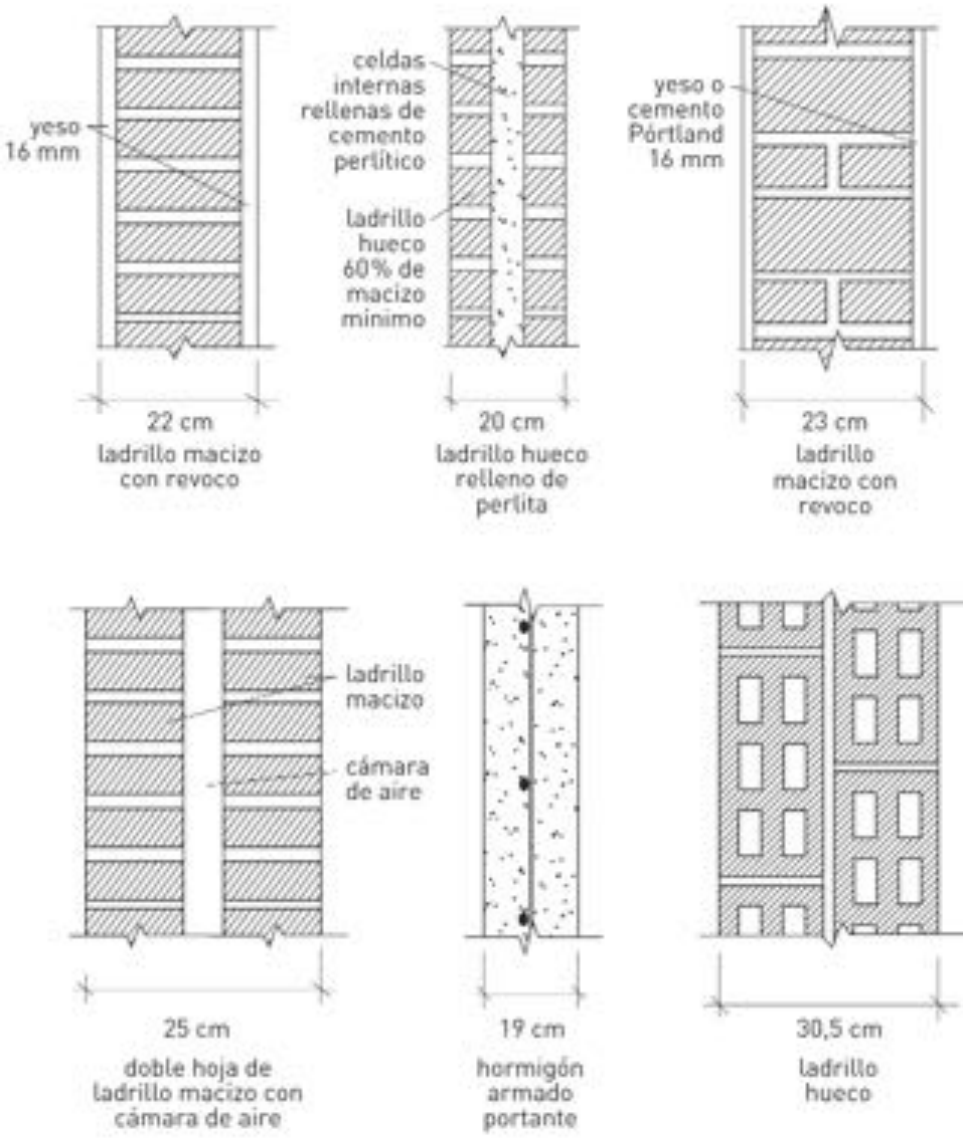
Finalmente, algunos defectos de ejecución pueden impedir que la adherencia tenga lugar. Los más comunes son la falta de rugosidad del soporte; la presencia de suciedad, que dificulta el contacto entre soporte y acabado; y la falta de humectación de la superficie.

Este último hecho provoca la succión del agua del mortero y la disminución de la relación agua-cemento en el mismo, con la imposibilidad de su fraguado y, por tanto, su falta definitiva de consistencia.

Dado que estas lesiones afectan por lo general al conjunto del paramento, deberemos proceder al picado de toda superficie, aplicando de nuevo la capa de revoco y cuidando todos los detalles de preparación del soporte. Resulta conveniente, para evitar nuevos desprendimientos, colocar una malla de armado, metálica o plástica, que asegure el "agarre" de la capa de acabado sobre el soporte.



Secciones de muros con resistencia al fuego de 3 horas (RF180).



Secciones de muros con resistencia al fuego de 4 horas (RF240).

LESIONES EN LOS ENFOSCADOS DE YESO

Sin duda, el carácter higroscópico de yesos y escayolas es su principal característica constructiva. Al cambiar su contenido de agua en función de la humedad, estos elementos varían sus dimensiones. En su estado seco, las circunstancia empeoran, ya que estos elementos se vuelven muy frágiles, por lo que su contracción provoca fácilmente la rotura.

Los cambios dimensionales introducidos por la humedad pueden producir desprendimientos por esfuerzo rasante, aunque en interiores hay que tener en cuenta que nos enfrentamos únicamente a la humedad ambiental. Del mismo modo, al tratarse normalmente de acabados interiores no sujetos a elevados cambios de temperatura, en los acabados de yeso no es común que se presenten desprendimientos por esta causa.

Por lo demás, los guarnecidos y enlucidos de pasta de yeso presentan características y comportamientos muy similares a las de revocos y enfoscados. Como en éstos, la adherencia entre el revestimiento de yeso y la base disminuye por la presencia de eflorescencias o de cualquier suciedad interpuesta. Siempre es necesaria una correcta preparación de la base, que debe ser igualada, limpia y uniforme. Sobre soportes de albañilería, es ventajoso añadir fibras a la pasta, evitándose la aparición de fisuras ante pequeñas solicitaciones.



Destrucción de cielorraso.

LISTADO DE DETALLES A TENER EN CUENTA A LA HORA DE ELABORAR UN CORRECTO ALICATADO

1. Cuidar que el mortero cubra uniformemente todo el trasdós de la plaqueta.

2. Separar las plaquetas con juntas de mortero y cuidar que és-tas juntas queden rellenas para evitar infiltraciones de agua.

3. Extremar el cuidado en la ejecución de los encuentros en esquinas horizontales y verticales, procurando protegerlas de las acciones mecánicas y de la entrada de agua por acumulación (pueden usarse perfiles en L o en tubo).

4. En climas fríos, cuidar la protección de remates en barandillas y alféizares contra el peligro de heladas.

5. Asegurar la alineación vertical y horizontal de las piezas.

6. Cualquier elemento exterior debe sujetarse al soporte, nun-ca al alicatado.

7. Establecer las juntas de retracción correspondientes según la zona y respetar siempre las de la estructura soporte. No hay que olvidar colocar juntas de dilatación situadas aproximadamente cada cuatro metros, con anchos de 8 a 10 mm.

8. No alicatar sobre elementos prefabricados hormigón hasta pasado medio año desde su ejecución, dado que la humedad que éstos llevan consigo actuará sobre el material de agarre destruyendo su poder de adhesión.

9. Sobre soportes de hormigón, lo mejor es aplicar las baldosas directamente. Si es necesaria una capa de nivelación, es conveniente que sea el propio adhesivo de agarre o, en su defecto, un mortero hidráulico en capa fina.

10. Evitar tender alicatados sobre enlucidos con mortero de cal o de yeso, ya que éstos tienden a desprenderse y separarse del soporte, así como a crear fisuras en el paramento como consecuencia de sus movimientos de contracción. Un manera de evitarlo es añadir al mortero una proporción del 50 % de cemento.

DESPRENDIMIENTOS

La separación entre el revestimiento y su base, causada siempre por un defecto de adherencia, se manifiesta en primer lugar a través de fisuraciones cuarteadas o en forma de cuadrícula, que en su progreso aumentan de forma notable el espesor de los labios, produciendo bolsas y desconchones que terminan por desprenderse.

Los defectos de ejecución son la primera causa de aparición de esta lesión. El revestimiento debe presentar una base adecuadamente preparada, mediante la limpieza del paramento, la humectación conveniente y, si la base es poco absorbente, la aplicación de una mano de imprimación de agarre.

Una vez producido el desprendimiento, deberemos picar el enfoscado hasta una profundidad en que presente buena adherencia, preparando el soporte y rehaciendo el revestimiento.

FISURAS

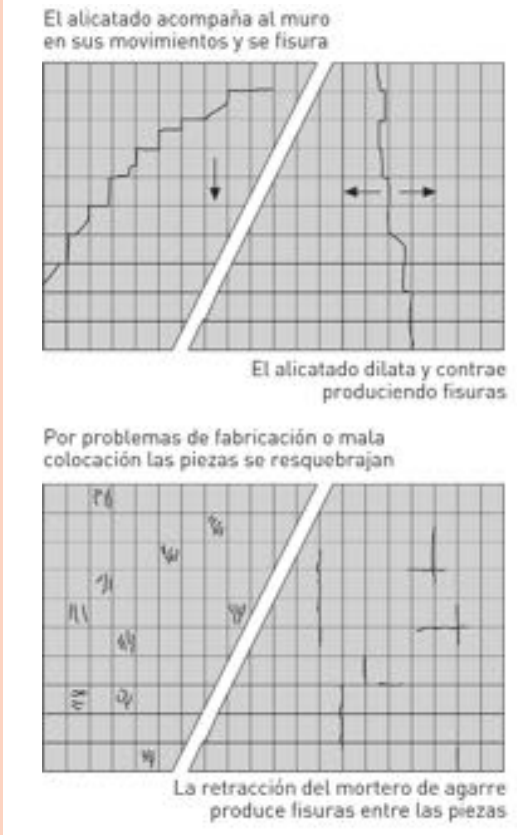
La fisuración del yeso es siempre un problema derivado de los movimientos de los materiales, cuando éstos no son armónicos. El espesor del revestimiento es un factor crítico tanto en su valor máximo como en su valor mínimo. A más espesor, mayor resistencia a la fisuración. Sin embargo, el espesor del revestimiento no puede incrementarse por encima de unos límites, ya que la acción de su propio peso acabaría provocando el desprendimiento que se intenta evitar.

Cuando se desee beneficiar a la obra de las ventajas de un gran espesor, habrá que recurrir a la sucesión de capas, cada una en los límites del espesor crítico, que como máximo suele establecerse en 2 cm. A modo de orientación, situamos en media pulgada (12,7 mm) el límite mínimo de espesor por debajo del cual se incrementa sustancialmente la posibilidad de fisuras.

La observación de la forma, dirección y tamaño de las fisuras o grietas es de importancia fundamental para diagnosticar la posible causa de la lesión, que siempre debe ser comprobada por todos los medios disponibles antes de proceder a cualquier reparación. Como en cualquier otra lesión, será necesario resolver los problemas de base antes de reparar sus efectos en el revestimiento.

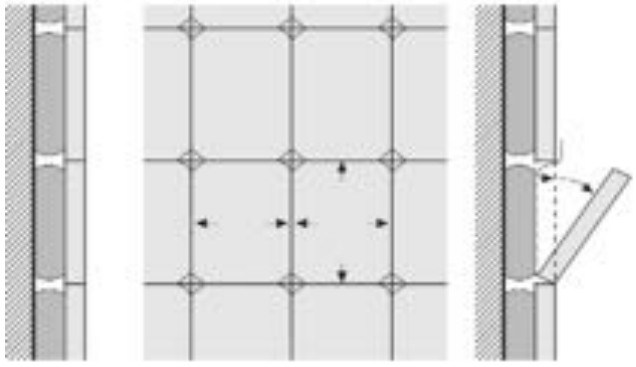
Las fisuras de longitud importante y forma neta y precisa, con una dirección bien definida, se asocian a la existencia de fallos en la estructura portante y de cerramiento, que se manifiestan en el acabado. Así como a la manifestación en el revestimiento de las juntas entre diversos materiales que componen la base.

Las uniones mal realizadas en los encuentros entre la estructura y los cerramientos, con falta de trabazón, tienden a abrirse, manifestándose la junta en el revestimiento.

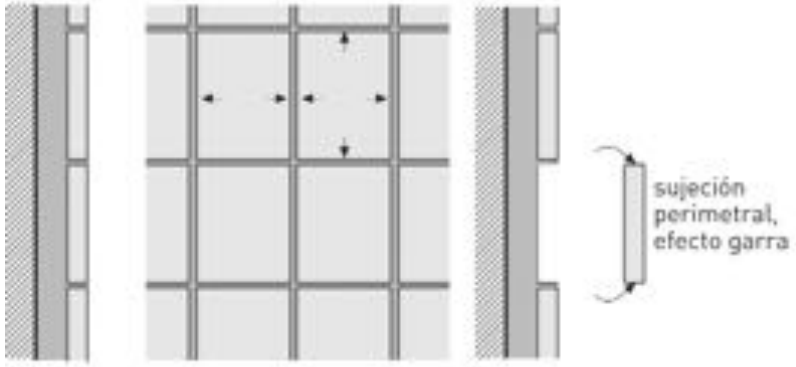


Esquemas de fisuras en alicatados.

La colocación tradicional, con mortero de agarre discontinuo o torta de mortero, favorece el desprendimiento.



Colocación correcta con mortero continuo aplicado sobre el soporte.



El alicatado debe colocarse con una pequeña junta para facilitar las dilataciones y no acumularlas, lo cual provoca la inevitable rotura de la pieza.

En este punto, incluimos igualmente los movimientos de la estructura como consecuencia de variaciones de la temperatura o la humedad, que no pueden ser seguidos por el acabado.

En todos los casos, para evitar la aparición de este tipo de fisuras, deben respetarse las juntas de dilatación de los elementos estructurales, creando además nuevas juntas entre elementos secundarios cuando sus coeficientes de dilatación y las condiciones ambientales lo aconsejen.

En la reparación, conviene integrar en el revestimiento que tapa la junta una armadura resistente a tracción que evite la aparición de nuevas fisuras. Puede tratarse de mallazos de fibra de vidrio o de acero galvanizado. En este segundo caso, es necesario añadir al yeso un 5 % de hidróxido que aleje cualquier problema de corrosión en el acero.

Las fisuras o grietas escalonadas, con giros en ángulos rectos, dibujan la geometría de las juntas entre las piezas que conforman la base y que experimentan movimientos. El uso de morteros más resistentes o la incorporación de sistemas de armado en las juntas son las soluciones más adecuadas.

Si aparecen de manera aleatoria y ramificada, las fisuras y microfisuras son producidas por movimientos diferenciales entre la base y el revestimiento o entre las diversas capas de éste, por diferencias en sus coeficientes de dilatación térmica o humídica.

Adoptan esta forma cuando la unión es desigual, con algunas zonas débiles. Las tensiones y las fisuraciones se concentran en la zona de menor adherencia de la interfase.

Las fisuras en forma de mapa o cuarteadas, en ocasiones muy superficiales, sin penetrar hasta la base, se deben a la retracción por desecación hidráulica del guarnecido. Y no a la retracción por fraguado, ya que el yeso normalmente aumenta de volumen al fraguar.

La evaporación del agua de la pasta, causada por un importante aumento de temperatura y un secado brusco, es consecuencia de adiciones mal formuladas o de la presencia de impurezas en el yeso. Puede deberse también a una mala preparación de una base excesivamente porosa, capaz de succionar el agua de la pasta en el momento de su colocación.

En este caso, las fisuras que aparecen presentan, contrariamente a lo común, labios abiertos de dentro a fuera. Ello no significa que el soporte deba ser totalmente impermeable, ya que un cierto grado de succión es necesario para asegurar la adherencia mecánica entre muro y enlucido.

Pueden evitarse estas acciones humedeciendo el soporte antes de la aplicación del acabado o adicionando al mortero un retenedor de agua, de manera que conserve la necesaria para su hidratación. Asimismo, puede aplicarse una imprimación sobre el paramento.

La formación de pequeños cráteres de diámetro inferior a 10 mm, repartidos de forma aleatoria en la superficie del revestimiento, se debe a la presencia de partículas incorporadas accidentalmente en la pasta o el mortero, tales como carbonilla, piritas, etc. Estas erosiones o picaduras pueden aparecer en cualquier momento de la vida del acabado, dado que la velocidad de dilatación de las partículas es muy variable.



Pérdida de alicatado por exceso de humedad ambiente por falta de ventilación del local. Los morteros que se utilizaban antes absorbían más humedad y se hinchaban con mayor facilidad.

Finalmente, las ampollas y elevaciones superficiales después del secado se producen cuando concurren simultáneamente sobre un soporte húmedo la mala ventilación, una atmósfera saturada de humedad y un amasado con mucha agua.

LESIONES EN ELEMENTOS: ALICATADOS

Constituidos a base de plaquetas cerámicas adheridas al soporte mediante mortero hidráulico o cementos-cola, los alicatados conforman quizás uno de los acabados con desprendimientos más llamativos. Siendo ésta además la lesión más frecuente de este tipo de tendidos.

Su particularidad reside esencialmente en su sistema de adherencia continua, que provoca que el alicatado participe muy estrechamente de los movimientos del elemento soporte, normalmente un cerramiento.

Hay que tener en cuenta además la desigualdad existente entre la junta superficial exterior que une plaqueta y mortero, más débil, y la junta interior entre mortero y soporte, que presenta mayor adherencia mecánica.

Este tipo de acabados, conflictivos en regiones climáticas con cambios bruscos de temperatura o en zonas expuestas a agresiones mecánicas (partes bajas y esquinas), suelen manifiestan lesiones paralelas o sucesivas, pero casi nunca aisladas. Por ello, las actuaciones de reparación habrán de contemplar muy probablemente la anulación de varias causas.

En cuanto a la reparación, hay que decir que se trata de un acabado difícilmente recuperable, sobre todo cuando se trata de alicatados de piezas pequeñas.

Normalmente, se recurre a sustituir paños enteros e incluso a eliminar el acabado y sustituirlo por otro tipo, cuando se deduce que alicatado y soporte son incompatibles.

La falta de continuidad en su adherencia, las agresiones exteriores por la acción del agua e interiores por la acción de la humedad, la radicación solar directa y los cambios de temperatura, las agresiones mecánicas y los defectos de ejecución son las principales causas de lesiones. Los abombamientos (síntoma típico relacionado con la existencia de humedades interiores en el muro) y la rotura de las piezas cerámicas se presentan como lesiones de carácter preliminar, estrechamente relacionadas con el desprendimiento, que tendría el carácter de síntoma definitivo de una misma lesión.

DESPRENDIMIENTOS

Esta lesión se manifiesta en muchas ocasiones a través de diferentes causas simultáneas o sucesivas: variaciones dimensionales de las plaquetas, agua filtrada a través de las juntas superficiales desde el exterior, movimientos del soporte o de la estructura, deformación de los elementos soportantes, fallos en la adherencia o defectos de los materiales.

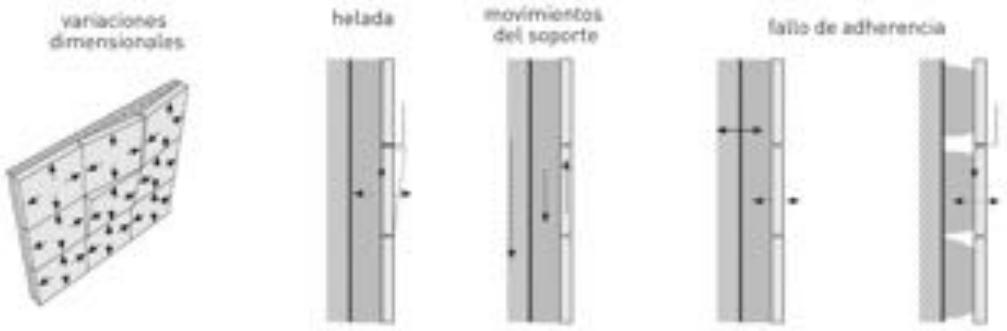
DEBEN RECHAZARSE TODAS AQUELLAS PIEZAS QUE:

- No estén perfectamente cortadas, con sus cuatro cantos y aristas perfectos.

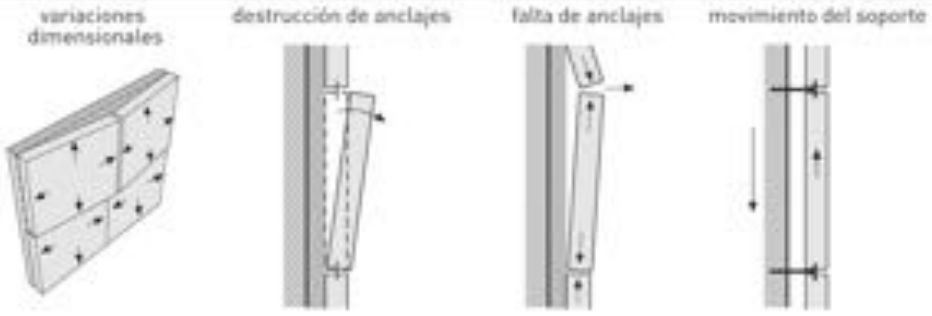
- No presenten un color y textura uniforme. Deben comprobarse especialmente los cantos, dado que cuando el alicatado debe soportar tensiones importantes tiende a descolgarse por esta parte si existen defectos en el barnizado y vitrificado. El levantamiento se inicia en tales puntos y se va extendiendo poco a poco a la totalidad de la pieza.

LOS MATERIALES DEFECTUOSOS O DE SEGUNDA CALIDAD NO FAVORECEN UNA BUENA COLOCACIÓN Y POR ELLO DEBEN DESCARTARSE

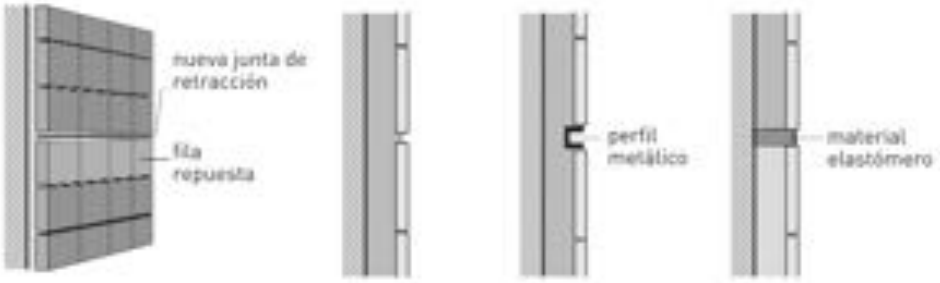
Desprendimiento de alicatados.



Desprendimiento de chapados.



Reparación de alicatados por variaciones dimensionales.



Reparación de chapados de piedra.



Desprendimiento de alicatados y chapados. Tipología y reparaciones.

VARIACIONES DIMENSIONALES: de las plaquetas por cambios de temperatura, sobre todo en paredes exteriores y en colocaciones del alicatados "a hueso". La dilatación individual de cada elemento producirá un acumulación de esfuerzos, en la que las plaquetas se van empujando unas a otras hasta provocar el levantamiento de los bordes verticales y horizontales. El desprendimiento entre plaqueta y mortero se producirá por esfuerzo cortante.

La demolición total del acabado y la refacción con junta abierta es la solución más correcta. Pero, dependiendo del tipo de cerramiento y de su uso, es posible demoler parcialmente las líneas de plaquetas afectadas e introducir juntas de retracción modulares, mediante el uso de piezas de menor tamaño.

Pueden integrarse juntas de mortero, con continuidad en el trasdós; perfiles metálicos en "U" anclados al soporte y protegiendo los bordes de las plaquetas; o material elastómero, rellenando las juntas.

AGUA FILTRADA: a través de las juntas superficiales desde el exterior (agua de lluvia) o por condensación intersticial desde el interior puede incrementar su volumen de manera notable cuando se hiela en situaciones de bajas temperaturas. La presión ejercida sobre el trasdós de las plaquetas acaba produciendo el empuje y caída de éstas hacia el exterior.

La filtración desde el exterior es más fácil en los alicatados con junta "a hueso", al desaparecer rápidamente la lechada entre las plaquetas. Si existe una discontinuidad del mortero de agarre, se forma una especie de "cámara de descompresión" que facilita que el agua infiltrada se aloje en la junta superficial entre plaqueta y mortero. Dichas cámaras provocan asimismo que el vapor de agua se concentre y condense en ellas.

Al enfocar el proceso de reparación, habremos de analizar en primer lugar la procedencia de esta agua, estableciendo las barreras adecuadas. Si se trata de humedad infiltrada por el propio alicatado, demoler y volver a ejecutar realizando correctamente las juntas y cuidando la uniformidad del mortero. Si se opta por una reparación parcial de las piezas lesionadas, debe alcanzar como mínimo las líneas modulares.

MOVIMIENTOS DEL SOPORTE O DE LA ESTRUCTURA: (pandeo de los muros, flexiones de pilares y forjados), así como las variaciones dimensionales de éstos por causas térmicas, introducen un esfuerzo rasante que actúa rompiendo la adherencia mecánica de la junta entre plaqueta y mortero. Cuando la adherencia es suficientemente fuerte, puede llegar a producirse una fisura en el propio acabado.

En muros de ladrillo de naturaleza sílico-calcárea, hay que tener en cuenta las grandes tensiones que se ejercen sobre el alicatado como efecto de la alta humedad residual, que prolonga la retracción de las piezas hasta que se haya eliminado completamente ésta.

En todos estos casos, será necesario actuar en primer lugar sobre la estructura, anulando los movimientos. Una vez eliminada la causa y comprobado el estado general del alicatado, puede repararse éste parcialmente hasta las líneas modulares.

DEFORMACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOPORTANTES: en tabiquerías interiores, cuando éstos son prefabricados y de notable tamaño, provoca pequeñas fisuras en las piezas alicatadas, que se irán abriendo poco a poco y motivarán finalmente el desprendimiento.

La alteración de las dimensiones primitivas de estos soportes, al experimentar importantes e imprevistas contracciones, motivará el levantamiento de la capa de adhesivo. Por otro lado, su alto contenido de humedad, retenida en el anverso de las piezas al actuar éstas como barrera impermeable, puede acabar atacando simultáneamente el guarnecido del paramento y el material de agarre. En ocasiones, esta humedad interna avisa antes de producir la destrucción de la adherencia, con la aparición de manchas sobre la superficie vidriada de las baldosas. Manchas que son claras si las plaquetas son oscuras; y oscuras cuando las baldosas son blancas o de tonos pálidos.

FALLOS DE LA ADHERENCIA: pueden ser producidos por errores de ejecución, por falta de rugosidad en la plaqueta o en el soporte (corriente en muros de hormigón) y por escasa continuidad del mortero en todo el dorso de la plaqueta o entre el dorso y las juntas. Todos estos fallos acaban provocando la rotura de la junta entre soporte y mortero, facilitando además el desarrollo de otras lesiones, como las asociadas a la penetración del agua y su helada.

Dado que en este tipo de lesiones el fallo suele ser generalizado, no queda más solución que demoler. Algunos autores defienden como solución la ejecución del alicatado con junta abierta y la aplicación del mortero de agarre directamente sobre el soporte, como único sistema para conseguir la total continuidad del sistema de adherencia.

Este método de colocación confía la sujeción de cada pieza individual no solamente a la adherencia mecánica en el dorso, sino además al rozamiento en los bordes (efecto garra). Además, queda anulado el efecto de la suma de dilataciones, al absorber el mortero de la junta parte de los movimientos de la plaqueta, posibilitando de este modo una dilatación individual de cada pieza, sin efecto sobre las demás.

Al resultar más obstruida la junta entre plaquetas, existe menor riesgo de que se produzca la entrada de agua desde el exterior y el efecto de "cámara de descompresión", tan común en los alicatados colocados "a hueso".

Sobre soporte de hormigón, la causa más corriente de los desprendimientos reside en ***DEFECTOS DE LOS MATERIALES*** del revoco y del enfoscado. Habitualmente, se evita el alicatado directo sobre la superficie de hormigón, interponiendo un revoco de cierto espesor con el objetivo de igualar la superficie.

El fallo llega por el uso de enfoscados de cal fina blanca sin aglomerante hidráulico o de revocos a base de cal y yeso. El uso de morteros excesivamente fluidos para poder lanzarlos a máquina provoca una humedad adicional del soporte, que tendrá dificultades para ser cedida al exterior una vez ejecutado el alicatado. Algunos autores defienden como solución menos problemática el tendido directo de las baldosas sobre la superficie.

En cuanto a los defectos de ejecución, el actuar sobre el paramento recién desencofrado o tender el alicatado sin limpiar previamente el soporte de todos los restos de desencofrantes propicia la falta de adherencia de éste.

ABOMBAMIENTOS

Salvo raras excepciones, la aparición de un abombamiento en el alicatado delata la existencia de humedades internas, que pueden proceder del propio soporte o bien de filtraciones desde el exterior, humedades de capilaridad o roturas accidentales de conducciones de agua.

Una lesión típica en locales donde existen instalaciones de alimentación o desagüe de agua empotradas en el cerramiento que soporta el alicatado es el abombamiento y posterior desprendimiento de las plaquetas. La acción de humedades internas de carácter accidental por rotura de las conducciones queda oculta durante un tiempo por la barrera que ejercen las piezas cerámicas, tras las cuales es retenida el agua. Sin embargo, el agua irá causando sus estragos, afectando tanto al material de agarre como al acabado del soporte, que se deforman y ejercen presión hacia el exterior sobre las plaquetas. El abombamiento o separación del paramento se inicia por uno o dos de sus laterales, hasta que la falta de anclaje provoca un desprendimiento generalizado.

El abombamiento puede ser también provocado por las humedades del soporte que no se dejaron evaporar antes de enfoscar los paramentos. Tender un enfoscado de modo precipitado encima de un soporte húmedo es causa casi segura de lesiones.

Especial cuidado debe tenerse con los tabiques divisorios que se levantan sobre la estructura de hormigón sin haber eliminado la humedad. Así como con los enfoscados de yeso o cal. Ambos materiales restan al acabado impermeabilidad, de manera que las baldosas absorben la humedad del material de agarre, dificultando su fraguado.

Además, el yeso es un material que se deforma fácilmente en presencia de la más mínima humedad existente en el interior del muro, desprendiéndose del soporte y del material de agarre y empujando las baldosas hacia el exterior. El proceso patológico reviste tal gravedad que la única opción es arrancar las plaquetas. Tras picar el enfoscado y aplicar sobre la superficie un mortero de cemento, puede procederse a realizar el nuevo alicatado, utilizando un adhesivo de tipo hidráulico.

La humedad puede proceder también del exterior, por filtraciones a través de los cerramientos (muros, forjados, azoteas) o del subsuelo, a través de la capilaridad.

ROTURA DE LOS ALICATADOS

Por regla general, la rotura de las piezas cerámicas se produce por defectos del soporte y, aunque los abombamientos favorecen su aparición, no siempre ambas lesiones van unidas. Un caso típico de rotura se produce en alicatados ejecutados sobre un mortero de yeso, que recoge toda la humedad existente pero no puede cederla al exterior porque la capa de adhesivo y de alicatado actúan como barreras de vapor.

El yeso acaba por desprenderse del cerramiento y disgregarse. Mientras, el adhesivo, excesivamente hidratado, se hincha y presiona las piezas, que sometidas a tensiones excesivas acaban rompiendo. La reparación de esta lesión pasa por levantar los azulejos en su totalidad, picar el guarnecido de yeso y sustituirlo por otro menos grueso de mortero de cemento, procediendo a un nuevo alicatado.

PATOLOGÍA DE LAS PINTURAS

Como elemento cuya finalidad es proteger las superficies al tiempo que les otorga un determinado carácter estético, la pintura se lesiona en estrecha relación con las características del material que le sirve de base. Y ello sucede tanto en superficies interiores como exteriores.

En este apartado, haremos un recorrido por las lesiones más corrientes de las pinturas que, en tanto que revestimiento, padecen lesiones idénticas a las del resto de los acabados continuos (descuelgues, cuarteamientos o desprendimientos). Pero además presenta otras propias, como son las decoloraciones, las escamas o la formación de ampollas.

Se trate de pinturas exteriores o interiores, lo cierto es que la razón última de las lesiones la hallamos siempre en el propio soporte. Un muro en malas condiciones o una preparación incorrecta de la superficie, incompatible con el sistema de pintado adoptado, pueden ocasionar graves problemas en el acabado.

La gran cantidad de opciones de productos que ofrece el mercado, así como la variedad de situaciones de uso y de soportes, hacen indispensable la redacción pormenorizada de un pliego de condiciones que defina todos lo requisitos ineludibles para efectuar una protección eficaz.

En él se encontrarán definidos desde la función del elemento a pintar hasta su material constitutivo, su diseño, la facilidad de ejecución del trabajo, las condiciones en que se encuentra el soporte, el objetivo del recubrimiento y la durabilidad que se pretende, así como las solicitaciones que va a soportar (radiación solar, humedad relativa, ambiente marino, contaminación ambiental, cambios de temperatura, heladas, lluvia).

CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE

La ubicación, el material y la preparación previa de la superficie son características esenciales del soporte que influyen de manera fundamental en la adherencia entre éste y la pintura.

Si el material base es un mortero, un soporte pétreo o un muro de ladrillo, la adherencia se pierde esencialmente por la acción del agua procedente de la lluvia en exteriores y de condensaciones en interiores, así como por movimientos del cerramiento.

Sobre la mampostería y los enlucidos de cemento o cal, la causa principal del fallo de la pintura es la humedad y sus lesiones asociadas: ataques químicos y eflorescencias motivadas por la presencia de álcalis y sales.

Las irregularidades del soporte, con enfoscados más lisos en una zonas que en otras, los depósitos de suciedad y el envejecimiento del mortero base son asimismo circunstancias que causan una mala adherencia de las pinturas aplicadas.

La adherencia o capacidad de la película de pintura para adherirse sobre el soporte, ya sea éste de material desnudo o de una pintura anterior, puede comprobarse realizando con una cuchilla una serie de cortes paralelos, cruzados por otra serie perpendicular, y adhiriendo una cinta adhesiva sobre ellos. Al arrancarla con cierta fuerza, si sólo uno o dos cuadraditos se han despegado, podemos considerar que la pintura la adherencia es buena.

Desconchados	Falta de cohesión entre mortero y pintura o levantamiento de la capa superficial del mortero.
Ampollas y desconchados	Pinturas impermeables al vapor de agua aplicadas sobre soportes muy húmedos.
Cuarteamiento superficial	Pinturas muy rígidas o aplicadas en capas demasiado gruesas. Soporte muy poroso. Baja temperatura de aplicación.
Caleo	Relación P/VF alta. Bióxido de alta resistencia. Pintura de baja calidad.
Cambio de color	Pigmentos no estables a la luz o a la alcalinidad del soporte.
Fisuración	Recubrimiento poco elástico. Tratamiento inadecuado de las fisuras del soporte
Escamación	Soporte muy liso o con presencia de polvo. Mala formulación.
Bajo brillo	Pintura de baja calidad
Cambios de color	Retención de polvo. Crecimiento de micro-organismos. Oxidación de los polímeros.
Decoloración	Poca resistencia de los pigmentos

PINTURAS SOBRE ENFOSCADO DE MORTERO DE CEMENTO. LESIONES Y CAUSAS MÁS FRECUENTES DE SU ALTERACIÓN

En los casos de humedades, las actuaciones preventivas debe ir encaminadas a evitar que llegue el agua hasta la superficie del soporte, por un lado; y a posibilitar que el vapor que procede del interior y el agua que pueda haber penetrado desde el exterior puedan salir a través de la capa de pintura, por otro. Para ello, encontramos tres condiciones básicas:

- **QUE EL SOPORTE ESTÉ SUFICIENTEMENTE SECO ANTES DE APLICAR LA PINTURA** (menos del 6 % de humedad).

- **QUE LA PINTURA SEA LO SUFICIENTEMENTE ELÁSTICA**, lo cual se consigue a base de componentes acrílicos.

- **QUE SEAN PINTURAS DE "PORO ABIERTO"**, es decir, que aún impidiendo la penetración del agua desde fuera permitan la transpiración del cerramiento, dejando pasar el vapor de agua que viene desde el interior.



Combinación del deterioro por humedad de cimientos y el "roce" provocado por las personas que circulan hacia el edificio. A pesar de que la pintura es del tipo esmaltado, esto no alcanzó para evitar su descascaramiento.

Caso particular en todo lo relacionado con soportes son los enlucidos de yeso, que como ya mencionamos en el punto anterior, son extremadamente absorbentes. En ellos, las pinturas basadas al agua tienden a crear películas gruesas, especialmente en las esquinas que se solapan, provocando la consiguiente escamación. Ello sucede especialmente con las pinturas al temple y los ligantes solubles en agua, que quedan absorbidos inmediatamente en el sustrato poroso.

Cuando las superficies enlucidas se muestran quebradizas, el único remedio es eliminar la pintura y el enlucido hasta hallar un sustrato en buenas condiciones, revocar de nuevo y proceder al pintado como si se tratase de una superficie recién enlucida.

A. LESIONES DE LAS PINTURAS

DESPRENDIMIENTOS

La falta de adherencia entre pintura y soporte provoca el desprendimiento del acabado, en un proceso patológico que está directamente relacionado con la adherencia química y los espesores de las capas.

Conviene analizar los diferentes tipos de desprendimientos:

CLASE	FISURACIÓN ADMITIDA (mm)	
	VALOR MEDIO	VALOR MÍNIMO
1.1	□ 0.3	□ 0.2
1.2	□ 0.7	□ 0.5
1.3	□ 1.3	□ 1.0
1.4	□ 2.5	□ 2.0

CLASIFICACIÓN DE LAS PINTURAS PLÁSTICAS SEGÚN NORMA NF P 84-403

- **POR APARICIÓN DE UN ESFUERZO RASANTE ENTRE CAPA DE PINTURA Y SOPORTE**, asociado a dos causas:

  • **LA RETRACCIÓN EXCESIVA DE LA PINTURA**, que aparece generalmente por causas de origen químico, cuando la composición de la pintura es inadecuada para el tipo de soporte o para el ambiente atmosférico que ha de soportar. Aunque también puede ser debida a cambios de temperatura. En todos los casos, provoca la fisuración y la rotura de la adherencia de la pintura.

  • **LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DEL SOPORTE**, como consecuencia de cambios de humedad o de temperatura. Provoca tensiones en las pinturas demasiado rígidas.

- **POR DILATACIÓN DE ELEMENTOS INFILTRADOS EN LA PINTURA** (agua que hiela y sales que cristalizan). Si la capa de pintura es de poco espesor, el efecto será casi inmediato. En todo caso, es necesario localizar y anular la vía de filtración antes de proceder a la reparación.

- **LOS ERRORES DE EJECUCIÓN**, que en pinturas son muchos y muy variados. El más común de ellos es la completa omisión de los trabajos de preparación del soporte y el paso directo a la ejecución de la capa de pintura.

La falta de un secado acelerado en los soportes excesivamente húmedos y porosos o la incompatibilidad química entre soporte y pintura, sobre todo cuando ésta tiene componentes sintéticos, son otros ejemplos claros.

Las reparaciones de los desprendimiento afectan a menudo a la totalidad de la capa de pintura. El parcheo no es nunca la solución más adecuada, ni siquiera en el aspecto estético, dado que es probable que existan partes del muro afectadas que todavía no han manifestado exteriormente la lesión.

Lo más correcto es estudiar a fondo el estado en que se encuentra la totalidad del muro, procediendo a su saneamiento y a la refacción del acabado, adoptando las medidas de ejecución que eviten que la lesión reaparezca.

En soportes de hormigón, cuando el revestimiento se separa en láminas, mostrando pulverulencia en la cara interior, la causa suele ser la extensión de la pintura sobre un soporte muy seco o en ambiente caliente.

A pesar de su constitución porosa, en condiciones desfavorables el hormigón no puede retener el agua necesaria para su correcto fraguado y se convierte en polvo. En este caso, no es posible el refuerzo con una imprimación fijadora al tratarse de capas de varios milímetros. Debe cepillarse y picarse toda la parte disgregada.

HUMEDAD Y ALCALINIDAD

La humedad es la causa más común en el fallo de las pinturas, tanto sobre la mampostería reciente o húmeda como sobre los enlucidos de cemento o cal. Las pinturas de ligantes sintéticos y al aceite generalmente tienen poca adhesión sobre la superficie de las paredes húmedas, especialmente cuando ésta es lisa y, por lo tanto, proporciona poco anclaje mecánico.

Además, las películas de pinturas basadas en aceite y en resinas alcídicas tienden a hincharse bajo la acción prolongada de la humedad, resultando un ampollamiento de la capa. Aunque la humedad no esté presente en el momento de la aplicación, puede ser traída a la interfase de la pared/capa de pintura por:

- **EL SUSTRATO.**
- **LA FILTRACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.**
- **LA PRESENCIA DE HUMEDADES DE CAPILARIDAD.**

Asociada a la humedad, la existencia de álcalis y sales provoca un ataque químico sobre la pintura y la aparición de eflorescencias. Derivando finalmente en ampollas, fallos de la adherencia y desprendimientos. Las películas impermeables serán probablemente las más afectadas. El ataque químico por álcalis se produce a partir de que la presencia de humedad activa los compuestos agresivos y los traslada a la zona donde se produce el fallo. La saponificación, la aparición de eflorescencias y la ruptura mecánica del film de pintura son los efectos inmediatos.

Una forma de valorar la agresividad alcalina de un material o superficie es ponerla en contacto con un papel indicador de pH o papel de tornasol, humedecido en agua destilada. Su cambio de color indicará el grado de alcalinidad. Otro método es la disolución de fenolftaleína, sustancia incolora que se vuelve rosa al contacto con los álcalis.

Siempre deberían tomarse precauciones en soportes a los que se ha añadido cal, considerando como superficies alcalinas el mortero, los enlucidos de cemento, los enlucidos de cal y la uralita, especialmente cuando son recientes.

No obstante, tras un prolongado envejecimiento al exterior, estas superficies pierden su alcalinidad, debido a la lixiviación de los materiales, que son solubles. No está de más, sin embargo, tomar precauciones y ensayar el pintado con una pintura sensible al álcali (por ejemplo, una pintura mate al aceite) en una zona de prueba. Ante cualquier duda, deberemos usar pinturas resistentes al ataque alcalino.



Pintura de base acrílica descascarada.



Pintura mal aplicada. No se preparó adecuadamente el soporte.

EFLORESCENCIAS

La eflorescencia o cristalización de sales en la interfase pared/película causa la desintegración de las pinturas en depósitos de polvo y el ampollamiento de la capa cuando el crecimiento de los cristales se forma debajo de éstas.

Los morteros y enlucidos son en parte responsables de la eflorescencia, a través de las arenas de mala calidad que contienen y que son la causa principal del suministro de cloruros.

Sin embargo, también se ha comprobado que con frecuencia las sales se transportan a la superficie mediante el agua que está en la cara posterior de la mampostería durante el proceso de secado.

El examen con lentes de aumento de la cara posterior de la capa de pintura servirá para confirmar que la adhesión a la superficie ha sido eliminada por el crecimiento de pequeños cristales en la interfase.

En el proceso de reparación, es esencial eliminar todas las sales y los focos de humedad, puesto que el crecimiento de cristales puede continuar mientras ambas cosas estén presentes.

Cuando la eflorescencia ha ocasionado el parcial despellejamiento de la capa existente, deberá eliminarse todo el material suelto mediante un rascado y un cepillado en seco.

Si el enlucido se ha desintegrado superficialmente por el fuerte desarrollo de la eflorescencia, deberemos volver a enlucir la superficie antes de efectuar el nuevo pintado.

Nunca deben eliminarse las sales lavando con agua, ya que ésta agravará el defecto, ni emplear pinturas basadas al agua sobre cualquier superficie en que haya existido una intensa eflorescencia.

Aunque resulta satisfactoria la aplicación de un primer al aceite resistente al álcali, no sirve de nada utilizarlo para tapar una eflorescencia activa.

Los sistemas de pintura al aceite aportan generalmente resultados más satisfactorios sobre las superficies eflorescibles, un vez totalmente secas éstas. Los acabados mates permiten que las soluciones de las sales afloren a la superficie, con lo cual el crecimiento de cristales puede ser eliminado sin perjudicar la película.

SAPONIFICACIÓN

La alcalinidad del cemento o de la cal, que aflora en presencia de cierto grado de humedad, causa una reacción con el aceite de las pinturas que deriva en la aparición de manchas blancas y en el cuarteamiento de la capa de acabado.

En casos de fuerte saponificación, debe eliminarse la capa de pintura, preferentemente mediante un rascado, dejando secar completamente el soporte. A continuación, sellar la superficie mediante la aplicación de dos capas de primer de cemento o de enlucido que sea resistente al álcali.

Posteriormente, aplicar alguna pintura insaponificable, como las de caucho clorado. Después de una adecuada preparación, también pueden extenderse pinturas en emulsión a base de acetato de polivinilo y de copolímeros acrílicos.

EXFOLIACIONES

El levantamiento de la pintura en finas capas, en forma de escamaciones o descuelgues, es una lesión estrechamente relacionada con los desprendimientos. La causa puede hallarse en las humedades de cualquier tipo, en la temperatura excesiva por la proximidad de conductos de calefacción o aire caliente o en la saponificación de la pintura al óleo sobre enlucidos con reacción excesivamente alcalina.

Acompañadas de ampollas, las exfoliaciones pueden producirse también por la acumulación de agua en la cara posterior de la pintura, sobre todo si ésta es muy impermeable. El agua empuja el acabado hacia el exterior, provocando una ampolla en la pintura y, en último extremo, la rotura de la misma.

Pero también puede volcarse hacia el interior, disolver las sales allí existentes y arrastrarlas hacia el exterior. Las escamas, un tipo de descuelgue semejante a las exfoliaciones, se producen especialmente al pintar sobre paramentos húmedos.

CUARTEAMIENTOS

Esta lesión se asocia generalmente con la existencia de ciclos extremos de frío-calor repetidos de forma continuada. La radiación solar, especialmente la ultravioleta, es altamente agresiva para los ligamentos de las pinturas. La manifestación más aparente de su acción es el aspecto harinado de la superficie, apreciable a simple vista, acompañado por una pérdida de la coloración y una reducción del espesor de la pintura. Finalmente, se inicia la pérdida de la adherencia de la capa de pintura y el cuarteamiento propiamente dicho.

A menudo, si la superficie del enlucido no está en muy mal estado, las grietas pueden rellenarse con una mezcla de mortero de fraguado rápido. Luego debería lijarse toda la superficie con un papel abrasivo fino y redecorar.

Si el cuarteamiento está muy extendido, es aconsejable efectuar un forrado con papel, previo a la aplicación de una pintura mate, una pintura en emulsión o un empapelado.

AMARILLAMIENTO

Este fenómeno, típico de las antiguas pinturas blancas al óleo, afecta hoy, aunque en menor medida, a los esmaltes sintéticos. Se presenta especialmente en las zonas con poca luz natural (interiores de armarios, por ejemplo) como efecto de la oxidación de los aceites que forman parte de la resina o ligante de la pintura. El amarillamiento resulta imperceptible en productos con cargas, pero visible si la pintura no está pigmentada y los granos son muy claros.

FLOCULACIÓN

La reagrupación de las partículas de pigmento durante los procesos de almacenaje o de secaje de la pintura es una lesión atribuible a defectos del producto y resulta imposible de reparar. Se aprecia por un color diferente del esperado en la película de pintura.

Si frotamos con el dedo la capa medio seca, veremos que en la cara más inferior aparece un color sensiblemente distinto al resto.

FLOTACIONES

Se producen en pinturas con mezclas de pigmentos y se deben al empuje de las partículas de uno de ellos hacia la superficie, por su diferente tamaño y peso y por la acción incorrecta de los agentes humectantes de la fórmula. El efecto es un tono diferente del esperado o la formación de estrías de color distinto. Puede prevenirse agitando bien la pintura antes de proceder a su aplicación.

MOHO Y HUMEDAD

La condensación produce, en condiciones especiales de humedad, luz y temperatura, el crecimiento sobre la pintura de colonias de mohos que se manifiestan a través de la aparición de manchas. Estas son fácilmente eliminables con el uso de productos como la lejía, pero reaparecen al cabo de poco tiempo. Actualmente, la mayor parte de las pinturas plásticas del mercado llevan una cierta protección fungicida, pero cuando las condiciones son extremas deben utilizarse pinturas específicas antimoho.

CAMBIOS DE COLORACIÓN

Esta lesión, que no produce por sí misma daños importantes en la película de pintura, está relacionada con un secado excesivamente rápido, la acción de la luz y la agresión de los sustratos alcalinos.

El secado rápido de la pintura produce desigualdades de textura y tonalidad, apreciables una vez seca ésta. Ello es frecuente en aplicaciones a llana en tiempo seco y con viento, al tratar las superficies con intervalos de algunos minutos. Los métodos de aplicación más rápidos, como la proyección o el rodillo, evitan estas deficiencias.

La exposición a la luz actúa sobre los pigmentos colorantes, pudiendo dar origen a la aparición de diferentes tonos, según la orientación del edificio. Pero la decoloración más intensa es la debida a los ataques de los álcalis cáusticos sobre los pigmentos sensibles. El efecto más probable es la pérdida de color de un componente de la mezcla pigmentaria.

Otra causa de decoloraciones es la succión desigual de la pintura como consecuencia de diferencias de porosidad en el soporte.

En todos los supuestos resulta prácticamente imposible solucionar el defecto sin realizar su repintado si la capa de pintura se encuentra en buen estado. Para ello, se usará una pintura que contenga un pigmento más resistente a la causa de la agresión.

B. TIPOS DE PINTURAS

La gama de pinturas decorativas para exteriores es de las más amplias del mercado e incluye desde pinturas minerales al agua (polvos desleíbles en agua cuya base es cemento, cal, dispersantes y pigmentos minerales) a pinturas orgánicas en emulsión (listas para su empleo, en forma de líquido espeso que requiere únicamente una ligera adición de agua para las primeras capas).

Pasando por las pinturas estuco (similares a las anteriores en composición, pero con cargas minerales que les permiten ser aplicadas en gruesas capas, de acabado rugoso) y las pinturas dispersas en disolventes orgánicos (pinturas de clorocaucho, acrílicas).

En general, las pinturas de acabado, tanto exteriores como interiores, suelen ser en dispersión acuosa. Fundamentalmente, se trata de pinturas plásticas cuyo comportamiento depende de la dispersión empleada (polímero) y de la concentración de pigmento en volumen (CPV).

Sus resinas (acrílicas o vinílicas) aportan un grado de elasticidad tal que estas pinturas son capaces de absorber las tensiones producidas por movimientos y fisuraciones del soporte. Por ello, en exteriores, se trata del tipo de pinturas más resistente a la rotura.

No obstante, no todas las pinturas plásticas son adecuadas para su uso en fachadas. En este caso, deben ser permeables al vapor de agua e impermeables al agua de lluvia.

Al contrario que las pinturas empleadas en la protección anticorrosión, que deben ser impermeables tanto al vapor de agua como al agua de lluvia.

Las pinturas minerales tienen una extraordinaria capacidad para la difusión del vapor de agua, pero sin embargo resultan poco impermeables e inadecuadas para regiones de fuerte pluviometría.

Además, en estas pinturas aparecen con frecuencia daños en la zona de los zócalos, como consecuencia de humedades de capilaridad.

La humedad absorbida provoca, en la cara posterior de la pintura, la acumulación de las sales contenidas en la base, donde al cristalizar desprenden la pintura por la presión ejercida.

Por otra parte, estas pinturas son poco elásticas e incapaces de compensar las grietas presentes en el revoco, a través de las cuales puede producirse una absorción de agua.

Para hacer frente a este problema, debe eliminarse todo resto de pintura antigua, picando el revoco y sellando las grietas de mayores dimensiones con masilla elástica.

La nueva pintura debe aplicarse sobre el muro seco, previa imprimación con un producto que contenga disolvente. Puede utilizarse la misma pintura al silicato con adición de siliconas o bien cambiarse por una pintura de dispersión que sea impermeable al agua y permeable al vapor. Si existen grietas en el revoco, es conveniente aplicar algún sistema de armado.

En todo soporte húmedo, al igual que en los soportes afectados por suciedad, es conveniente la aplicación de imprimaciones adherentes o "imprimaciones de limpieza". En revestimientos en emulsión, es conveniente usar asimismo la capa de imprimación previa.

En cuanto a las normas esenciales de aplicación de la pintura, podemos destacar las siguientes:

- **LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL SOPORTE DEBE SER AL MENOS 3 ºC SUPERIOR AL PUNTO DE ROCÍO**. En todas las pinturas a base de dispersiones acuosas de polímeros se necesita una temperatura ambiente superior a los 5 ºC para que se realice el proceso de coalescencia o formación de la película, en el cual las pequeñas gotas de polímeros que flotan sueltas en el seno de la pintura líquida se unen al evaporarse el agua.

- **NO SE PINTARÁN PAÑOS DE FACHADA CONTINUOS BAJO LA ACCIÓN DIRECTA DEL SOL EN TIEMPO CALUROSO**.

- **EL INTERVALO DE TIEMPO ENTRE CAPA Y CAPA DEPENDE DEL TIPO DE VEHÍCULO (POLÍMERO) Y DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES**. Existen pinturas plásticas en las que es posible ejecutar una segunda capa tres horas después de la primera. Las pinturas epoxi y los barnices presentan serios problemas de adherencia entre capas si no se respetan los intervalos fijados en la documentación técnica.

- **LAS PINTURAS PLÁSTICAS MUY ELÁSTICAS DEBEN APLICARSE DILUIDAS EN SU PRIMERA CAPA**, para posibilitar su penetración en el soporte. En caso contrario, la película seca se desprenderá fácilmente.

- **PREFERENTEMENTE, APLICAR A LAS PAREDES NUEVAS REVESTIMIENTOS POROSOS, TALES COMO LAS PINTURAS AL TEMPLE**. Si se va a aplicar un sistema no poroso, es recomendable un período de secado de por lo menos seis meses para muros nuevos y enlucidos. La albañilería, el estuco y el hormigón necesitan un secado de entre tres y doce meses. Si se precisa de una decoración rápida debería emplearse una pintura permeable y porosa que permita la gradual evaporación de la humedad residual.

- **ANTES DE APLICAR UN SISTEMA DE PINTURA AL ACEITE DEBERÍAN** eliminarse las capas viejas de pintura y dejar que las superficies sequen completamente.

- **LA POROSIDAD DESIGUAL DE LA SUPERFICIE PUEDE COMPENSARSE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA CAPA DE IMPRIMACIÓN**, de una pintura al temple bien diluida, de una pintura al agua o de una pintura en emulsión.

PAVIMENTOS

Por su especial situación y cometido, los pavimentos manifiestan como lesiones más frecuentes las de origen mecánico, aunque también debemos considerar las de origen físico y químico. En cualquier caso, el cerramiento que actúa de soporte suele ser un forjado o una solera a base de materiales rígidos y, por tanto, de poca movilidad.

A. PAVIMENTOS EMBALDOSADOS

Los pavimentos realizados a base de baldosas pétreas o cerámicas son adheridos al soporte de modo continuo, ya sea mediante morteros hidráulicos o cementos-cola, que constituyen la denominada "capa de agarre". Lo habitual es colocarlos directamente sobre el soporte, pero también puede intermediar una "capa de reparto" que distribuya presiones e independice, en cierta medida, el acabado del soporte.



La no preparación del terreno mediante un correcto compactado y la ausencia de mallas geotextiles o contrapisos solidarios debajo del pavimento han provocado el descensoparcial de este embaldosado.

En este segundo caso, el mortero de adherencia realiza más bien una función de continuidad con el apoyo. La movilidad del conjunto será menor cuanto menos espesor tenga la capa de reparto. En todo caso, deben emplearse ambas capas siempre que sea posible, principalmente sobre estructuras flexibles.

Las lesiones más comunes de estos elementos son: **FISURAS, DESPRENDIMIENTOS, EROSIONES MECÁNICAS Y EFLORESCENCIAS.**

La aparición de ***FISURAS*** en los embaldosados puede responder a una multiplicidad de causas. Suele presentarse en las uniones entre baldosas y, en raras ocasiones, rompiendo las propias piezas. Este segundo caso puede ser debido a una flexión excesiva de las piezas que derive en un esfuerzo muy localizado y en su fisuración individual. Las causas de estas fisuras serán bien la debilidad de las baldosas, bien errores en la adherencia con el soporte.



Típico problema de embaldosado levantado por las raíces de un árbol. O bien se escoge otra especie arbórea con menos fuerza, o bien se pre-para un cantero o perímetro adecuado de tierra para absorber las de-formaciones más inmediatas

Hay que notar, como caso especial, que la capa superior de las plaquetas vidriadas se fisura con facilidad por tensiones superficiales en la propia baldosa.

Si se trata de movimientos introducidos por flechas de la estructura de forjados, la fisuración aparecerá en las juntas, sobre todo en ausencia de capa de reparto. Si existe, la rotura suele concentrarse en la unión baldosa-mortero.

La reparación se centrará primeramente en anular la causa original, reforzando la inercia del forjado para reducir la dimensión de la flecha por debajo de los 10 mm en valor absoluto.

Si la fisura se ha abierto en las juntas y de forma lineal, puede procederse simplemente a sellarla. Si se ha producido la rotura del pavimento, simplemente hay que cambiar las baldosas afectadas en una zona tan amplia como sea necesaria. Preferentemente, sobre todo si actuamos sobre áreas extensas, deberemos prever la colocación de capa de reparto y de agarre.

Si se trata de un problema intrínseco de las baldosas, que se manifiestan excesivamente débiles ante los esfuerzos de flexión, deberemos proceder a su sustitución. La resistencia a flexión individual de cada baldosa, que estará en función de su tamaño y de las cargas que vaya a soportar, nunca debería ser inferior a 150 kp/cm^2.

Finalmente, la retracción hidráulica del soporte, e incluso la del material de agarre, no afectan a este tipo de pavimentos, bajo cuyas baldosas quedan ocultos los efectos del movimiento.

Como medidas preventivas, deberemos asegurar una uniforme colocación de la capa de reparto en el proceso de ejecución del pavimento. Asimismo, vigilar la continuidad y resistencia de la capa de agarre. En bordes y juntas de dilatación, debe contenerse la capa de reparto mediante piezas especiales para evitar asientos puntuales.

En interiores donde se produzcan variaciones térmicas considerables, puede ser conveniente introducir juntas de retracción a base de pletinas de aluminio o latón clavadas en la capa de agarre con modulaciones entre 3 y 5 metros.

Intimamente ligadas con la aparición de fisuras, las principales causas de los ***DESPRENDIMIENTOS*** en las baldosas cerámicas son el esfuerzo rasante introducido por la flecha del forjado soporte, ya visto en el punto anterior; la compresión de la capa de agarre; la dilatación de elementos infiltrados en el mortero de agarre; los movimientos de las juntas de dilatación de la estructura.

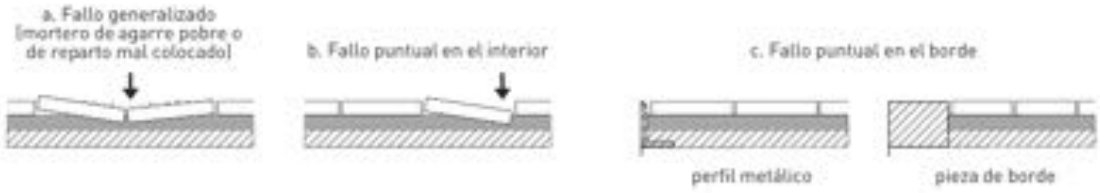
Los desprendimientos por compresión de la capa de agarre ocurren cuando ésta es mecánicamente débil, por pobreza del mortero, y la capa de reparto es poco uniforme. El efecto suele ser un asiento diferencial de las baldosas y su desprendimiento.

Si el fallo es generalizado, no queda más solución que rehacer el pavimento. Si tras estudiar la lesión, se concluye que su alcance es puntual, se repondrán las piezas afectadas y las de su entorno.

Nunca debe dejarse el borde de la baldosa desprotegido, dado que es en este punto donde se producen más fallos puntuales de este tipo, provocados por errores en la ejecución, pérdida de la capa de reparto o punzonamiento de la de agarre. En este caso, se repondrán las baldosas de borde, reforzando éste con piezas especiales (perfiles metálicos o bordillos) que contengan la compresión lateral.

Un caso particular de esta lesión aparece cuando se deja sin sujeción el borde de la pieza. Cualquier exceso de presión vertical en el mismo superará la capacidad de la capa de agarre.

Compresión puntual en la capa de agarre.



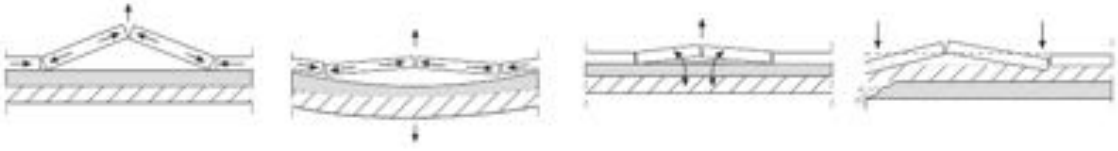
Reparación de pavimento exterior por dilatación.



Medidas de prevención en pavimentos de baldosas al exterior.



Medidas de prevención en pavimentos de baldosas.



Desprendimientos en pisos de baldosas. Tipologías, reparación y medidas preventivas.

Como método preventivo, deben diseñarse adecuadamente los bordes y cambios de plano, evitando que los cantos de las piezas queden vistos y que la capa de reparto y la de agarre queden sin sujeción.

La dilatación de elementos infiltrados en el mortero de agarre, tales como sales que cristalizan u otros materiales orgánicos susceptibles de dilatar por humedad, es otra de las causas de los desprendimientos de pavimentos embaldosados. Esta lesión, que afecta fundamentalmente a la unión mortero-baldosa, demandará primeramente conocer la procedencia de los elementos infiltrados.



La falta de juntas en pavimentos al exterior indefectiblemente conduce al levantamiento de las piezas.







Si se trata de sales, pueden proceder del suelo si el soporte del pavimento es una solera. En este caso, será necesario demoler completamente e introducir una barrera impermeable entre pavimento y soporte. Si las sales están contenidas en el propio mortero de agarre, bastará con rehacer el pavimento eliminando el viejo mortero.

Los movimientos de las juntas de dilatación de la estructura. son también causa frecuente de desprendimientos y roturas. Este caso se presenta cuando se realiza un pavimento continuo sobre una junta que, al moverse, produce la rotura de las baldosas. En este caso, la única solución es rehacer el pavimento en el entorno de la junta.

El roce del uso es la causa principal de las ***EROSIONES MECÁNICAS*** en baldosas cerámicas, localizándose especialmente en las zonas de paso. En las baldosas pétreas, la solución puede ser una abrasión controlada de toda la zona hasta conseguir unificar la superficie e igualar el aspecto (mediante máquinas pulidoras, cepillado mecánico o incluso manual).



En interiores es el sustrato o soporte del pavimento el que se mueve en la mayoría de los casos. Ya sea por asientos o movimientos higrotérmicos hay que preveer juntas de movimiento perimetrales del pavimento.

Ello es solamente posible si las baldosas tienen suficiente espesor, algo que no se da en las vidriadas o en las baldosas hidráulicas, cuya fina capa de acabado no permite la abrasión.

Además, en las plaquetas vidriadas, la extrema finura del vidriado superficial (□ 0,1 mm) favorece su pronto desgaste por el roce, sobre todo en los bordes, así como la aparición de punzonamientos y fisuras. En estos casos, no existe solución alguna que permita reaprovechar las baldosas. Irremediablemente, deberá procederse a sustituir las piezas erosionadas.

Como prevención, deben elegirse piezas de dureza adecuada en función de la abrasión previsible según el uso que vaya a tener el pavimento. En todo caso, deberían tener más de 1,5 cm de espesor, que es considerado el mínimo para permitir su pulido posterior.

Si aparecen ***EFLORESCENCIAS*** en las baldosas, significa que éstas contienen alguna sal soluble que ha sido diluida por agua de filtración. Deberemos anular la humedad que produce la disolución de la sal o, en caso de que ello no sea posible, sustituir las baldosas por otras no eflorescibles.



La ausencia de una buena terminación en las partes más transitadas, como en este ca-so la solia, lleva indefectiblemente a la progresiva destruccion del pavimento.

B. PAVIMENTOS DE MADERA

Englobamos en este apartado a todos aquellos pavimentos realizados a base de elementos leñosos lineales. Los sistemas más modernos los colocan directamente sobre el forjado-soporte, mediante adherencia al mismo o simplemente apoyados (flotantes). Los más tradicionales anclan las piezas de madera a una estructura auxiliar, a menudo también de madera (rastreles, tableros), sujeta o apoyada a su vez sobre el soporte.

Por su propia constitución, este tipo de pavimentos admite muchos más movimientos elásticos que los embaldosados, por lo cual es posible absorber sin problemas las variaciones de un soporte flexible.

Consecuentemente, los procesos patológicos no dependerán tanto de la rigidez de este tipo de acabados, sino más bien al contrario, estarán en función de su libertad para desarrollar inevitables variaciones dimensionales. Ello debe ser previsto en el proceso de ejecución, sobre todo si el pavimento simplemente se apoya, al no poder dejar grandes holguras perimetrales para su dilatación, a riesgo de dejar el pavimento suelto. Será necesario estabilizar el material a base de contrachapados y aglomerados.



Pavimento de alisado de cemento cuarteado debido al ataque de sulfatos.

En los sistemas pegados, debemos asimismo reducir el tamaño de los elementos para evitar grandes esfuerzos rasantes.

Es poco frecuente la aparición de fisuras en este tipo de pavimentos. Sí es común, sin embargo, que surjan aberturas en las uniones entre tablas, algo que debe ser asumido como propio de tarimas y parquets. Pueden manifestarse como consecuencia de movimientos del forjado, pero la causa más frecuente son las variaciones dimensionales de las tablas como efecto de los cambios de humedad.

Y es que los periodos secos contraen de manera inevitable la madera, provocando esas aberturas que en muchos casos vuelven a cerrarse en la estación húmeda. Durante los primeros años de vida del acabado, pueden limitarse estos movimientos controlando la época en que se ejecuta y, sobre todo, el grado de humedad que tiene la madera al ser colocada.

Si las fisuras afectan a piezas individuales, puede procederse simplemente a su sustitución. Si afectan de manera extensiva a amplias dimensiones de acabado, podemos filetear las aberturas con maderas algo más blandas, aunque de aspecto similar. Siempre teniendo en cuenta que el pavimento debe poder seguir manifestando movimientos en su conjunto. Esta operación debe realizarse en primavera u otoño, para asegurar un nivel intermedio de humedad en la madera que no provoque amplias variaciones dimensionales inmediatas. Sobre todo, debe huirse de colocar o reparar estos pavimentos en verano.

Dado que los movimientos del soporte no suelen afectar a los pavimentos leñosos, el ***DESPRENDIMIENTO*** de este acabado es igualmente consecuencia de las propias variaciones dimensionales provocadas por cambios de humedad.

Ello sucede cuando, durante el proceso de ejecución, no se han tenido en cuenta las necesarias holguras en los encuentros del pavimento con los elementos verticales. Al quedar coartada su dilatación por éstos, sobre todo en la dirección perpendicular a los elementos lineales, las tablas se empujan unas a otras y se levantan, produciéndose el desprendimiento. Este puede afectar solamente a puntos muy localizados, en los anclajes o las uniones entre tablas. Esta lesión, que no suele afectar a los rastreles, disminuye su aparición en los elementos contrachapados o aglomerados.

El riesgo de desprendimientos aumenta en presencia de un exceso de humedad, incluso cuando existe holgura perimetral suficiente. En casos de humedades de capilaridad, hasta el sistema de rastreles se ve afectado, al dilatarse éste y desprenderse del soporte.

Si el propio material es el continente de este exceso de humedad, se producirán alabeos que pueden afectar tanto al rastrel como a la tabla. Por ello, deben usarse siempre maderas con índices de humedad inferiores al 10 % o con humedad de equilibrio.

Un caso particular se produce cuando el mortero de agarre del rastrel no se deja secar lo suficiente antes de colocar la tarima, transmitiendo a ésta y al rastrel su exceso de agua y provocando su desprendimiento. El yeso, material muy higroscópico, no debe ser nunca constitutivo del mortero de agarre.

Los desprendimientos por exceso de humedad se caracterizan por levantamientos desiguales, dependiendo del foco. La falta de holguras perimetrales ocasiona que el desprendimiento afecte a cualquier punto del pavimento, aún cuando la causa se halle en el perímetro. Por ello, habrá que analizar el alcance de la lesión y la posible consecuencia en rastreles.

LESIÓN			TIPO DE PAVIMENTO
Fisuras	Lesiones mecánicas introducidas por el soporte. Producen esfuerzos de tracción o cortante que pueden romper el pavimento.		Sobre todo en pavimentos rígidos
	Por variaciones dimensionales del propio pavimento por retracción hidráulica de los mor-teros. Produce fisuras irregularmente distribuidas.		
	Por cambios higrotérmicos que provocan dila-taciones y contracciones y que fisuran el material.		Pavimentos pétreos y de made-ra, por variación de la humedad.
Desprendimientos	Pérdida de adherencia entre pavimento y soporte	Por esfuerzos rasantes, golpes y empujes horizontales, dilatación del pavimento y filtración de elementos extraños en las juntas de unión superficial.	Baldosas y tarimas de madera.
	Mecánica	Abrasión por el uso	
Erosiones			Los más rígidos: soleras, baldo-sas, continuos de hormigón.
	Física	En exteriores, por acción de la lluvia, heladas, etc.	
	Química	En locales donde se usan productos químicos y en garajes de coches	
Humedades			
Organismos	Por capilaridad	Pueden originar lesiones secundarias	Pavimentos de madera en general
	Accidentales		
	Insectos xilófagos		
Eflorescencias	Plantas		
	Hongos de pudrición		
	Cristalización de sales en la superficie del pavimento.	Procedentes del terreno si el pavimento está apoyado en él y la humedad que las disuelve es de capilaridad.	
		Procedentes de la capa de reparto o de agarre si los áridos son eflorescibles o reciben óxido cálcico del mortero, que reacciona con el CO_2 del aire.	
		Procedentes del propio material del pavimento, si contiene sales solubles.	

LESIONES MÁS FRECUENTES EN PAVIMENTOS SEGÚN EL TIPO

La reparación partirá de la localización y anulación del foco de humedad, levantando todas las zonas afectadas y repasando la sujeción de los rastreles, antes de rehacer el entarimado. El procedimiento será similar cuando se trate de tarimas adheridas con colas o simplemente apoyadas. Es esencial introducir una holgura perimetral, que puede realizarse por simple corte del borde, asegurando que quede escondido bajo el rodapié.

Las características elásticas de la madera hacen que las tarimas y parquets absorban mejor los golpes y los impactos que cualquier otro tipo de pavimento. Por ello, al hablar de ***EROSIÓN***, nos referimos básicamente a su desgaste por abrasión.

Tratándose de un material con espesor uniforme, el desgaste tiene fácil solución en las tarimas macizas tradicionales de gran espesor (□ 10 mm). Basta con realizar un acuchillado y aplicar un nuevo tratamiento superficial. Sin embargo, en las modernas tarimas a base de chapados superficiales, es imposible llevar a cabo esta solución, no habiendo más remedio que sustituir las piezas afectadas.

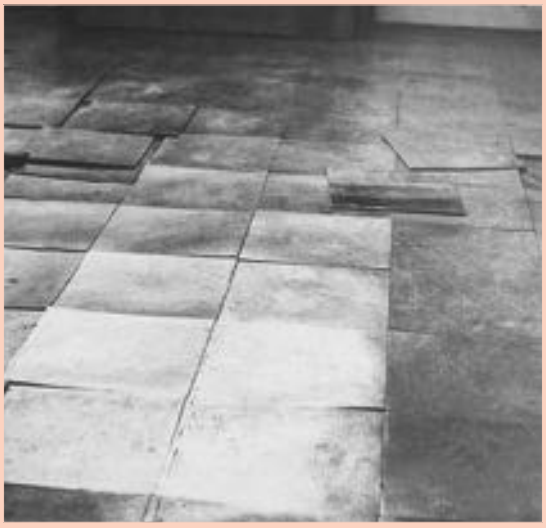
Tampoco se admite un nuevo acuchillado en tarimas macizas machihembradas, cuando el desgaste ha llegado hasta las proximidades de la lengüeta intermedia, dado que se perdería la trabazón entre tablas. Sin embargo, aparte de proceder a demoler y sustituir total o parcialmente el pavimento, existe también la posibilidad de recuperar el material, cortando y reduciendo la sección hasta alcanzar la madera sana. Las nuevas tablas pueden pegarse sobre solera de mortero o clavarse sobre tablero. Se recomienda aplicar siempre protecciones superficiales a base de resinas endurecedoras.

Como proceso patológico específico de este tipo de pavimento, hallamos el ataque por parte de ***ORGANISMOS***, básicamente insectos xilófagos, sobre todo isópteros o termitas, y los muy agresivos hongos de pudrición, que aparecen en zonas puntuales con humedad permanente y poca ventilación.

En función del tipo de insecto, deberá aplicarse un tratamiento específico y adecuado y, como complemento de éste, tomar medidas preventivas encaminadas a:

- **AISLAR LA MADERA DE LA HUMEDAD**.
- **EVITAR EL ATAQUE DE ORGANISMOS VIVOS**, mediante la aplicación de tratamientos protectores a base de insecticidas de tipo orgánico.
- **FACILITAR LA POSTERIOR INSPECCIÓN DE LOS ELEMENTOS LEÑOSOS,** tanto para comprobar su estado como para proceder a su mantenimiento periódico, con la reposición de los tratamientos preventivos o curativos.

En cuanto a la reparación del efecto, se procederá bien a sustituir el pavimento en caso de ataques muy profundos y generalizados, bien a consolidar y reforzar éste. En este segundo caso, se eliminarán las zonas dañadas, sustituyéndolas por otras convenientemente tratadas, de modo que se recuperen totalmente las características físicas y mecánicas del elemento.



Pavimento vinílico mal aplicado. Este tipo de pavimento requiere un esmerado acabado del soporte

C. PAVIMENTOS ALISADOS

Los pavimentos de acabado continuo realizados a base de morteros u hormigones se asientan sobre una estructura de apoyo previa, normalmente constituida por soleras, forjados u otros pavimentos. Constituidos a base de resinas endurecedoras y con áridos más o menos gruesos, según el espesor de la capa, suelen tener espesores de entre 0,5 y 5 cm.

Se ven afectados a menudo por variaciones dimensionales causadas por movimientos de contracción/dilatación, por lo cual es necesario prever juntas que eviten que la variación dimensional prevista, en función de su coeficiente de dilatación lineal y del gradiente de temperatura, no supere los 2 mm.

Las tensiones de tracción que se producen al contraer el pavimento pueden romper fácilmente éste y provocar la aparición de ***FISURAS*** lineales, perpendiculares a la dirección de la variación dimensional, que suele coincidir con la mayor longitud de la pieza. La aparición de fisuras en mapa son un síntoma claro de la retracción hidráulica del cemento, factor propio de su proceso de fraguado.

Cuanto más extremos sean los cambios de temperatura y mayor sea la dimensión del pavimento, más elevadas serán estas tensiones, condicionadas además por el espesor de la solera y la presencia o no de armadura en ésta. Es decir, por su capacidad mecánica.

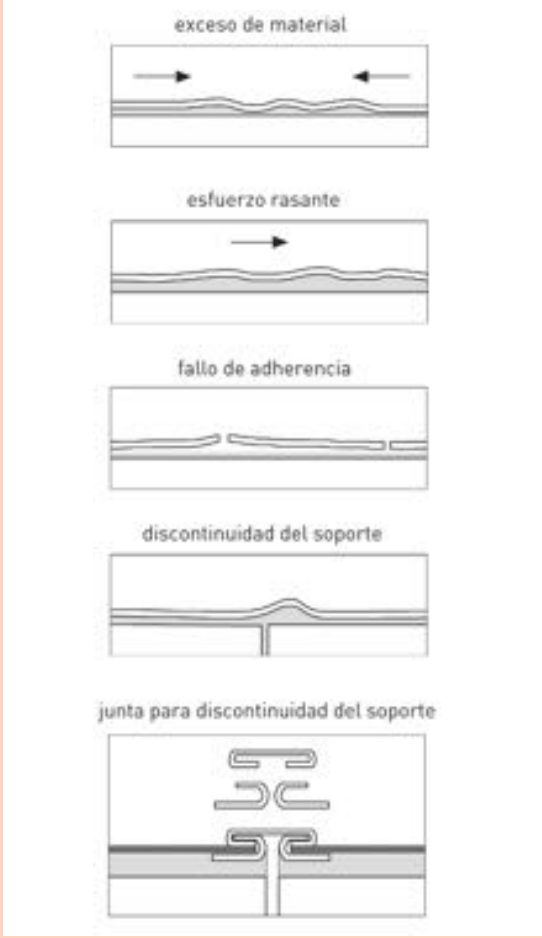
Es corriente, en pavimentos de mortero de poco espesor, recurrir a aditivos que aporten elasticidad para soportar mejor las tracciones. La adición de compuestos expansivos y el máximo cuidado en los procesos de curado del cemento son otras actuaciones preventivas a tener en cuenta.

En pavimentos realizados sobre forjados, las juntas de retracción deben corresponderse con la modulación estructural. Como refuerzo, pueden colocarse armaduras antifisuración o usar aditivos que reduzcan el coeficiente de dilatación térmica. Otra causas frecuentes de la aparición de fisuras en pavimentos alisados son:

- **LA DEFICIENTE COMPACTACIÓN DEL TERRENO SOBRE EL QUE SE EXTIENDE EL PAVIMENTO**. Un asiento de aquél provocará inevitables fisuras en éste. Para impedirlo, es necesario compactar correctamente el terreno, recurriendo incluso a sistemas mecánicos.

- **LA COLOCACIÓN DIRECTA SOBRE UNA BASE FORMADA POR PAVIMENTO DE BALDOSAS**. El mortero rompe a menudo por líneas coincidentes con las juntas o uniones entre aquéllas.

- **FLECHAS EXCESIVAS EN FORJADO QUE ACTÚA DE SOPORTE.**



Esquemas de las causas de los desprendimientos de pavimentos flexibles.

La fisuración de un pavimento de mortero constituye un cuadro patológico de difícil reparación. Como elemento constructivo rígido que es, resulta casi imposible reunificar las diferentes piezas en que éste se ha quebrado.

En ocasiones, es conveniente simplemente sellar las fisuras con un material elastoplástico, dejando que actúen las partes como piezas independientes. De este modo, las propias fisuras funcionarán como juntas que permitan la movilidad de un pavimento excesivamente rígido. Esto puede ser llevado a cabo en lesiones causadas por flechas de forjados o asientos del terreno.

Por supuesto, previamente debe haberse identificado y anulado la causa, reforzando el forjado para limitar la flecha por debajo de los 8 mm en valor absoluto. Y saneando en todo caso las fisuras.

Cuando la rotura se deba a una baja resistencia a flexión de la solera, no habrá más remedio que demoler y rehacer ésta, aportándole una mayor capacidad mecánica a través de aumentar la cuantía de armado o de aportarle mayor espesor.

Cuando las fisuras sean consecuencia de variaciones dimensionales, jamás hay que tratar de taparlas, aunque sí pueden sellarse con elastoplásticos. También pueden aprovecharse las aberturas para marcar linealmente nuevas juntas de dilatación en su lugar, previo saneado de todo el entorno.

En todos los casos, si la fisuración afecta a zonas muy amplias, la mejor reparación es demoler y rehacer el pavimento.

Los ***DESPRENDIMIENTOS*** en acabados alisados de morteros u hormigones están relacionados básicamente con su sistema de adherencia mecánica en junta superficial. Podemos distinguir dos tipos de lesiones:



Pavimento erosionado por el uso. La intensidad del uso es una de las variables fundamentales en la elección de un pavimento.



Picaduras en un pavimento de linóleo por el uso de sillas de patas duras y el uso de calzado no apropiado.

- **POR SUPERACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO RASANTE** introducido por las contracciones-dilataciones del mortero u hormigón. Se trata de una lesión básicamente introducida por la ausencia de juntas de retracción adecuadas, por lo cual la reparación deberá contemplar la introducción de nuevas juntas intermedias, a distancias menores que las anteriores, para evitar la aparición de nuevos esfuerzos cortantes. Previamente, tras estudiar el estado general del pavimento, se decidirá demoler totalmente y rehacer en caso de desprendimientos generalizados. O actuar únicamente sobre las juntas de retracción en caso de que sean puntuales.

- **POR UN ESFUERZO RASANTE ENTRE LAS DOS CAPAS DEL PAVIMENTO**, provocado por flechas del forjado o movimientos del soporte. En este caso, debe anularse la causa, limitando los movimientos elásticos de la estructura, y rehacer las zonas afectadas, que generalmente son muy localizadas.

- **POR DILATACIÓN DE ELEMENTOS INFILTRADOS EN LA INTERFASE**, tales como sales que cristalizan. En este caso, deberá localizarse la vía de infiltración y eliminarla. Si se trata de humedades de capilaridad procedentes de la base, habrá que drenar e impermeabilizar. Si es una cuestión de filtraciones, impermeabilizar el origen, demoliendo y rehaciendo el pavimento.

- **POR FALTA DE ADHERENCIA**, cuando falla la unión mortero-soporte. Puede deberse a defectos de ejecución o a la propia composición del mortero. Dado que estos errores suelen afectar a todo el pavimento, en la mayoría de los casos será necesario demoler.

El propio uso del pavimento es la causa más inmediata de las ***EROSIONES MECÁNICAS***, mientras que la humedad lo es de las erosiones físicas. Las primeras se manifiestan en primer lugar por un descascarillado superficial (de una profundidad no mayor de 1 mm) y su aparición acelera y favorece la acción de las segundas. Estas progresan sobre todo a partir de la existencia de puntos dañados por el uso, así como en bordes y juntas no selladas convenientemente. Ambas erosiones significan una pérdida irregular del material superficial.

En esta lesión, más que en otras, se manifiesta de modo acusado una tendencia generalizada a los arreglos o parches puntuales. Sin embargo, la reparación debería afectar, por lo menos, a piezas enteras delimitadas por las juntas de dilatación.

En la primera fase del proceso de reparación deberá sanearse la superficie y proceder a una abrasión unificadora, normalmente mediante máquinas especiales, que devuelva al pavimento su carácter liso.

Cuando la erosión es muy superficial y durante el proceso de saneado se ha rebajado el material en más de 3 mm, puede aplicarse un tratamiento de adherencia superficial sobre el cual se extiende una capa de resinas endurecedoras de poliéster o epoxídicas. Debe cuidarse que la capa de resinas no sea excesivamente dura en relación con el soporte, dado que ello provocaría fisuraciones y desprendimientos en el pavimento.

Los morteros autonivelantes, compuestos por mezclas de resinas y cemento, resinas epoxídicas con áridos especiales o anhidritas, y ocasionalmente reforzados con mallas de armado, permiten conseguir espesores adicionales de hasta 5 cm. Para su aplicación, es necesario proceder a un saneado más profundo que en el caso anterior, con rugosidades superiores a los 5 mm.

Al rehacer, es conveniente asegurar la resistencia de los bordes introduciendo protecciones contra golpes en los bordes y juntas, mediante perfiles metálicos o, por lo menos, sellantes elásticos. Si la erosión afecta a pavimentos de mortero de poco espesor, podemos simplemente demoler la capa y rehacer un nuevo pavimento.

D. PAVIMENTOS SINTÉTICOS

Constituidos a base de láminas o pequeñas losetas superficiales, sintéticas y flexibles, estos pavimentos se adhieren al soporte mediante pegamentos. Los bordes, verdadero talón de Aquiles de este tipo de pavimentos, padecen frecuentes levantamientos que solamente pueden ser contrarrestados por el correcto diseño de las juntas de dilatación y el respeto de las juntas constructivas durante el proceso de ejecución.

Característica especial de este tipo de pavimentos es que su carácter "provisional" o poco duradero está de algún modo asumido tanto por usuarios como por fabricantes.

LOS DESPRENDIMIENTOS dependen básicamente de la eficacia de la adherencia y de las características superficiales del soporte, que puede ser tanto rígido como flexible. Este debe ser continuo, en la medida de lo posible, y haber estado sometido a una preparación previa para obtener una superficie plana y lisa.

La formación de arrugas en las zonas centrales del pavimento o el levantamiento de los bordes son los síntomas más comunes, pudiendo deberse a:

LA DISCONTINUIDAD DEL SOPORTE, ocasionada por errores en la ejecución o por la rotura de la capa de nivelación. La lesión viene acompañada por la aparición de arrugas u ondas lineales, que siguen la discontinuidad cuando el elemento es de poco espesor o está muy erosionado por el uso.

- **CUANDO EL DESPRENDIMIENTO YA SE HA PRODUCIDO, ES NECESARIO MARCAR LA JUNTA DE RETRACCIÓN**. Para ello, pueden utilizarse perfiles formados por tapajuntas y piezas especiales para los bordes, que sujetan el pavimento y se anclan a su vez en los bordes. Puede conservarse el mismo pavimento, cortándolo linealmente por la junta y despegándolo en los bordes, para volver a pegarlo una vez colocado el perfil de la junta.

- **EL DEFICIENTE TENSADO DE LAS LÁMINAS EN SU COLOCACIÓN O SU DILATACIÓN POSTERIOR POR EXCESO DE HUMEDAD**, que pueden introducir un esfuerzo rasante superior a la capacidad de adherencia. El resultado es la aparición de ondas paralelas. Si el material es aprovechable, se procede a su levantamiento y recolocación con la tensión necesaria.

- **FALLO DEL MATERIAL ADHERENTE EN LOS BORDES**, produciendo un levantamiento de las esquinas. En este caso, será necesario levantar el pavimento y rehacerlo, no pudiendo aprovechar, en la mayoría de los casos, ni las láminas ni la capa de nivelación.

- **EL ESFUERZO RASANTE PRODUCIDO POR ROZAMIENTOS** de pisadas, mobiliario, maquinaria, etc. puede provocar el levantamiento de los bordes de loseta o láminas, sobre todo cuando se trata de materiales plásticos. Esta lesión suele aparecer paralelamente a alguno de los fallos anteriores, por lo que procederemos como hemos indicado en cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

Arquitectura sin fisuras. *Josep María Adell Argilés. Munilla-Lería. Madrid, 2000.*

Colocación de alicatados. *Juan de Cusa. C.E.A.C. Barcelona, 1993.*

Curso de patología. Tomo 3. Cerramientos, acabados y cubiertas. *AA.VV. COAM. Madrid, 1995.*

Curso de protección contra incendios en la edificación. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de Rehabilitación Nº 7. Cerramientos y acabados. *AA.VV. COAM. Madrid, 1988.*

Curso de Rehabilitación Nº 8. Acondicionamiento térmico y acústico. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Defectos de las capas de pintura. *Manfred Hess. Blume. Barcelona, 1973.*

Elementos de edificación. Revestimientos continuos. *José María Bielza de Ory. Universidad de Educación a Distancia. C.O.A.A.T. de Madrid. Madrid, 1996.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

La obra de fábrica y su patología. *Ortega Andrade. Colegio de Arquitectos de Canarias. Las Palmas, 1999.*

La prevención de daños por incendio en arquitectura. *Luis Herrera Zogby. LIMUSA. México, 1981.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Lesiones en los edificios. Síntomas. Causas. Reparación. *AA.VV. Ediciones CEAC. BCN, 1981.*

Manual del yeso. *Luis de Villanueva Domínguez-Alfonso García Santos. CIE Investigaciones Editoriales. Dossat. Madrid, 2000.*

Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1997. 2º edición.*

Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas. *Francisco Serrano Alcudia. Fundación Escuela de la Construcción. Madrid, 1998.*

Standard details for fire-resistive building construction. *Louis Przetak. Mc.Graw-Hill Book Company. EUA, 1977.*

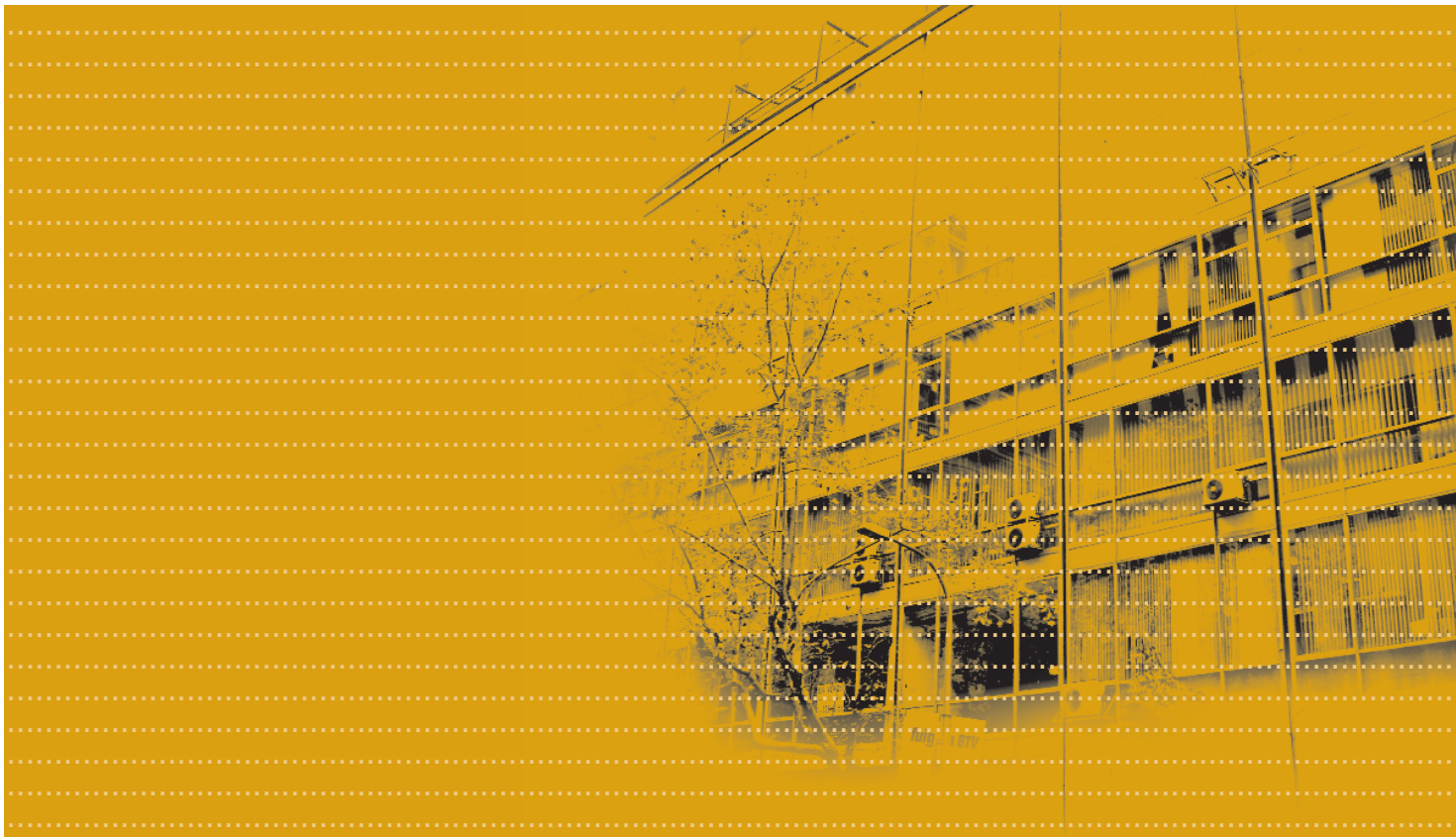
Tecnología del fuego (2 tomos). *Manuel Pascual Pons. Manuel Pascual Pons. Barcelona, 1977.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

Informes de la Construcción Nº 446. *Las grietas en las estructuras de fábrica. Un procedimiento para evaluar la forma de trabajo de éstas. Antonio José Más-Guindal Lafarga. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

Informes de la Construcción Nº 454. *Recomendaciones técnicas para la reducción de patologías en el terrazo. Bautista Carrascosa-Martín de la Morena-Mieres Royo. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*



PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

PATOLOGÍA DE PUERTAS, VENTANAS Y CRISTALES

INTRODUCCIÓN.....235

DEFICIENCIAS EN MARCOS Y HOJAS DE PUERTAS Y VENTANAS.....237

ACRISTALAMIENTO.....285

SELLADORES.....301

PATOLOGÍA DE PUERTAS, VENTANAS Y CRISTALES

INTRODUCCIÓN 235

DEFICIENCIAS EN MARCOS Y HOJAS DE PUERTAS Y VENTANAS 237

FILTRACIÓN Y CONDENSACIÓN 237

DEFECTOS DE DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN 238

DETERIORO DE ACABADOS 243

CONSIDERACIONES PARA LA REPARACIÓN DE MARCOS Y HOJAS DE PUERTAS Y VENTANAS 253

ALGUNAS MEDIDAS PREVENTIVAS EN EL DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE PUERTAS Y VENTANAS 260

PUERTAS Y VENTANAS DE PLÁSTICO 265

MUROS CORTINA VIDRIADOS 266

TRANSMISIÓN DEL FUEGO 270

OXIDACIÓN Y CORROSIÓN DE CARPINTERÍAS METÁLICAS 273

ACRISTALAMIENTO 285

CAUSAS DEL FALLO DEL ACRISTALAMIENTO 287

SUCIEDAD 295

SISTEMA DE ENCRISTALADO ESTRUCTURAL 298

SELLADORES 301

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS 301

DEGRADACIÓN DE LOS SELLADORES 303

PREVENCIÓN DE LA DEGRADACIÓN 306

ANEXO I: ALGUNOS COMENTARIOS ACERCA DE LA NORMA ISO 11600 308

BIBLIOGRAFÍA 309

INTRODUCCIÓN

En este punto vamos a analizar cuales son las problemáticas más frecuentes que se pueden encontrar en las carpinterías de uso habitual.

Las carpinterías son todas aquellas partes presentes en un edificio que pueden ser elaboradas tanto en taller como *in situ*. Las carpinterías, aunque están relacionadas en su forma y función con la obra, mantienen sus propiedades independientemente con el resto de la obra.

Las puertas y ventanas entran en la categoría de los elementos practicables.

Se trata de cualquier componente que, introducido en la abertura de una fachada, puede cerrarla y darle características de iluminación, opacidad, visibilidad y ventilación, por nombrar sólo algunas características.

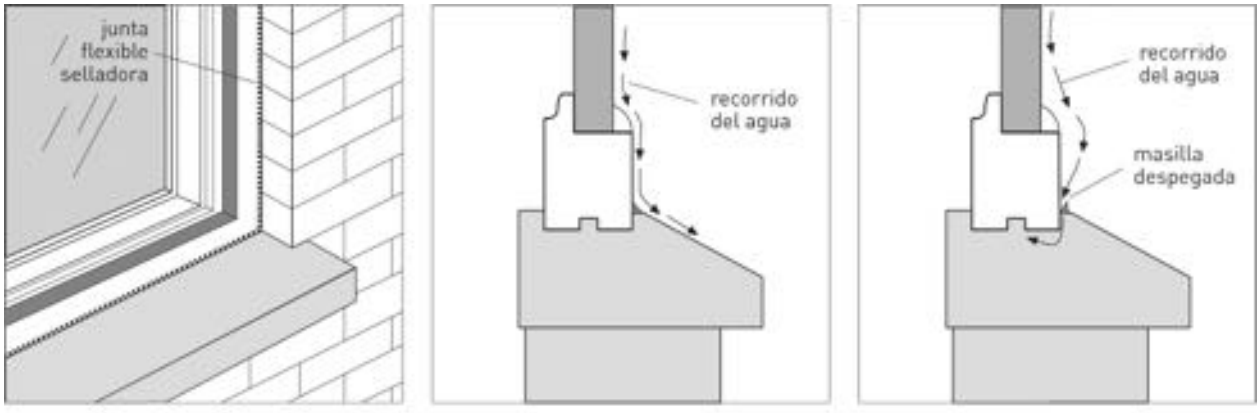
La abertura o hueco consta de una parte horizontal superior –dintel–, una parte horizontal inferior –alféizar o umbral– y dos partes verticales en los laterales –jambas–.

Después del estudio de las patologías más frecuentes en puertas y ventanas, se analizarán también las características y problemáticas relacionadas con la existencia de una fachada ligera.

Por fachada ligera se entiende toda aquella fachada que adopta valores muy reducidos en cuanto al peso (50 a 70 kg/m^2) y al espesor (10 a 15 cm).

En general, una fachada ligera consta de ciertos elementos verticales y horizontales que permiten establecer una retícula en la que se dispone un acristalado y un paño ciego u opaco y en algunos casos se agrega también un elemento practicable para facilitar la ventilación o la limpieza.

Por último, se desarrollarán ciertas cuestiones referentes al acristalamiento, en especial aquellas que inciden de manera adversa en su estado y conservación.



Sellado de la unión entre el marco de una ventana fija y el alféizar de mampostería u homrigón. Es importante controlar de forma periódica el estado del cordón sellador.

DEFICIENCIAS EN MARCOS Y HOJAS DE PUERTAS Y VENTANAS

Los marcos de puertas y ventanas y sus acabados pueden fallar por diversas razones.

Analizaremos los problemas derivados de las deficiencias en el diseño, de la elección inapropiada del tipo de puerta, marco o herraje, o los resultantes de una fabricación e instalación inadecuadas o de un traumatismo imprevisto.

Por otro lado, los materiales escogidos pueden verse perjudicados, si los mismos no son los apropiados o si fueron mal preparados para el uso que van a recibir.

Las deformaciones, las erosiones, los desgastes prematuros y una apariencia no deseada son las consecuencias más comunes de este tipo de errores.

Por ejemplo, un umbral de acero inoxidable responderá mejor que otro de madera en el caso de una puerta franqueada de forma intensiva; las secciones del marco de una hoja de una puerta corrediza, si bien suficientes para soportar el acristalamiento, pueden terminar no resistiendo un uso frecuente o descuidado.

Para finalizar, una protección inadecuada, el mantenimiento insuficiente y el natural envejecimiento por el paso del tiempo son factores que pueden favorecer el deterioro de los materiales y perjudicar el funcionamiento de las carpinterías en general.

FILTRACIÓN Y CONDENSACIÓN

INFILTRACIÓN: El fenómeno de entrada de agua desde el exterior debida a la succión capilar ejercida por una fisura o junta abierta de considerable actividad capilar se conoce como infiltración, que tiene por consecuencia, muchas veces, la aparición de manchas de agua.

Este efecto puede observarse en el interior de un local debajo de las ventanas y en los tabiques, en su unión vertical con los pilares. El agua puede entrar por el encuentro del alféizar con los telares o costado del hueco de ventana y por debajo del mismo, tras superar el goterón, en su encuentro con el cerramiento.

En los dos casos el agua se adhiere por tensión superficial al alféizar y no se desprende de él hasta descargar en el tabique que cierra la cámara, con lo que se origina la mancha y aumenta el puente térmico de este punto.

Por otro lado, el agua puede penetrar por la fisura del encuentro de la fábrica con el marco y manifestarse en una mancha húmeda, de clara infiltración, a lo largo del perímetro de la carpintería en cuestión.

Una solución posible consiste en introducir en la junta horizontal interior una plancha de zinc, que no permita la entrada de agua del exterior y facilite la salida de la que haya logrado penetrar.

Cuando el marco se aleja del paramento exterior resulta más fácil proteger la junta expuesta al viento, empotrando el marco en el muro o rellenando el ángulo con mortero.

Una medida complementaria que puede colaborar en la estanqueidad de estas juntas consiste en el empleo de masillas de sellado, que deben ser elásticas y de envejecimiento lento. Una masilla dura y poco adherente suele desprenderse pronto y resultar contraproducente ya que el agua, que resbala por la puerta o ventana, puede quedar canalizada hacia el interior en vez de seguir su recorrido hacia afuera.

Se ha notado que, en lo que respecta a las ventanas y puertas corredizas, una de las quejas más recurrentes se refiere a las filtraciones, un problema que necesita reparación inmediata para evitar el daño de materiales interiores. Las filtraciones de agua pueden ser causadas por un sellador deteriorado, por su ausencia o por el deterioro o falta de burletes.

En las unidades corredizas las filtraciones pueden producirse por perforaciones de desagüe atascadas –en la guía– lo cual puede empeorar si hay agua cayendo directamente sobre ellas. La reparación requiere, en primer lugar, encontrar la razón de la filtración. Luego se ha de reparar el burlete o rearmar el perímetro, limpiando las perforaciones de desagüe, y por último, y si corresponde, se aleja o protege la ventana de esas caídas de agua libre.

FILTRACIONES DE AIRE: aunque no tan urgentes como las de agua, suelen resultar más costosas. Ante todo constituyen una causa importante de pérdida de calor en el edificio, lo que puede deberse a unos selladores deteriorados o ausentes. La reparación consiste, en consecuencia, en resellar alrededor de las ventanas o puertas.

CONDENSACIÓN: se produce cuando la temperatura de la cara interior del muro alcanza valores inferiores a la temperatura de saturación del aire que existe en el interior del local. Los síntomas de este efecto pueden observarse con más facilidad en el vidrio de la ventanas.

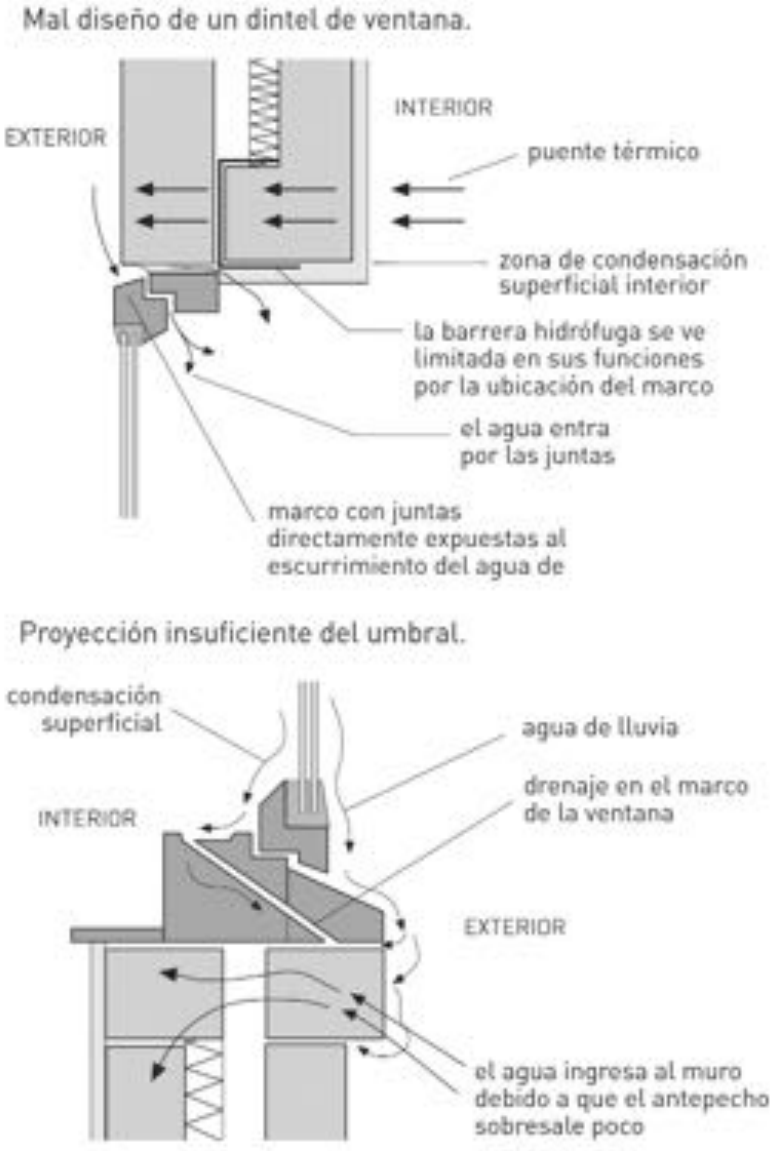
Es de suma importancia evitar que el agua allí depositada pase a paramentos o a zonas que no están preparadas para ser humedecidas, por lo que hay que cuidar que dicha agua encuentre salida al exterior a través de orificios practicados en el marco inferior de la carpintería y que sea evacuada hacia el alféizar. Por otro lado, es fundamental controlar que estos orificios no estén tapados para evitar derrames o filtraciones hacia el interior del local.

DEFECTOS DE DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN

A. DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO

Ciertas lesiones pueden surgir como consecuencia de diseñar una puerta o ventana sin tener en consideración las cargas que la misma deberá soportar. Este error incluye la utilización de metales demasiado delgados, la elección de herrajes de cierre muy débiles y problemas en la selección de bisagras, ya sea por resultar insuficientes, por ser del tipo equivocado o por estar situadas a demasiada distancia unas de otras.

Si se eligen formas inadecuadas para los marcos pueden generarse secciones que no encajen bien entre sí y se pueden forzar juntas y superficies que no alinean –algo delicado que hay que evitar– y, si no se diseñan los cierres adecuados para los componentes de un marco, se puede llegar a tener juntas separadas y la consiguiente filtración de aire y agua.



Esquema de las consecuencias de un diseño pobre o mala construcción de los marcos de ventanas.

Otro error relacionado se halla en elegir un método de unión inadecuado, por ejemplo al intentar que los componentes del marco de aluminio se fusionen o suelden en el campo o que un metal delgado se fusione a uno grueso. Asimismo, pretender que las uniones de punta por los extremos se usen en paneles de aluminio anodizado o de aleaciones de cobre puede dar una apariencia insatisfactoria, ya que probablemente no coincidan en el tono del color.

Con respecto a las juntas, los metales muy pulidos unidos por soldaduras y las aleaciones de cobre fundidas pueden devenir en una junta defectuosa o poco atractiva.

Hay que tener especial cuidado en no hacer una selección inapropiada de puertas y tipos de marcos. Elegir medidas de puertas y la operación de la puerta sin considerar los acabados adyacentes puede desajustar las puertas y dañar los acabados. Un error similar viene de no utilizar las tolerancias recomendadas, lo que puede traer problemas en la puerta o burlete.

Con respecto a los elementos utilizados, hay que tener en cuenta que elegir bisagras, ejes o pivotes demasiado pequeños para el peso de las puertas puede resultar en puertas combadas o incluso inservibles.

El mismo efecto se consigue si los ejes y bisagras son insuficientes o si se han colocado en sitios inadecuados o muy distantes entre sí.

Los cerrojos, pestillos o pasantes deben tener trabas metálicas para que sean más confiables y se aconseja no poner picaportes corrientes en entradas para personas minusválidas porque resultan más difíciles de abrir. Por último, seleccionar los elementos equivocados para una puerta giratoria puede hacer que ésta gire muy rápido o demasiado lento.

Usar ventanas y puertas de vidrio corredizas con problemas de hermeticidad y puentes térmicos puede traer puntos fríos y el mal funcionamiento del sistema de ventilación y calefacción.

Vidrio aislante	Longitud y altura	Área hasta 3 m^2	±2 mm
		Área de más de 3 m^2	Consultar al fabricante
	Espesor	Vidrio < 6 mm de espesor	±1 mm
		Vidrio > 6 mm de espesor	±1,5 mm
Marcos (tamaño ajustado)		Madera o metal	±2 mm
		PVC-u	±4 mm a 23 ºC
		Concreto	Consultar al fabricante

Nota: Una desviación de ±2 mm representa una tolerancia de 4 mm.

TOLERANCIAS MÁXIMAS EN LAS MEDIDAS DE VIDRIOS Y MARCOS DE CARPINTERÍAS
(Fuente: Amstock, Joseph: "Manual del vidrio").

Es casi imposible balancear un sistema mecánico cuando las ventanas y puertas de este tipo permiten una transmisión excesiva de calor. En las ventanas y puertas de vidrio corredizas de madera este error es más probable que se relacione con el cristal elegido que con la ventana en sí misma.

Un problema asociado viene de utilizar ventanas y puertas de metal y vidrio sin tener en cuenta los puentes térmicos cuando la humedad interior es alta.

La combinación de humedad alta y un metal frío puede llevar a la formación de gruesas capas de condensación.

Los perfiles de aluminio termoaislantes de múltiples cámaras de aire con paredes finas, proporcionan buenos resultados y un gran potencial de mejora adicional de la capacidad aislante de las carpinterías que los contienen. De esta manera es posible satisfacer las exigencias con respecto a la mejora de los coeficientes de transmisión térmica en las uniones para marcos de aluminio, con rotura de puente térmico, y evitar las condensaciones interiores.

Aunque la colocación del vidrio desde dentro usando contravidrios instalados con tornillos puede evitar que los paños sean expulsados por la ventana, estas ventanas tienen más probabilidades de filtrar que aquellas en las que el vidrio es colocado desde fuera. Sin embargo, el vidriado por el exterior también tiene sus problemas. Los paños pueden ser succionados de la ventana si las presiones negativas crecen, lo que a veces ocurre en el sotavento de los edificios altos.

No podemos concluir este repaso por los errores más frecuentes de diseño sin recordar que una ventana o puerta de vidrio corrediza se puede dañar si es demasiado delgada para las cargas del viento que debe soportar y que no se debe caer en el error de elegirla muy liviana si se destina para el uso intenso de comercio o industria.

Finalmente, es aconsejable adquirir mandos a distancia o bien utilizar sistemas de apertura de conjunto para ventanas de difícil acceso o que deben ser abiertas en conjunto. Aunque ninguno de estos dos problemas puede dañar realmente a los elementos o a la propia ventana, dificultan la operación y el mantenimiento de la misma.



Una elaboración precaria no tiene solución frente a los posibles fallos. Lo único que se puede hacer es proceder una construcción de mínima calidad según estándares aceptados.



Muchos de estos equipos de aire acondicionado producen filtraciones, sobrecarga en las ventanas y puntos débiles en los encuentros nuevos que generan. Asimismo desmejoran el aspecto general de la fachada.

B. DEFICIENCIAS EN LA FABRICACIÓN

Los marcos o puertas con fabricación deficiente traen problemas que aparecen con frecuencia por no respetar los requerimientos del diseño o las especificaciones de la industria. Varios de los errores de fabricación tienen que ver con las juntas, muchas veces mal soldadas.

Por ejemplo, si no se usa flujo antes de soldar una junta es posible que el metal soldante o el material de aporte no se adhiera al metal y que la junta falle.

Otro error común es unir los componentes de manera que las esquinas o intersecciones no están cuadradas y alineadas correctamente y las juntas no quedan bien ajustadas.



El muro construído por detrás de la baranda metálica, el cerramiento deficiente sobre el mismo y el agujero de la ventilación provocarán filtraciones de agua desde el exterior.

Ante todo es importante tener presente que los materiales dañados no deben ser usados y, si se dañan durante o tras la fabricación, deben ser reparados o sustituidos por otros nuevos. Lo mismo ocurre con las membranas u otros preacabados dañados, que deben ser retocados antes de que pierdan la protección necesaria frente a la oxidación u otro tipo de corrosión.

Asimismo, no proveer agujeros de purga o perforaciones de desagüe –ni mantenerlos limpios– en la parte inferior del marco de las ventanas de metal y en las guías de las ventanas y puertas de vidrio corredizas de madera y metal, puede permitir filtraciones o una acumulación de condensación. Estas perforaciones pueden atascarse tanto durante la construcción como después.

Por otro lado, las ventanas y sus particiones y recortes, así como las puertas de vidrio corredizas que se instalan sin permitir el margen necesario de expansión y contracción, pueden filtrar, torcerse, curvarse o salirse del hueco.

C. DEFICIENCIAS EN LA INSTALACIÓN

Es esencial la correcta preparación e instalación de los marcos y puertas de metal si se quiere conseguir su correcto funcionamiento. Probablemente la causa principal de los fallos resultantes de una instalación defectuosa se encuentra en no respetar el diseño y las recomendaciones de los fabricantes y normas reconocidas.

No seguir el diseño suele implicar el uso de anclajes, cierres y otros materiales que pueden oxidarse o corroerse en ambientes muy húmedos o en contacto directo con mampostería u hormigón. Si, de todos modos, se usan materiales propensos a la corrosión, se aconseja protegerlos con una aplicación bituminosa u otro recubrimiento apropiado. Otro de los errores posibles está en usar anclajes o cierres de tamaño inapropiado para la instalación, bien muy pequeños o débiles para desempeñar su función, bien insuficientes o en la ubicación incorrecta.

Instalar un marco que no esté diseñado para soportar las cargas del edificio que se le transmitirán traerá problemas con el tiempo. El responsable de la instalación ha de tener mucho cuidado al instalar puertas y marcos de manera que sus variados componentes terminen en el plano adecuado y con tolerancias aceptables, para que la unidad se halle en la ubicación correcta y con el nivel y la alineación adecuadas.

De lo contrario, un alineado inadecuado puede forzar las cargas de manera excéntrica, lo que puede dañar al marco o la puerta. Asimismo, ha de sellar alrededor del perímetro del marco de metal para evitar filtraciones de aire y agua.

Un error que suele cometerse con las vidrieras de aluminio consiste en no remover los ácidos anodizantes del aluminio. Si el ácido usado para anodizar el aluminio no fue bien retirado, puede llegar a lavar y dañar al aluminio y superficies adyacentes.

Los ácidos atrapados en las secciones huecas constituyen un problema particular, ya que son ácidos atrapados en juntas entre secciones ensambladas. Los agujeros de goteo suelen necesitarse en las secciones huecas y ensamblados para asegurar la correcta eliminación de los ácidos.

Con respecto a los marcos de madera, si no se prepara correctamente perímetro del marco la instalación tendrá un aspecto no deseado y se corre el riesgo de que aparezcan filtraciones de aire o agua. El daño en los acabados de fábrica de puertas y ventanas durante el traslado o montaje es un problema mayor, que debe ser reparado lo antes posible para evitar nuevos daños.

Una importante causa de filtraciones de agua en los bordes de las ventanas y las puertas de vidrio corredizas es la omisión o bien la instalación incorrecta de los tapajuntas.

Las ventanas y puertas corredizas que no se han anclado bien con el tiempo pueden aflojarse, romper su traba perimetral y permitir la entrada de aire o agua. Las unidades flojas también pueden vibrar y golpetear con el viento y terminar por producir lesiones en el acristalamiento.

Cuando se inician modificaciones en un edificio con la intención de volverlo más confortable, sin el asesoramiento adecuado, pueden surgir varios problemas. Por ejemplo, cuando se decide modernizar el sistema de calefacción y/o instalar aire acondicionado, ya que intrusiones de este tipo pueden provocar filtraciones y la vibración puede romper el vidrio e incluso dañar la ventana.

Finalmente, otro error al instalar puertas y marcos de metal consiste en no quitar sus cintas y recubrimientos extraíbles enseguida después de completada la instalación. Estos materiales se vuelven difíciles de quitar, incluso imposibles, tras una exposición prolongada al sol.

D. ENVEJECIMIENTO NATURAL

Es un fenómeno que afecta a todos los aspectos de las puertas y ventanas, por lo general desgastando los componentes. Aun así, la mayoría de los problemas de este tipo puede retrasarse varios años si se realiza un mantenimiento periódico de las unidades.

DETERIORO DE ACABADOS

Las pinturas y recubrimientos son esenciales a la hora de determinar el aspecto y la protección que se quiere dar a las carpinterías y fachadas. Sin embargo, una aplicación deficiente, una incorrecta preparación de superficie, un soporte en malas condiciones o un sistema de pintado inadecuado pueden generar problemas a tratar.

Cuando se presenta un problema se intenta implicar al fabricante de la pintura, pero muchas veces resulta que no se ha definido nada con precisión y, por tanto, no es posible delimitar responsabilidades. Ante todo, entonces, un primer paso necesario y recomendable consiste en la redacción de un pliego de condiciones que defina el sistema de recubrimiento y los requisitos necesarios para lograr una buena protección.

El pliego debe dejar constancia de los beneficios que se espera obtener con el sistema de recubrimiento elegido. Debe definir las características y estado del elemento a pintar, del soporte y el diseño, la durabilidad que se pretende garantizar, las solicitudes que tendrá que soportar el recubrimiento y los posibles agentes de degradación.

AGENTES DE DEGRADACIÓN MÁS FRECUENTES

Comencemos por analizar los principales factores que pueden afectan a la aplicación de la pintura:

- ***GRADO DE HUMEDAD**:* para evitar condensaciones, se aconseja una humedad relativa inferior al 80 %. Las pinturas de secado rápido, impermeables a la humedad, son menos afectadas por las condiciones atmosféricas adversas que las de secado lento.

- ***TEMPERATURA**:* se recomienda pintar por encima de los 5 ºC, aunque los mejores resultados se obtienen al hacerlo entre 10 ºC y 30 ºC. Las bajas temperaturas permiten la condensación de humedad sobre las superficies metálicas, retrasando o imposibilitando el secado según el tipo de pintura aplicado; las altas temperaturas causan una evaporación anormal del disolvente y dificultan su aplicación. Las pinturas pueden verse afectadas por cambios de la temperatura superficial de las terminaciones y por las heladas, que pueden originar desconches como consecuencia de las variaciones dimensionales y las tensiones que ellas generan en el revestimiento.

- ***CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**:* siempre es perjudicial, la de tipo gaseoso afecta al secado y la de tipo sólido, que puede impedir la buena adherencia entre capas, genera suciedad por retención de diversos agentes contaminantes (polvo atmosférico, humos y gases emitidos por la industria, motores de los vehículos, calefacciones, hidrocarburos, CO-CO_2, NO y otros óxidos de nitrógeno). Los factores que influyen permitiendo su retención son el agua de lluvia, que introduce la suciedad en los poros; el viento, con variable influencia en relación con la altura del edificio; las características del paramento en cuanto a su porosidad; el diseño de la fachada y, también, ciertos problemas causados por una película de suciedad, como en el caso de las pinturas aplicadas con mala adherencia y consecuentes desconches.

- ***EFLORESCENCIAS**:* se producen por la cristalización de las sales contenidas en los materiales que son arrastradas por el agua hasta la superficie.

- ***RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**:* aumenta con la altura respecto al nivel del mar e incide degradando los polímeros empleados en la fábrica de pinturas y barnices. Puede alterar el color de los pigmentos, sobre todo los de tipo orgánico.

- ***AMBIENTE MARINO**:* la cinética del proceso de corrosión es bastante más elevada cerca del mar.

Muchas patologías son causadas por la falta de acabado en esquinas y rincones, por fisuración por dilatación térmica y por no sellar los encuentros con masillas elastoméricas impermeables. Estas masillas tienen una vida útil limitada y un envejecimiento desconocido por lo que los profesionales deben conocer la necesidad de su reposición, del mismo modo que se repone un vidrio roto.



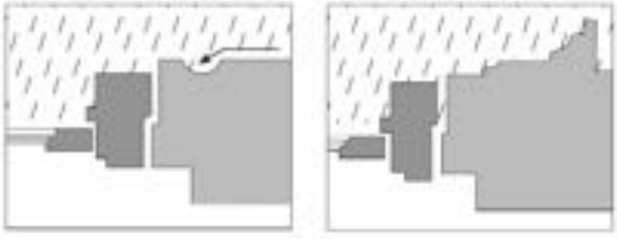
Chapa de zinc entre marco y pared para impedir la entrada de agua.



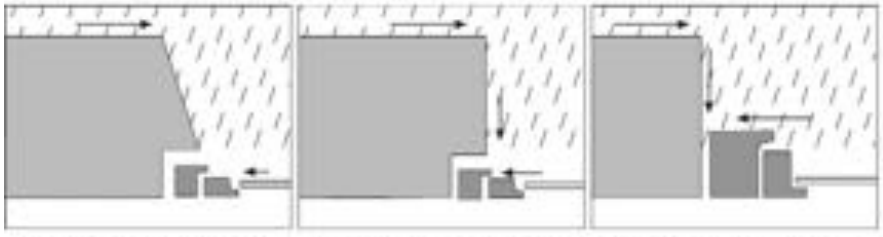
Canaleta que rompe la capilaridad para evitar que el agua llegue al interior y decante antes. No es la mejor solución.



Mala solución para el encuentro entre el marco y la pared. Facilita la penetración de agua.



Hendidura o resalto sobre muro para evitar la escorrentía de agua de lluvia sobre la fachada hacia la ventana.



Colocación del marco de la ventana o puerta lejos del plano de la fachada para minimizar la penetración de agua de lluvia por escurrimiento.

Propuestas de diseño para evitar las filtraciones de agua de lluvia en los marcos de puertas y ventanas.



Esta pintura se ha deteriorado permitiendo el paso del agua hacia la madera, la cual se ha hinchado y empezado a desprender el resto de la pintura existente.

ACABADOS: TIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN

El procedimiento de aplicación de una pintura depende del tipo y consistencia del producto y de las características del elemento a pintar. Asimismo, el espesor de la película seca depende de ambos factores.

La viscosidad de la pintura debe ser la adecuada, ni demasiado fluida ni demasiado espesa, pues la facilidad de aplicación es una propiedad muy conveniente en una pintura que deba aplicarse con brocha. Lo deseable es que una pintura tenga una buena ***BROCHABILIDAD***, pero no excesiva como para facilitar que se extienda demasiado y dé una capa muy delgada en detrimento de su poder de cubrición.

Sobre las estructuras metálicas, columnas y vigas de acero suelen utilizarse las pinturas o recubrimientos ***INTUMESCENTES***, que bajo la influencia del calor de una llama reaccionan cambiando su estructura fisicoquímica y forman una capa esponjosa de varios milímetros de espesor que al carbonizarse se convierte en una cámara alveolar aislante del calor. De esta manera, protegen retardando el calentamiento del substrato o soporte durante un cierto tiempo, lo que depende del grosor de la capa aplicada.

Este tipo de pinturas no debe confundirse con los productos ***IGNÍFUGOS***, los cuales, por su especial composición, no arden ni propagan la llama bajo el efecto del calor de un incendio o fuego.

Otra cualidad buscada puede ser la ***HIDRORREPELENCIA***, que se refiere a la capacidad de una película de pintura seca para no dejarse mojar fácilmente por el agua. Las gotas, sueltas, por su «efecto perlante» resbalan y dejan la superficie prácticamente seca.

Todos los recubrimientos protectores de metal, excepto los de bajo coste, contienen pigmentos inhibidores de la corrosión. Entre los más eficaces están el minio, el carbonato básico de plomo, el cromato de plomo, el óxido de zinc, el amarillo de zinc y el polvo de zinc, pero el más usado y el que brinda mejores resultados en ciertos tipos de imprimaciones es el primero. Es conveniente que sus componentes carezcan de elementos solubles en agua, razón por la cual se prefieren la mica y los talcos laminares o en forma de placas ya que, al igual que el polvo de aluminio, aumentan la impermeabilidad frente a la humedad.

Todas las imprimaciones de conservación de uso general contienen cantidades considerables de aceite de linaza, reforzadas con resinas sintéticas de secado rápido, que les confieren una buena consistencia por capa y protegen en condiciones ordinarias. Para las imprimaciones especiales (manchas de humedad, sal, álcalis y ácidos) se utilizan principalmente los barnices fenólicos y otros sintéticos. Por otra parte, las pinturas de aluminio proporcionan un excelente recubrimiento de protección, ofrecen gran resistencia a la humedad y una gran durabilidad.

La imprimación debe tener una buena adherencia al metal, ser impermeable a la humedad y al oxígeno para evitar la posible corrosión y ser flexible, pero dura y tenaz, para resistir el deterioro mecánico y la abrasión. Se aconseja efectuarla dentro de las cuatro horas siguientes a la preparación y limpieza de la superficie.

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: es aquella que opone una película seca a ser desgastada o destruida por el frote de un agente mecánico externo (por ejemplo, el deslizamiento de objetos, el tráfico de vehículos o personas y la acción del viento con polvo o arena).

Cuando la abrasión se produce en presencia de agua y detergente, se le conoce como resistencia al frote húmedo.

Los elementos construidos en zinc o hierro galvanizado requieren un tratamiento perfecto en la preparación de su superficie, el cual consiste en un lavado con disolventes, pudiéndose crear un agarre mecánico por tratamiento con chorro de arena o alcohol y ácido fosfórico. Es recomendable utilizar siempre imprimaciones especiales para mejorar la adherencia de la pintura al acabado.

Las pinturas ordinarias reaccionan con el zinc formando sales debajo de la capa de recubrimiento, lo cual comporta pérdidas de adherencia parciales, por lo que será aconsejable el empleo de imprimaciones de polvo de zinc dada su gran adherencia y sus cualidades inhibidoras de la corrosión.

El plomo, cobre y bronce, tanto si constituyen toda la pieza, como si están depositados sobre substratos de acero o hierro, pueden prepararse normalmente para su pintado posterior mediante operaciones de limpieza, tales como el desengrasado, seguido en algunos casos de un tratamiento con fosfato de oxalato para proporcionar un agarre mecánico adecuado.

Con respecto a la función de los acabados en las carpinterías de madera, ante todo es importante recordar que, si bien la madera se dilata y contrae poco ante los movimientos térmicos, por efectos de la humedad puede sufrir hinchamientos excesivos. De esta manera, los acabados no sólo tienen por objetivo una función estética, sino que se espera que regulen la hidrometría de la madera hasta valores aceptables.

SISTEMA	PROCESO DE TRABAJO	USO RECOMENDADO
PINTURA AL ÓLEO Aspecto: brillo poco intenso Calidad: elemental	Sellado de nudos. Mano de imprimación. Plastecido de golpes (no de vetas ni de poros). Aplicación a brocha de dos manos de pintura al óleo.	Recordar que pierde brillo y se calea al exterior. En interiores los blancos o colores claros amarillean mucho. Preparación y acabado poco esmerado.
ESMALTE GRASO Aspecto: brillante/satinado Calidad: normal	Lijado de superficie. Sellado de nudos. Mano de imprimación. Plastecido de golpes y lijado. Mano de fondo. Aplicación a brocha, rodillo o pistola de una mano de esmalte graso.	Para interiores y exteriores, buena retención de brillo al interior. Buena lavabilidad. Al exterior pierden brillo y tienen menos duración que los esmaltes sintéticos.
ESMALTE SINTÉTICO Aspecto: Brillante/satinado/mate Calidad: normal	Lijado de superficie. Sellado de nudos. Mano de imprimación. Tendido de plaste. Afinado. Mano de fondo. Aplicación a brocha, rodillo o pistola de una mano de esmalte sintético.	Para exteriores e interiores. Buena retención de brillo al exterior. Excelente lavabilidad. No se recomienda el mate para exteriores.
ESMALTE SINTÉTICO Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: lujo	Lijado de superficie. Sellado de nudos. Mano de imprimación selladora. Tendido de plaste. Lijado. Mano de fondo. Replastecido de faltas. Lijado esmerado, 2ª mano de fondo. Afinado. Acabado con una mano de esmalte a brocha, rodillo o pistola.	Para exteriores e interiores. Buena resistencia de brillo al exterior. Excelente lavabilidad. Terminación muy esmerada. No se recomienda el mate para exteriores.
ESMALTE ACRÍLICO Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: normal	Lijado de la madera. Sellado de nudos, clavos y partes metálicas. Mano de imprimación selladora. Plastecido. Aplicación a brocha, rodillo o pistola de dos manos de esmalte acrílico.	En interiores y exteriores. Buena lavabilidad y resistencia a la intemperie. No amarillea.
LACADO AL ESMALTE Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: lujo	Lijado a fondo de la superficie. Sellado de nudos. Mano de imprimación. Dos tendidos de plaste especial. Lijado muy esmerado. Mano de fondo. Replastecido de faltas. Primera mano de esmalte lacado a brocha o pistola. Mano final de esmalte lacado a brocha o pistola.	Para interiores y exteriores. Excelente lavabilidad. Buena retención de brillo al exterior. Muy buen aspecto final tipo laca.
LACADO NITRO Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: lujo	Lijado a fondo de la superficie. Sellado de nudos. Mano de imprimación especial. Dos tendidos de aparejo. Lijado esmerado.0 Mano de laca pigmentada, a pistola. Replastecido. Mano final de laca pigmentada a pistola. Pulimentado final.	Para interiores donde se desee máxima calidad en el aspecto y terminación del acabado. Como toque final se suelen dar veladuras.

SISTEMAS DE PINTADO SOBRE MADERA

(Fuente: Manual de la pintura en la construcción).

SISTEMA	PROCESO DE TRABAJO	USO RECOMENDADO
ESMALTE EPOXI Aspecto: brillante Calidad: especial	Lijado de la superficie. Mano de imprimación selladora epoxi. Plastecido con masilla adecuada. Lijado. Mano de fondo epoxi. Afinado. Aplicación de una mano de esmalte epoxi, a brocha, rodillo o pistola.	En interiores y exteriores cuando se desee dar a la madera un acabado de gran resistencia al desgaste, a atmósferas químicas e industriales agresivas, en laboratorios, fábricas, hospitales, salas de medicina nuclear, etc. Totalmente lavable. Al exterior pierde brillo y color.
ESMALTE POLIURETANO Aspecto: brillante Calidad: lujo	Lijado a fondo de la superficie. Mano de imprimación selladora epoxi o poliuretano. Plastecido con masilla de la misma naturaleza o de poliéster. Lijado esmerado. Mano de fondo de poliuretano de color parecido al del acabado. Replastecido y afinado de la superficie. Aplicación de dos manos de acabado de poliuretano alifático.	En interiores y exteriores cuando se desee dar a la madera un acabado altamente decorativo y al mismo tiempo gran resistencia al desgaste, a atmósferas agresivas, laboratorios, fábricas, etc. Totalmente lavable. Al exterior retiene extraordinariamente bien su alto brillo y su color.
BARNIZ GRASO Aspecto: brillante Calidad: normal	Lijado de la madera. Opcionalmente: aplicación de tinte a brocha o muñeca. Mano de penetración con barniz diluido, aceite secante o productos especiales para la conservación de la madera. Lijado. Aplicación a brocha de dos manos de barniz graso.	En interiores y exteriores. Para la madera expuesta a la intemperie es preciso usar calidades especialmente fabricadas para este fin.
BARNIZ SINTÉTICO Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: normal	Lijado de la madera. Opcionalmente: aplicación de tinte a brocha o muñeca. Mano de penetración con barniz diluido, o productos para la conservación de la madera. Lijado. Aplicación a brocha de dos manos de esmalte sintético.	En interiores y exteriores. Para la madera expuesta a la intemperie es preciso usar calidades especialmente fabricadas para este fin, con protectores de UV. No se recomienda el mate para exteriores.
BARNIZ O LACA NITRO Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: normal	Lijado de la madera. Opcionalmente: aplicación de tinte a brocha o muñeca. Mano de laca tapaporos. Lijado. Aplicación a muñeca, brocha o pistola de una mano de laca, como terminación a poro medio abierto.	Para acabados interiores de buen aspecto y agradable al tacto.
BARNIZ O LACA NITRO Aspecto: brillante/satinado/mate Calidad: lujo	Lijado de la madera. Opcionalmente: aplicación de tinte a brocha o muñeca. Mano de laca tapaporos. Lijado esmerado. Aplicación a muñeca o pistola de dos manos de laca, terminación a poro cerrado con pulimentado final.	Para acabados interiores de máxima calidad y belleza.
BARNIZ DE POLIURETANO Aspecto: brillante/satinado/lujo Calidad: lujo	Lijado de la madera. Opcionalmente: aplicación de tinte a brocha o muñeca. Mano de fondo de poliuretano. Lijado esmerado. Aplicación a muñeca o pistola de dos manos de barniz poliuretano, terminación a poro cerrado.	Para interiores. Donde se desee extremada resistencia al uso y desgaste intensivo, a las manchas, etc. También para exteriores, con calidades especiales.

SISTEMAS DE PINTADO SOBRE MADERA

(Fuente: Manual de la pintura en la construcción).

Antes del momento del acabado se debe impregnar la madera con un producto insecticida y fungicida apropiado y dejar pasar el tiempo necesario para reducir las posibilidades de incompatibilidad química entre éste y la terminación.

Las pinturas aplicadas deben ser estancas al agua de lluvia y elásticas para permitir los movimientos inevitables de la madera y se han de utilizar sobre la madera en seco, dando una capa de imprimación, otra capa intermedia y dos capas de acabado. La vida útil de este proceso se considera del orden de 3 a 5 años. En lugar de la pintura, se pueden aplicar cuatro o cinco manos de un acabado de barniz, con un tiempo de vida máximo de 3 años.

Por último, queremos añadir que en algunas situaciones y ya sea por criterios conceptuales o históricos, puede ser necesario aplicar técnicas y sistemas tradicionales antiguos. Este suele ser el caso del acabado a base de lino en caliente, que da a la madera una pátina característica y, si bien permite una buena conservación de la misma, se requiere la renovación del proceso.

POSIBLES FALLOS DURANTE LA APLICACIÓN DE LA PINTURA

Si bien excede los objetivos de esta obra realizar un desarrollo exhaustivo de cada uno de los defectos que pueden tener lugar en la pintura aplicada a los elementos a los que aquí hacemos referencia, sí es posible señalar algunos de los fallos más frecuentes y los medios para corregirlos.

PIEL DE NARANJA Y EFECTOS SIMILARES

Es el aspecto de relieve que presenta la pintura aplicada a pistola y que no se ha extendido o nivelado bien. Esto puede ocurrir por la propia composición del producto, por una evaporación demasiado rápida de los disolventes o por una aplicación reseca por demasiado aire o distancia.

La aparición de ondulaciones y colgados se debe a un exceso de fluidez como consecuencia del grosor de las capas y la fijación lenta de la pintura, sobre todo en las superficies verticales. Estas irregularidades se perciben mejor en los acabados brillantes que en los mates.



Siempre es conveniente examinar la pintura exterior todos los años. La pintura en zonas de poca o ninguna luz solar directa es donde aparecen primero los fallos.



Las ampollas indican que la humedad atrapada está intentando salir a la superficie. Raspar y retocar los puntos donde aparezca este problema.

Para corregir estos defectos, cuando ello es factible, se debe frotar con papel esmeril resistente al agua –a mano o de forma mecánica– hasta que se consigue una superficie fina y uniforme. Esta operación puede facilitarse muchas veces si se utiliza una solución diluida de jabón blando. A continuación se procede a la pulverización de una capa de solvente o laca diluida. Si se trata de lacas de celulosa, puede ser necesario un pulido fuerte con pasta de pulido.

CALEO, CALCINADO O ENYESAMIENTO

Es la aparición, con el tiempo, de una capa de polvillo blanco en la superficie de la película de pintura expuesta a los rayos del sol. Las causas están en la degradación o ataque de los rayos ultravioleta que pueden destruir el ligante y dejar sueltos los pequeños granos de pigmento blanco o de cargas. Este problema se identifica al pasar la mano y observar cómo queda manchada de blanco y con sabor de tiza o yeso, o bien si al lavar o frotar aparece el color original de las capas no destruidas. Si bien esta degradación casi siempre es blanca, puede producirse –en mucho menor grado– en colores intensos.

CRÁTERES

Es el nombre que reciben unas pequeñas huellas circulares que se presentan en los esmaltes cuando se los aplica sobre superficies contaminadas de siliconas o grasa, que impiden que la capa de pintura fresca humecte bien en toda su extensión, repeliéndola alrededor de los puntos donde se concentra una buena cantidad de estos contaminantes.

PÉRDIDA DEL COLOR ORIGINAL DE LA PINTURA (DECOLORACIÓN)

Suele ocurrir por acción de los rayos del sol, que afectan y destruyen a ciertos pigmentos orgánicos. Con el fin de evitar este problema, se suele recurrir a unos pigmentos específicos para interiores y a otros para el pintado de exteriores, que ofrezcan una buena resistencia. Se considera que los tonos pálidos y los colores amarillos y rosa puros son los más sensibles, por lo que se debe extremar la selección de pigmentos. Por el contrario, los pigmentos «térreos», a base de óxidos de hierro, son los más sólidos a la luz.



El descascarillado es indicio de problemas de humedad persistente, o bien por una filtración o por una barrera de vapor defectuosa. Raspar y lijar las zonas dañadas y retocar con nueva imprimación y pintura.



El cuarteado se produce normalmente en superficies a las que se han aplicado muchas manos de pintura. También puede deberse a una preparación inadecuada de la superficie o bien se ha dejado poco tiempo de secado entre las sucesivas manos de imprimación y pintura.

ESTRÍAS, APARIENCIA GRANULOSA Y FORMACIÓN DE LISTADOS

Los recubrimientos, cuyos pigmentos no se han molido bien, pueden presentar estos defectos cuando se aplican a brocha, a inmersión o mediante rodillo. La medida preventiva más efectiva consiste en agitar siempre las pinturas, ya sea por medios mecánicos o bien con una varilla limpia. Los envases grandes deben almacenarse apoyados por sus lados y hay que hacerlos rodar o invertir a intervalos regulares para impedir que se formen sedimentaciones. Asimismo, es conveniente almacenar las latas colocadas de arriba abajo e invertir su posición periódicamente.

Los defectos de veteamiento, azulamiento y estriados pueden aparecer por mezclar pinturas que llevan pigmentos de diferentes grados de humectabilidad y dispersabilidad o que tienen un peso específico muy diferente, o bien si se mezclan colores orgánicos e inorgánicos, lo que por ejemplo sucede con los tonos marrones preparados con óxidos de hierro y pigmentos colorantes.

En lo posible, se aconseja comprar tonalidades de color ya ajustadas; de lo contrario, se han de seleccionar los pigmentos adecuados para su mezcla y recordar que los pigmentos lacados, molidos en húmedo, no tienen tanta tendencia a azulear como los molidos en seco.

Asimismo, cuando sea factible se puede añadir una solución adecuada de resina o bien aumentar el contenido en ligante y, en todo caso, moler con más intensidad.

También se puede agregar, previa consulta con el fabricante, una pequeña cantidad de solución de aceite de siliconas, para rebajar la tensión superficial.

SANGRADO

Se trata de la aparición más o menos inmediata de zonas de color diferente al del acabado, provocado por sustancias o colorantes que proceden de la superficie de fondo, que al redisolverse en el disolvente de la pintura aplicada, afloran a la superficie. El sangrado se manifiesta con frecuencia al utilizar pinturas al disolvente sobre asfalto o productos bituminosos, y en ciertas ocasiones sobre algunos esmaltes rojos, pero también se conoce con esta denominación al fenómeno de la resina y color que exudan los nudos de madera de pino que no fueron tratados adecuadamente.

VELO O VELADO

No debe confundirse con la veladura, término que se utiliza para el efecto de pátina de la pintura envejecida por el paso del tiempo que se obtiene por métodos artificiales. En este caso, se conoce por velo o velado al aspecto sin brillo, apagado, de las películas de lacas, esmaltes o barnices que al secar tendrían que quedar brillantes. En los productos transparentes a veces aparece acompañado de un tono blanquecino u opalino.

Este problema se presenta con frecuencia en los productos nitrocelulósicos en tiempos húmedos y de baja temperatura, ya que los disolventes se evaporan rápidamente y hacen que la humedad condense sobre la película tierna y el agua, incompatible con la resina, la coagula en detrimento del brillo esperado. La solución para este problema, al menos en ciertas condiciones, consiste en añadir un ligero porcentaje de disolventes especiales antivelo o retardantes.

Asimismo, se conoce con esta denominación al reflejo, algo difuso, que se manifiesta en los esmaltes de alto brillo como consecuencia de mínimas imperfecciones en su superficie que pueden afectar la nitidez de las imágenes reflejadas.

Tanto el grado de brillo como el de velo pueden medirse mediante brillómetros con equipos ópticos adecuados.

CONSIDERACIONES PARA LA REPARACIÓN DE MARCOS Y HOJAS DE PUERTAS Y VENTANAS

Es conveniente, siempre que sea posible, reparar las unidades existentes utilizando métodos y materiales similares a los empleados originariamente. A modo de ejemplo, consideremos los siguientes casos: si se daña una porción de un marco, muchas veces es factible remover y descartar solamente esa parte, a la que se reemplaza con una nueva sección; si son los cierres los que fallan, se puede instalar nuevos herrajes. Claro que, cuando los daños son demasiado serios como para ser reparados, la única solución está en instalar nuevas unidades.

Las reparaciones deben efectuarse con cuidado y ser el resultado de un diagnóstico preciso. Asimismo, y con el fin de prevenir daños futuros, deben estar siempre en manos de personal experimentado bajo supervisión competente. A menos que sea absolutamente necesario retirar la unidad completa, ya sea para facilitar su reparación o la de otras partes del edificio, cuando se trata de limpiarla o repararla se aconseja retirar aquellos materiales imprescindibles a tal fin. De lo que se trata es de manipular la menor cantidad de elementos o materiales, ya que cuantos más se quiten, mayores son las posibilidades de dañarlos. En cualquier caso, todo material que se pierda o estropee durante una reparación in situ debe ser quitado.

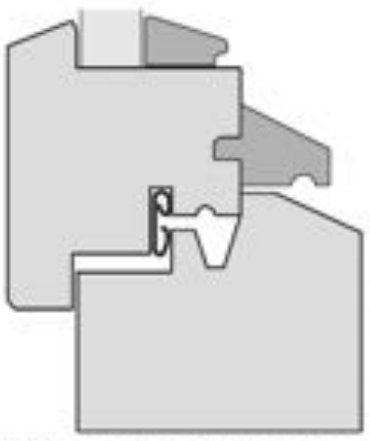
Las unidades reparadas no deben ser vueltas a instalar hasta que cualquier condición poco satisfactoria del área, los componentes existentes, los substratos o la estructura haya sido corregida. Por lo tanto, es recomendable verificar el buen estado de los mismos.

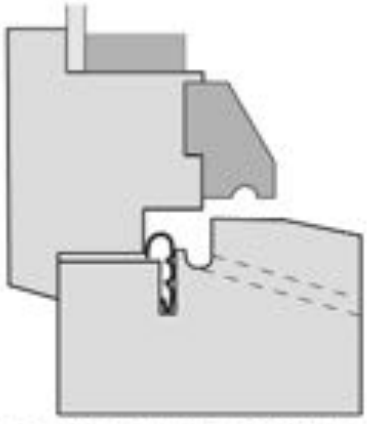
Realizado el proceso de limpieza y decapado se procederá a la reparación de sus partes degradadas así como a un sellado con masilla a base de resinas. Si es necesario los marcos y las hojas serán consolidadas mediante escuadras metálicas fijadas mecánicamente con tornillos. Posteriormente, se procederá a limpiar y desatascar las ranuras y orificios de evacuación, o a realizar perforaciones en caso de que el drenaje no sea correcto. La estanqueidad de las uniones y ensambladuras se realizarán, si es necesario, mediante la aplicación de una masilla. Asimismo se procederá a la reparación y/o sustitución de todos los herrajes que por su estado de deterioro impliquen un mal funcionamiento de la carpintería, ya sea porque afecten a su movilidad, o a su cierre; estos, posteriormente se engrasarán con los productos convenientes.

PUERTAS O MARCOS DE METAL: es factible que un mal diseño o una fabricación defectuosa ocasionen que se aflojen, se comben o terminen desplazándose, o también puede ocurrir que el metal usado sea demasiado delgado para soportar su propia carga. En estas circunstancias suele hacerse bastante dificultosa su reparación pero, en líneas generales, para las carpinterías metálicas es preciso efectuar el decapado, mejorar la estanqueidad y verificar y limpiar los drenajes y ranuras.

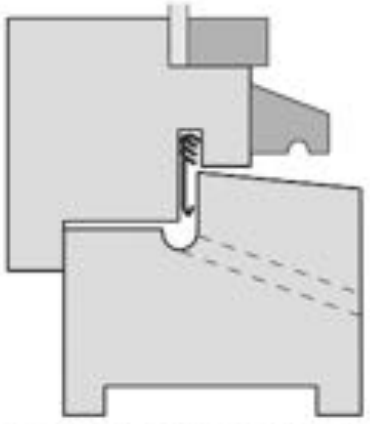
- Tanto la hoja de la puerta como el marco se van erosionando, lo cual favorece la aparición de corrosión y pudrición.
- Al erosionarse el pavimento, se desmerece su aspecto y se favorece la acumulación de suciedad y el desprendimiento del mismo.
- La cerraduras y pestillos no trabajan adecuadamente.
- Las bisagras inferiores se recargan y pueden soltarse.
- Finalmente los marcos se ven afectados y llegan a desprenderse.

INCONVENIENTES DE UNA PUERTA “CAÍDA”

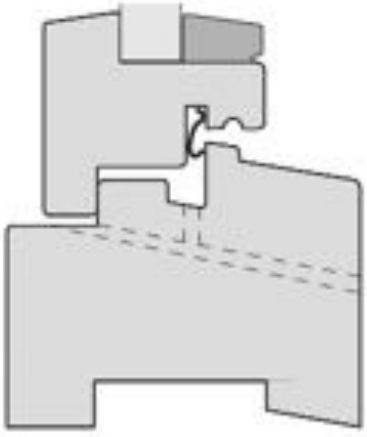




Se deben evitar las uniones ensambladas por la posible acumulación de humedad en ese punto lo cual se agrava con los movimientos estacionales de la madera.



En el vierteaguas se aconseja una unión a tope protegida por la parte superior por otra pieza de madera.



El vierteaguas más seguro es, en cualquier caso, el que es solidario con el resto del perfil. El vierteaguas debe tener una pendiente de 15 a 20. Las aristas deben ser redondeadas y la anchura del orificio del goterón debe ser superior a 8mm.

Esquemas de distintos vierteaguas en la parte inferior del marco de la hoja de la ventana.

Las puertas se pueden aflojar o combar debido a bisagras flojas o a marcos que cambian de forma debido a acomodamientos u otros movimientos en el muro portante, particiones o estructura. Las bisagras flojas se pueden reparar ajustando sus tornillos y para corregir combados severos puede ser necesario recuadrar los marcos, para lo que muchas veces hay que quitarlos previamente. Las soldaduras rotas requieren resoldar.

Otras soluciones constructivas comenzaron a desarrollarse con la aplicación de la espuma de poliuretano expandido para la fijación, aislamiento y sellado de las ventanas, puertas y fachadas ligeras. En muchos casos se vuelve una medida de actuación rápida y de fácil aplicación.

En esencia, este producto está formado por una mezcla de isocianato, polioles, agentes hinchantes, catalizadores y propelentes. Se comercializa normalmente como aerosol, que arroja una espuma adaptable a la forma de los materiales a sellar o fijar. Esta espuma, en contacto con la humedad de la atmósfera o bien por curado químico, se vuelve rígida, con una estructura fina de celda parcialmente cerrada.

Cuando la fijación se realiza mediante estos adhesivos de espuma no se suelen utilizar anclajes, de manera que la unión entre cerco y obra o precerco se hace de forma continua, en todo el perímetro del hueco, para conseguir una mayor superficie de adherencia y un sellado completo.

Para una correcta aplicación de la espuma de poliuretano en la fijación de ventanas, se aconseja considerar los siguientes puntos:

- **ANTE TODO, SEGUIR LAS RECOMENDACIONES DE LAS NORMAS UNE 85-219-86**, que define los sistemas y condiciones técnicas más adecuados para proporcionar seguridad a los usuarios y lograr una buena duración en el tiempo de las cualidades del producto.

- **LAS HOLGURAS ENTRE CERCO Y HUECO DEBEN SER LAS APROPIADAS**. Como mínimo, se recomiendan unos 5 mm en cada lado, por cada metro lineal de perfil.

- **AL APLICAR LA ESPUMA**, proteger los perfiles de carpintería y otros elementos susceptibles de mancharse.

- **ELEGIR EL PRODUCTO ADECUADO PARA CADA APLICACIÓN.**

- **DEJAR LAS ZONAS A RELLENAR LIBRES DE SUCIEDAD**, grasa y partículas sueltas y humedecerlas con agua pulverizada.

- **RESPETAR LAS TEMPERATURAS DE APLICACIÓN RECOMENDADAS**. Recordar que no se debe proceder con una temperatura por debajo de los 0 a 5 ºC, ya que el curado sería mucho más lento e incluso podría fallar.

- **RELLENAR TODO EL PERÍMETRO DEL HUECO**, con la precaución de rellenar aproximadamente la mitad de la profundidad del mismo, ya que la espuma expande su volumen dos o tres veces al curar.

- **UNA VEZ APLICADA LA ESPUMA**, y cuando todavía está fresca, limpiar inmediatamente cualquier zona manchada con los limpiadores apropiados.

- **TRAS 15 Y 60 MINUTOS** (esto depende del tipo de espuma) cortar la espuma sobrante y proteger de los rayos UV y en el exterior, sellar con masilla de silicona neutra.

- **SE DEBE EVITAR EL RIESGO DE QUE LA ESPUMA HAGA PRESIÓN SOBRE LOS PERFILES Y LOS LLEGUE A DEFORMAR**. Esto, en todo caso, depende del tipo o longitud de los mismos.

PUERTAS Y MARCOS DE MADERA: alabeados o torcidos, y si el daño no es muy serio, puede ser posible estirar los componentes del marco o la puerta, para lo que ayuda el clavado adicional.

Para enderezar una parte severamente alabeada suele ser necesario humectarla, sostener por debajo de la misma y aplicar una carga en la parte curvada para volver a ponerla en forma. La carga se deja en el lugar por varios días y, si no se logra una reparación satisfactoria, hay que descartar el componente e instalar uno nuevo. Otra solución para una puerta torcida puede ser el enderezamiento mediante un aparato de cable y tornapunta.

Cuando un marco de madera se encuentra flojo, combado o fuera de línea o cuando se separa de su soporte, muchas veces el problema radica en el sistema de anclaje. Esto puede ser sencillo de resolver, por ejemplo, alargando o ubicando clavos y tornillos adicionales para reajustar el marco flojo. También puede servir la ubicación de anclajes nuevos en los lugares correctos.

Las puertas flojas o atascadas pueden ser causadas por una deformación del marco o por bisagras flojas. En el primer caso, y cuando el problema no es muy serio y se sabe que no empeorará, puede ser factible corregir el atascado lijando o alisando la puerta. Por supuesto, los tornillos flojos deben ser ajustados pero tal vez haya que quitarlos e introducir en los agujeros clavijas –cubiertas o no de masilla– para lograr un mejor ajuste del tornillo. Cuando un marco apenas se deforma es posible mantener la puerta funcionando con una pequeña cuña detrás de una jamba del marco afectado o nivelando las bisagras con planchas de cartón. La cuña también puede servir para corregir una diferencia entre el cerrojo y la traba.

En caso de que existan grietas o agujeros ocasionados por la presencia de insectos xilófagos, se recomienda inyectar en su interior el insecticida adecuado y luego aplicar con espátula una masilla a base de retina de poliuretano, epoxi o poliéster. En cambio, si se observa un ataque producido por hongos, se reemplazan los elementos irrecuperables, se quema con soplete las partes afectadas y a continuación se aplica un producto fungicida.





Para limpiar la madera con un soplete de aire caliente, hay que mantener éste cerca de la madera sólo hasta que se ablande la pintura y empiecen a aparecer ampollas (izquierda). Si se aplica un calor excesivo, la pintura puede tornarse gomosa, y tal vez se queme la madera. Eliminar la pintura blanda con rasqueta o espátula (derecha).

Los productos que reconstituyen la madera son a base de polvo de fibras de madera activadas, recubiertas de un catalizador y un líquido reactivo. De esta manera, su aspecto exterior tiene una textura y una calidad de acabado similar a la de las partes sanas, con unas propiedades de resistencia, durabilidad y protección ante el ataque de hongos e insectos xilófagos muy superior a la de la madera original. Primero se debe sanear la madera deteriorada, luego se mezcla el producto y se aplica; minutos después se puede limar, taladrar, lijar y mecanizar normalmente.

Continuando con las ventanas de madera, si la pérdida de temperatura a través de los vidrios es bastante alta y hay que mejorar el aislamiento, los motivos pueden estar en que las ventanas son grandes y tienen un solo vidrio, lo que determina un consumo energético y condensaciones excesivas, o bien que el cristal o cristales son demasiado delgados.

Para actuar en estos casos se debe medir la profundidad del gárgol o ranura para saber si el nuevo vidrio cabe allí; en caso contrario hay que ampliar el gárgol o ranura o hacerle un suplemento.

Luego se cambia el vidrio, normalmente de 3 mm, por otro de 8-9 mm (lo ideal sería colocar un doble vidrio con cámara estanca). Por último, se sellan cuidadosamente todas las juntas.

Otra posibilidad es colocar sobre la hoja de la ventana existente un marco de pequeña sección, y que se pueda abrir, con un vidrio de 6 mm. Es fundamental que este marco permita limpiar los cristales y ventilar las condensaciones que se produzcan. Hay que tener en cuenta el aumento de peso que se añade a la ventana original y comprobar si las bisagras existentes son lo suficientemente fuertes o si hay que cambiarlas. La nueva hoja puede ser de otro material que no sea madera, por ejemplo plástico o aluminio.

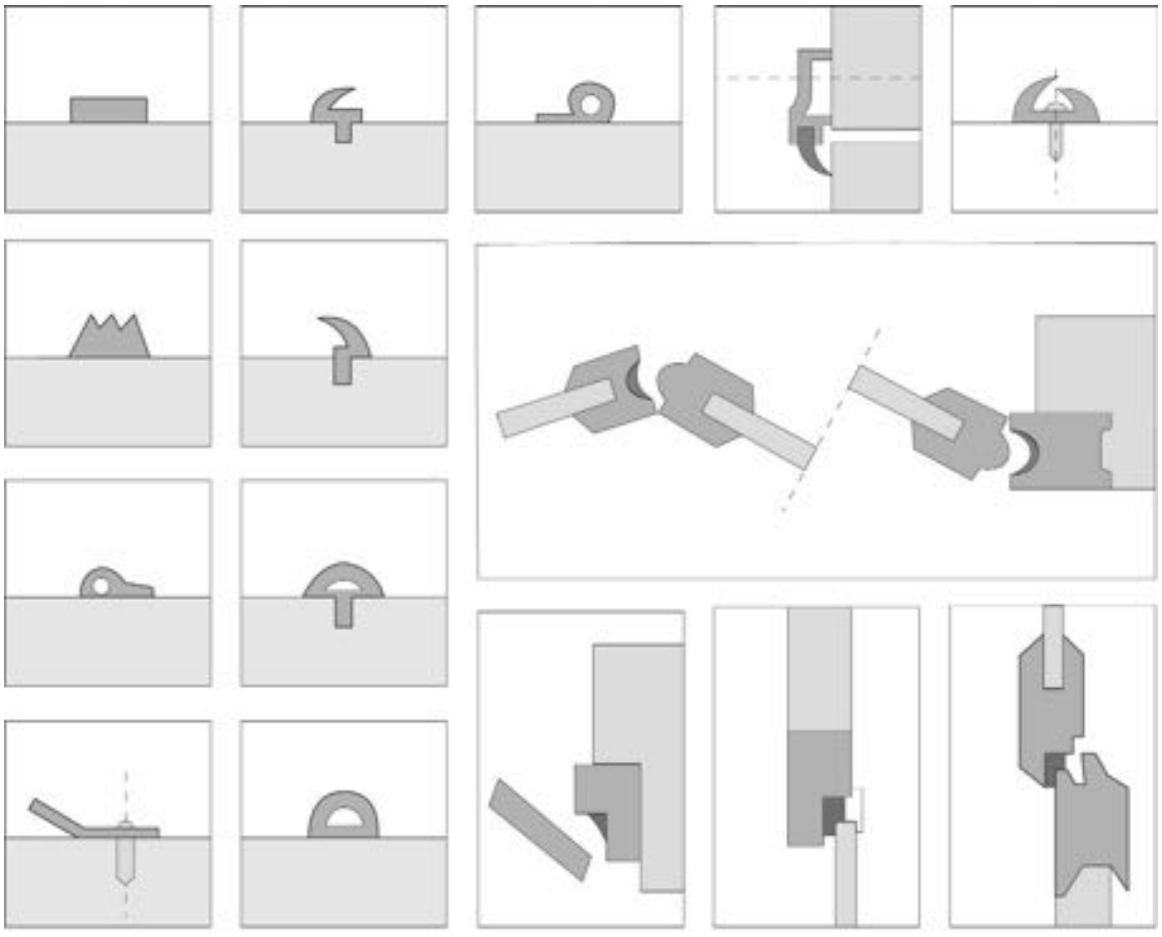
También es posible colocar en el exterior postigones de madera, con o sin aislación y anclados al muro, creando una cámara de aire entre la ventana y el exterior. Incluso se pueden colocar por el interior pegados al marco de la ventana existente.

Las juntas deben ser ajustadas con cuidado y, al igual que en el caso anteriormente descripto, se ha de considerar el peso añadido a la hoja de la ventana vieja y se ha de comprobar si las bisagras son fuertes o se deben cambiar.

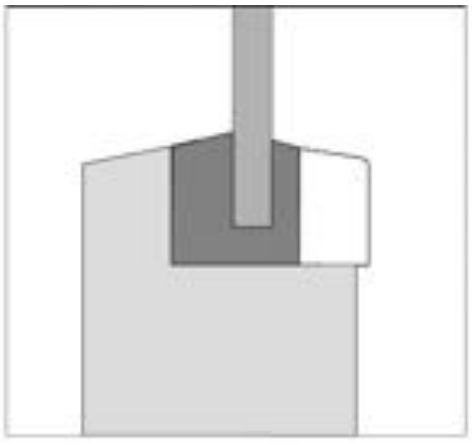


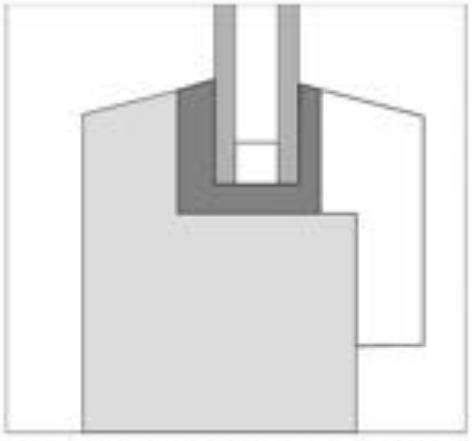


Para limpiar con un decapante químico, hay que aplicar una capa abundante del mismo sobre la superficie con ayuda de brocha o un estropajo de acero (izquierda). Dejar actuar hasta que se formen burbujas en la pintura. Raspar ésta con una espátula o estropajo (derecha) y frotar con alcohol desnaturalizado. Limpiar finalmente con un trapo humedecido en disolvente.



Tipos de juntas de caucho para mejorar la estanqueidad en carpinterías de madera.



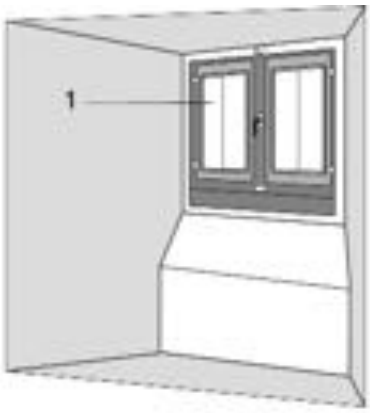


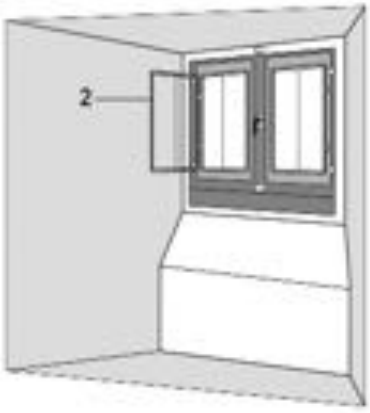
Adaptación de una carpintería a causa del diferente espesor en un acristalamiento de doble vidrio con cámara.

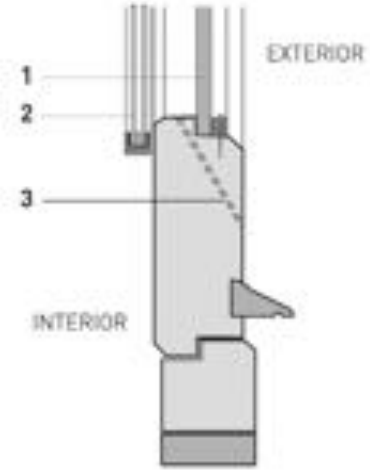


Colocación de un segundo cristal mediante la ubicación de un marco metálico o de plástico por el interior.

Acondicionamiento de una carpintería de simple acristalamiento mediante el agregado de un segundo vidrio. Esta medida es muy efectiva para evitar la condensación superficial interior.







1. ventana original poco aislante y con problemas de condensación superficial interior **2.** nuevo cerramiento de vidrio doble agregado desde el lado interno **3.** conducto de desagüe de la condensa-ción superficial sobre el cristal original

Mejora de la aislación de una ventana para solucionar problemas de condensación interior.

VENTANAS CORREDIZAS: particularmente las tipo guillotina, la mayoría de las trabazones o endurecimientos se debe a burletes demasiado apretados, a la acumulación de pintura o suciedad en las guías o a la oxidación u otras corrosiones en las guías, bastidores o marcos. Asimismo, las ventanas corredizas de madera pueden trabarse por la expansión de la madera, como consecuencia de la humedad o del humedecimiento de los bastidores o del marco. La acumulación de suciedad o una corrosión menor son fáciles de resolver, simplemente quitando la pintura, la suciedad o la corrosión y lubricando la guía o el bastidor.

Para mejorar el funcionamiento de burletes muy apretados y ventanas de madera hinchadas, se puede lubricar las superficies de contacto o encajar con suaves golpes un bloque de madera a lo largo de la guía para expandir el marco. Si ninguno de estos métodos sirven, se vuelve necesario quitar el marco de madera y acomodarlo para que encaje. Si el problema reside en unos burletes conflictivos en una puerta o marco de metal, habrá que reemplazarlos.

Las trabas o pestillos de las ventanas de bisagra o las ventanas con toldos pueden endurecerse o trabarse debido a una irregularidad en los elementos. El mecanismo oculto puede estar gastado, oxidado o empastado con grasa endurecida, por lo que hay que quitarlo, remover la oxidación y el empastado y volver a lubricar. Las ventanas trabadas pueden tener sus componentes torcidos o ser consecuencia de una corrosión en las superficies de contacto de los elementos.

En lo que respecta a los vidriados, es necesario realizar nuevos sellados. Si los cristales originarios se han perdido o estropeado severamente, se aconseja la limpieza atenta de los encajes antes de colocar el nuevo vidrio y proceder al sellado. En general, las dificultades de maniobra se pueden resolver mediante los retoques y acabados correspondientes.

ALGUNAS MEDIDAS PREVENTIVAS EN EL DISEÑO, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE PUERTAS Y VENTANAS

A. DISEÑO DEL MARCO DE LA VENTANA

A continuación se detallan algunas características de diseño que son consideradas esenciales para favorecer el buen estado de las unidades en servicio; si éstas no se respetan, se hace probable el daño o la aparición de ciertas irregularidades en los marcos de las ventanas.

- **MARCOS DE PVC**: los perfiles extruidos a partir de los cuales se fabrican estos marcos deben ajustarse a las normas vigentes y a las recomendaciones de los fabricantes. Dado que el movimiento térmico de los marcos de PVC es mayor que el de los marcos de acero y madera, solamente se han de considerar aquellos selladores para encristalado que puedan absorber estas variaciones.

- **MARCOS DE ALUMINIO**: hechos a partir de perfiles extruidos huecos, los cuales deben ajustarse a las recomendaciones de los proveedores del aluminio y a las normas específicas. Como en el caso del PVC, la variación térmica que sufre el aluminio requiere el uso de selladores con capacidad de absorción de la misma.

- **MARCOS DE ACERO**: se han de fabricar con acero laminado en caliente. El recubrimiento de la superficie del acero es decisivo al elegir el material sellante para el encristalado.

- **MARCOS DE MADERA**: tanto su diseño como la fabricación, instalación y el funcionamiento deben respetar las especificaciones vigentes al respecto. Para lograr un buen contacto con los selladores del vidriado, la ranura y las particiones deben estar listas, sin nudos ni agujeros, y los soportes hacia arriba de la ranura deben estar en el mismo plano en las esquinas.

Existen ciertos requisitos a tener en cuenta al diseñar o elegir un tipo de ventana en relación con los métodos de encristalado posibles. Los detallamos a continuación:

- **LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LA VENTANA** tienen que ser apropiados para el encristalado propuesto. Por ejemplo, si se trata de un marco de acero prepintado, se ha de tener la seguridad de que los materiales para el encristalado se adherirán bien a la pintura y, en una ventana de madera, las cualidades de la madera deben seguir lo especificado en las normas vigentes al respecto.

- **LA ALTURA DE LA RANURA PARA EL VIDRIADO** tiene que ser suficiente para cubrir y dar una cubierta adecuada al borde de la unidad, para proteger su sellador de la luz ultravioleta y para dejar una holgura suficiente del borde que permita un buen drenaje. Asimismo, ha de considerar las desviaciones en el tamaño de la unidad y del marco.

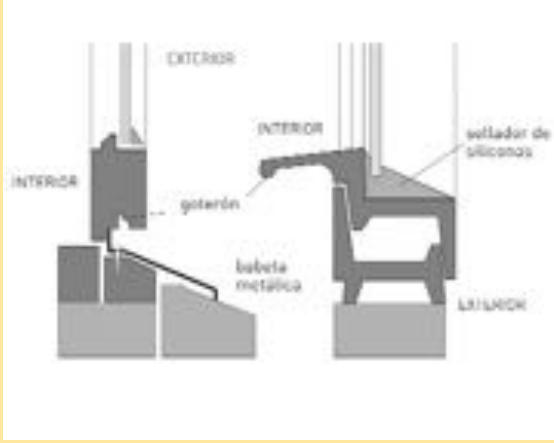
- **LA HOLGURA DEL BORDE** debe impedir el contacto entre el marco de la ventana y el cristal y prevenir que el puente salve el espacio entre la plataforma de la ranura y el sello del borde de la unidad aislante. Por otro lado, ha de ser suficiente como para dejar espacio para el movimiento térmico y ser de un mínimo de 6 mm en el umbral (para prevenir que el agua la salve). En aquellos marcos bien drenados y ventilados la holgura se puede reducir hasta un mínimo de 3 mm para ranuras laterales y de arriba –en el caso de vidrios con espesores de hasta de 2 mm– y de 5 mm como mínimo para espesores superiores a 2 mm.

- **LA PLATAFORMA DE LA RANURA** ha de tener un tamaño suficiente para el espesor del cristal, en cada lado de la unidad, y para permitir la correcta colocación de los contravidrios.

- **LOS SISTEMAS DE DRENAJE** deben estar diseñados de manera que el agua que pudiera penetrar al área de la ranura pueda sea extraída con rapidez. Los agujeros de drenaje del marco funcionan como un respaldo para los selladores internos y externos destinados a prevenir el paso del agua.

La mejor manera de lograr una rápida extracción del agua del área del encristalado hacia el exterior es mediante la incorporación de un borde inclinado. Se aconseja una pendiente con una relación de 1 a 10 (6º) para el borde inferior del marco de madera. De manera alternativa, para los marcos de aluminio o PVC se pueden usar canaletas con agujeros de drenaje.

Un sistema de agujeros de drenaje convencional suele contar con agujeros de 10 mm de diámetro o ranuras de por lo menos 20 x 5 mm, ya que es difícil garantizar la salida del agua sólo por dichos agujeros siendo que ésta puede quedar atrapada por tensión superficial, como pequeñas gotas o bien entre superficies opuestas, aun cuando el diseño no debiera permitirlo. En estos casos es necesaria cierta ventilación adicional que seque el área, en especial si se trata de marcos de ventana con plataformas horizontales del encristalado.



Colocación de babetas metálicas en marcos de ventana para proteger las juntas y facilitar el escurrimiento.

El diseño de los agujeros de drenaje y del sistema de ventilación es un asunto complejo y debe considerarse en relación con el sistema del sellador en la aplicación del encristalado. El grado de ventilación que se logre depende tanto del tamaño de los agujeros o las ranuras de ventilación como de su posición y accesibilidad para los vientos prevalecientes. Las ranuras de 20 x 3 mm pueden ser adecuadas para la ventilación en partes expuestas de la ventana, pero en lugares más protegidos se ha de pensar en una apropiada ventilación adicional.

Para impedir que el agua impulsada por el viento alcance la sección del marco de la ventana, todos los agujeros deben protegerse con agujeros de ajuste con caperuzas o bien se puede ubicar las ranuras en el marco de manera que no queden sujetas al viento directo y a la intemperie.

En líneas generales, no debe haber agujeros de drenaje cerca de cada extremo del miembro del umbral –entre las esquinas y el bloque de ajuste– y sí debe existir, según se necesite, un agujero central de drenaje con agujeros adicionales.

Por otro lado, puede ser necesario contar con ranuras de ventilación en lo alto de la ventana, en cada extremo del miembro de cabecera, para asegurar que se ventile en la parte superior de la unidad.

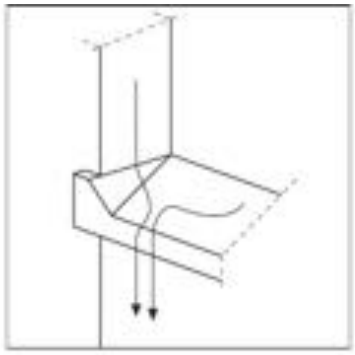
Por último, es conveniente señalar de alguna manera la parte superior de ciertas unidades de hojas fijas, colocadas en fábrica, ya que la diferencia entre la cabecera y el umbral, en relación con el drenaje y la ventilación, a veces no queda claramente marcada. Asimismo, para las ventanas colocadas *in situ*, se aconseja identificar las particiones superiores e inferiores.

B. COLOCACIÓN DE CARPINTERÍAS

En primer lugar es fundamental pensar en la preservación de las unidades de vidrio del agua, proveniente de diversas fuentes (agua de lluvia, condensación sobre las superficies del cristal del lado del cuarto, condensación dentro de las secciones del marco de las ventanas, operaciones de limpieza de ventanas).



Alfeizar muy horizontal. Aparecen "bigotes" de suciedad ya que el agua no tiene suficiente velocidad para despegarse del muro.



Alfeizar con detalle de protección para alejar el escurrimiento del ángulo de encuentro.

Encuentro entre jamba y alféizar de ventanas. Inconvenientes y soluciones para el correcto escurrimiento del agua.

Si el agua permanece atrapada contra el sello del borde y el cristal durante mucho tiempo, la adhesión del sellador probablemente terminará fallando y tanto el agua líquida como el vapor de humedad, o ambos, podrán pasar entre el sello del borde y el vidrio. Como consecuencia, puede aparecer una cantidad excesiva de humedad en la cavidad de la unidad y, finalmente, puede formarse condensación sobre la superficie interna del cristal. De esta manera se ve como, en condiciones de contacto prolongado con agua líquida, la unidad tiene grandes posibilidades de fallar.

La humedad puede penetrar a través de la superficie hasta el área de la ranura para el encristalado, en torno o a través del sistema de este último o a través de las juntas de los marcos de ventanas hacia ese sistema. En cualquiera de los sistemas de encristalado que se elija deben protegerse los selladores del borde de la unidad, para impedir que penetre el agua hasta el sello o garantizar que la que lo logre sea eliminada con prontitud.

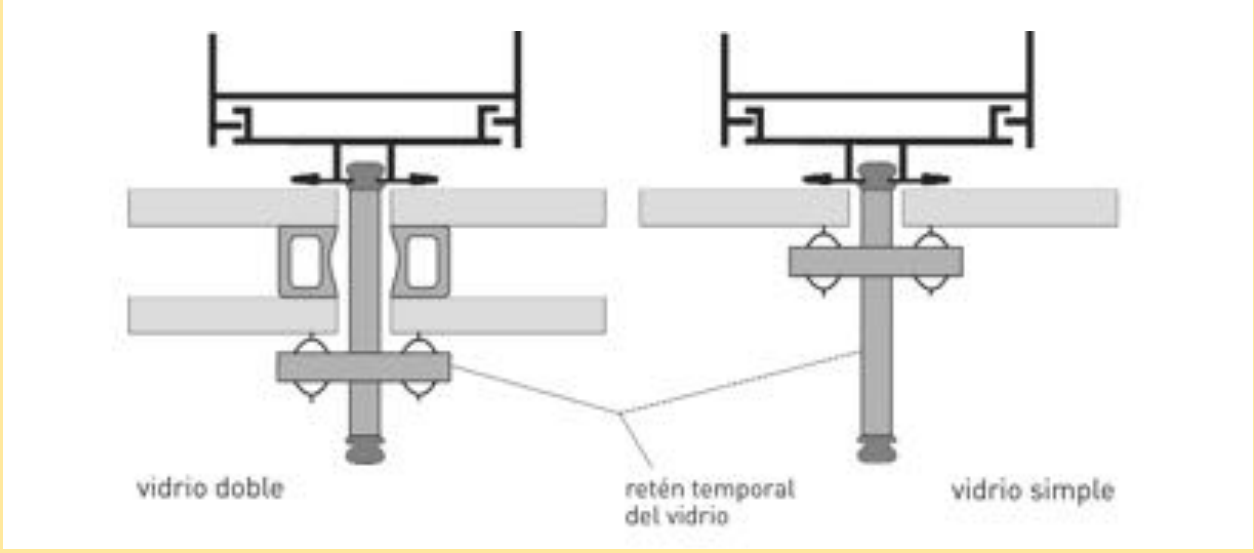
Hay básicamente dos métodos de colocación del vidrio aislante con actuación diferente ante la acción del agua.

MÉTODOS DE DRENADO: parten del hecho de que algo de agua puede llegar a penetrar en el área del encristalado pero que, aun así, el diseño del marco de la ventana puede garantizar que la misma se elimine por drenaje y ventilación.

MÉTODOS DE COLOCACIÓN EN LECHO SÓLIDO: se impide el ingreso de la humedad protegiendo al junta de la unidad, lo que se logra al empotrar el borde en material sellante.

En la mayor parte de las unidades selladas, se puede degradar el sellador del borde expuesto a la intemperie o a la luz ultravioleta. De esta manera, se recomienda verificar que la ranura para el encristalado cubra por completo el sellador en aquellas unidades con borde al ras. La excepción la hace el sellador especial de silicona, utilizado para fabricar unidades aislantes diseñadas para aplicaciones de encristalado estructural.

Finalmente, no podemos dejar de mencionar ciertas consideraciones básicas para lograr la durabilidad y confiabilidad esperadas en los sistemas de encristalados. La calidad de los operarios es central, así como pueden ser decisivas las condiciones del sitio donde se trabaja.



Los retenes temporales se utilizan para fijar el vidrio a la estructura durante el fraguado del sellador. Una vez que éste alcanza la resistencia deseada se quitan y se pueden usar en otra parte de la fachada.

Se recomienda contratar mano de obra hábil y con experiencia en encristalados que pueda contar con la supervisión adecuada. Por lo dicho, suele convenir el encristalado en fábrica al encristalado in situ, por permitir un mejor control de los operarios, desarrollarse en una atmósfera seca y más limpia y no presentar problemas de acceso a los marcos de las ventanas.

C. MEJORA DE LA ESTANQUEIDAD AL AIRE Y DEL AISLAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO

Los avances en la industria y el diseño han elevado los niveles medios de confort habitacional y, en la medida de lo posible, esto ha de ser considerado en las tareas de restauración incorporando las mejoras convenientes.

Mejorar la hermeticidad al aire no sólo limita las pérdidas térmicas sino que también permite el refuerzo del aislamiento acústico y puede favorecer de forma considerable la estanqueidad al agua de las carpinterías.

Los sistemas más empleados para tapar rendijas consisten en la colocación de perfiles o juntas en los sitios adecuados, atendiendo a la geometría de los marcos y las hojas y a las ranuras de descompresión, variables en cada caso.

Estas juntas –de las que se encuentra en el mercado una extensa variedad– pueden ser, entre otros materiales, a base de espumas, gomas, siliconas y plásticos.

No obstante, no se ha de olvidar que el tapado de rendijas puede afectar la ventilación e incluso generar dificultades al impedir la necesaria renovación del aire por infiltración.

Con respecto al aislamiento acústico, éste depende en especial de la permeabilidad al paso del aire y del aumento de la masa de acristalamiento; por otro lado, para mejorar el aislamiento térmico, se actúa sobre la parte acristalada por ser la de mayor superficie y coeficiente de transmisión térmica.

Para lograr estas mejoras en los aislamientos térmico y acústico se pueden aplicar algunos procedimientos técnicos que conllevan la colocación de un doble cristal.

La colocación de una doble ventana no suele ser muy aconsejada en trabajos de restauración, por la simple razón de evitar incorporar elementos extraños que no fueron previstos en los proyectos iniciales del edificio. Aun así, las ventajas de aplicar un doble vidrio con cámara de aire intermedia, deshidratada y sellada herméticamente, son altas. No sólo favorece la disminución del efecto de pared fría, sino que permite reducir las condensaciones y, en caso de colocar cristales de cierto espesor, puede mejorar el aislamiento acústico.

En este caso se ha de confirmar que los herrajes y las hojas pueden soportar el nuevo peso a causa del diferente espesor del acristalamiento.

Hay otra solución que, si bien ayuda en cierto modo al aislamiento térmico y acústico, no es del todo aconsejable por lo que se utiliza solamente a nivel de mejoras unitarias en viviendas.

Consiste en adosar un segundo cristal a las hojas del cerramiento existente con la ayuda de un marco metálico o plástico por el interior. Esta nueva hoja puede ir fija o practicable –según se quiera o no acceder a la cámara de aire– y debe disponer en todos los casos de una junta de estanqueidad entre los dos marcos correctamente colocada.

D. PREVENCIÓN ANTE ENSUCIAMIENTO POR DEPÓSITO

Las partículas contaminantes en las áreas urbanas e industriales hacen que el ensuciamiento sea inevitable. Por lo tanto, cualquier medida preventiva en este terreno ha de tener por objetivo la disminución al máximo del depósito de partículas y su adhesión –actuando sobre la textura y la geometría de la fachada– y, asimismo, la mejora de la apariencia de ese depósito –considerando sobre todo el color elegido–.

Se aconseja recurrir a texturas lisas y pulidas, en especial en las zonas más protegidas como los bajos de edificios y en las plataformas horizontales y planos inclinados hacia arriba como antepechos corridos, alféizares y albardillas. Por otro lado, recordar que las geometrías planas dan mayor uniformidad de ensuciamiento, por lo que éste adquiere menor notoriedad. Todo lo que suponga cuerpos salientes como balcones, molduras y cambios de plano permite la adhesión de las partículas y realza las zonas sucias.

PUERTAS Y VENTANAS DE PLÁSTICO

Comencemos por señalar brevemente los tipos genéricos de plásticos. Por un lado se encuentran los plásticos termoplásticos, flexibles, suaves y moldeables, que se reblandecen al calentarse y, por el otro, los plásticos termoendurecibles, fuertes, rígidos y que no se reblandecen con el calor.

Muchos de estos plásticos tienen una buena duración, con una vida útil estimada en 30 o más años.
El coeficiente de expansión térmica de los plásticos –en especial en aquellos de color– es considerablemente mayor que en otros materiales. En consecuencia, para trabajarlos se hace necesario un soporte apropiado y un correcto diseño de junta y, tanto en grandes ventanas como en situaciones de exposición solar significativa, se ha de tener en cuenta la escala de los movimientos térmicos.

En algunas circunstancias, y debido al espesor de las secciones, si la parte externa recibe mayor calor que la interna la diferencia térmica resultante puede manifestarse en un alabeo. Además, es posible que estos movimientos térmicos terminen generando un encogimiento irreversible que se ha de considerar en el mantenimiento y en la aplicación de los selladores adecuados.

Los rayos ultravioleta pueden degradar cierto tipo de plásticos, como el PVC. Bajo una exposición prolongada al sol, así como a la lluvia y las atmósferas contaminadas, las superficies de PVC pueden degradarse. De esa manera se opacan, desprenden un fino polvillo semejante a la tiza y se reduce su resistencia al impacto. Se trata de un típico problema de las zonas costeras, pero estos efectos negativos pueden mejorarse si se utilizan ciertos aditivos en su composición.

Al contrario de lo que ocurre con las carpinterías de madera, no resulta ni práctico ni económico reparar secciones de puertas o ventanas de PVC, por lo que, comparativamente, un menor daño puede requerir el reemplazo del elemento o pieza. Como señalamos al comienzo, el plástico no es rígido como la madera o el metal. Por esta razón, y considerando además que el marco ha de soportar las cargas del encristalado, se vuelve determinante el refuerzo de las puertas y ventanas de PVC. De lo contrario, podría generarse una distorsión en las secciones del marco.

Es conveniente instalar los marcos correctamente, sin ningún alabeo, y controlar que sean bien fijados en aquellas ventanas más elevadas y expuestas. Asimismo se considera que, sumadas ciertas irregularidades en la manufactura de las ventanas de PVC, su instalación y mantenimiento en condiciones de baja temperatura puede producir el resquebrajamiento de las partes.

Para concluir, queremos señalar que las investigaciones realizadas en el campo de los plásticos sugieren que la mayor parte de los defectos que se presentan en estas carpinterías no se refieren a una fabricación incorrecta sino a la selección de mano de obra poco especializada y a colocaciones defectuosas.

MUROS CORTINA VIDRIADOS

Se conoce con el nombre de fachadas ligeras a aquellas que están fijadas a la estructura del edificio sin formar parte constituyente de la misma, de modo que no contribuyen a aumentar su resistencia pero que, no obstante, están concebidas para resistir por sí solas las acciones que incidan sobre ellas.

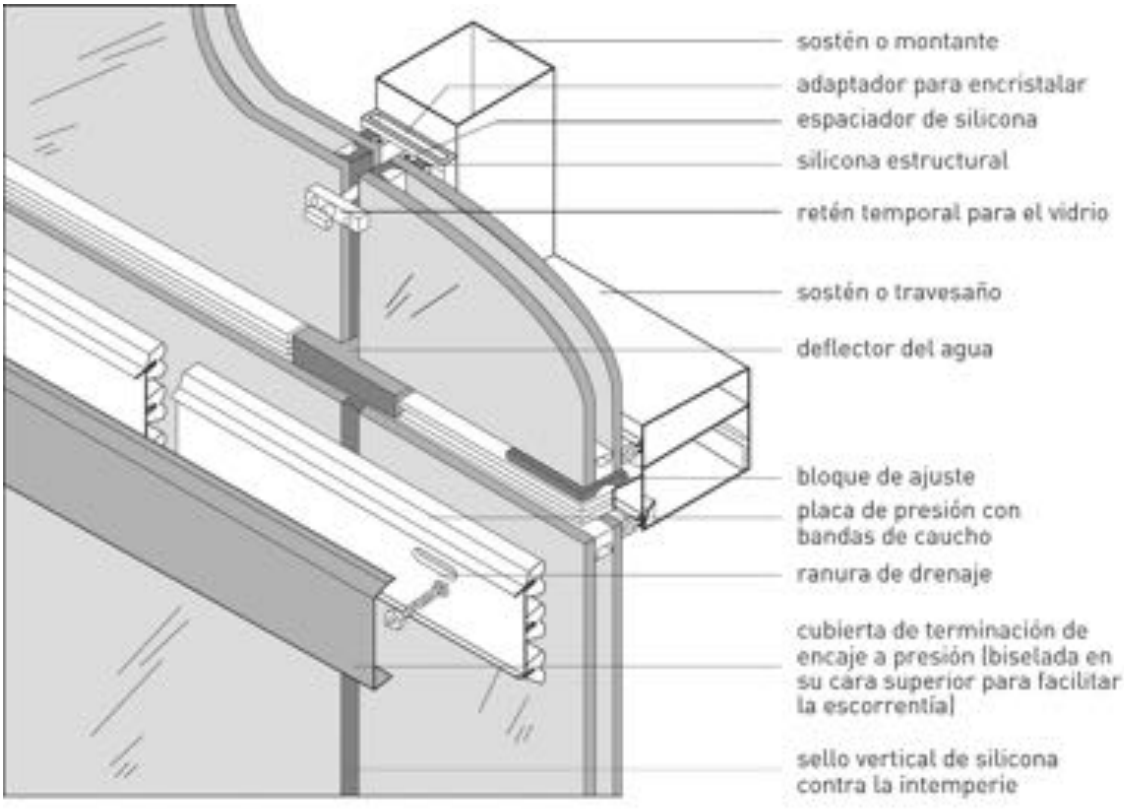
Las características más notables de este tipo de fachadas son, en esencia, su luminosidad (puede llegar a obtenerse un 90 % de visibilidad), la rapidez de montaje, su ligereza (la estructura resistente es de menores dimensiones), la posibilidad de ganar en espacio habitable gracias a la reducción de los espesores habituales y su mantenimiento, ya que disminuyen drásticamente los gastos de renovación y pintura y cobra importancia la limpieza periódica de vidrios y elementos metálicos.

Deben cumplir con una función resistente y una protectora. Con respecto a la primera, se entiende que cada elemento ha de ser capaz de soportar su propio peso y cualquier otro que gravite sobre él; con respecto a la segunda, supeditada al entorno donde está ubicada la fachada, podemos nombrar la protección contra agentes esporádicos (fuego y movimientos o vibraciones) y la protección contra agentes ambientales (viento, humedad, temperatura y ruidos, entre otros).

Según la situación que ocupan con respecto al edificio, las fachadas ligeras se clasifican en dos tipos fundamentales: las fachadas panel y los muros cortina.

FACHADAS PANEL: la fachada se inserta entre forjados, por lo que está apoyada y no suspendida.

MUROS CORTINA: la diferencia radica en que la fachada pasa por delante de los forjados y muros de modo que va totalmente suspendida por el exterior.



Esquema constructivo de una fachada ligera con estructura metálica y doble vidrio. Todas las juntas estructurales deben ser inspeccionadas una vez al año. Debe darse especial atención cuando el vidrio cumple función estructural.

Hay tantas posibilidades de instalar un muro vidriado en edificios existentes que describir cada una de ellas escapa al alcance de esta obra. En consecuencia, es preferible considerar cuestiones generales que abarquen a la mayoría de las condiciones posibles.

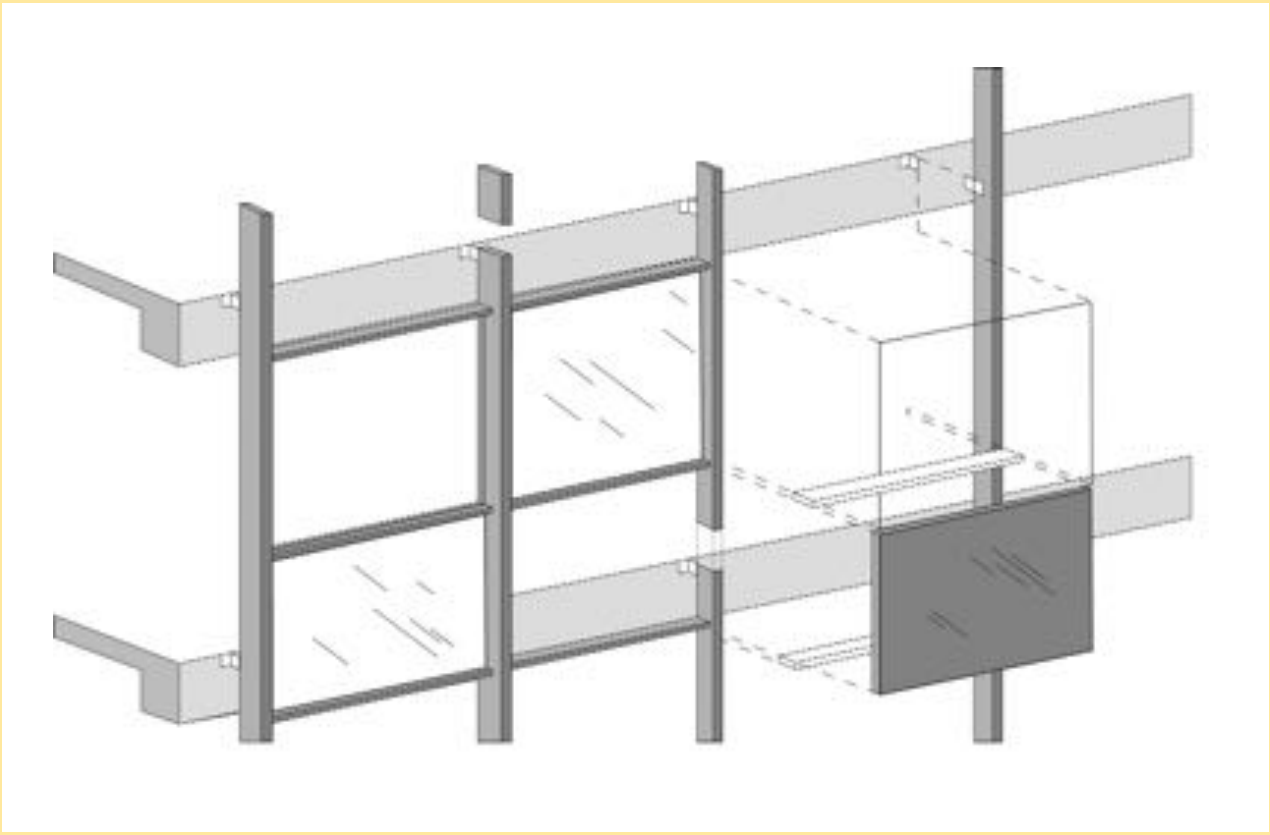
Por otro lado, si se piensa en la colocación de un muro vidriado o en la sustitución de uno en mal estado es fundamental recurrir a la ayuda de profesionales especializados. Asimismo, debe ser el fabricante del nuevo sistema –o la firma aprobada– quien esté a cargo del retiro de los componentes dañados y de la instalación del mismo y, en todo caso, sólo un personal con experiencia debe llevar a cabo las actuaciones pertinentes.

Hay dos maneras principales de instalar este sistema en edificios ya existentes. Por un lado, y en los casos en que el muro exterior es de mampostería o metal, se lo puede quitar para instalar el nuevo muro cortina, tal como se haría en un edificio nuevo.

En cambio, si esto no es factible de realizar en el edificio o si resulta demasiado costoso, está la posibilidad de instalar el nuevo sistema encima del muro existente, a través del cual se lo une con la estructura del edificio, ya que no es suficiente hacer el cierre sólo con el sistema existente.

El espacio que queda entre el muro existente y el nuevo debe ser sellado y los nuevos componentes del panel elegidos con cuidado para que no puedan aparecer alabeos a razón de las diferencias térmicas entre el espacio entre muros y el exterior.

Asimismo, dicho espacio debe ser ventilado si el nuevo sistema carece de aislación y, a veces, se le puede dirigir el aire de retorno del sistema de acondicionamiento para presurizarlo. En este caso, el muro existente debe quedar bien sellado.



Los materiales tradicionales empleados en la construcción de las fachadas ligeras y muros cortina son delgados y esbeltos, lo cual los hace muy vulnrables a los cambios de temperatura, ya sea por factores climáticos o por acción del fuego. Por lo tanto, el diseño de estos elementos arquitectónicos debería tener en cuenta estas contingencias.

Existe otra posibilidad dentro del abanico de sistemas de cerramiento. Se trata de las fachadas de doble piel, cuya concepción responde al deseo de obtener una sensación de profundidad sumada a una transparencia entre el interior y el exterior. Entre sus ventajas desde el punto de vista técnico se incluyen además el refuerzo de su estanqueidad y aislamiento acústico y térmico con respecto al exterior. Para lograr la máxima garantía de protección las dos pieles tienen que estar cerradas hacia afuera pero con una ventilación que impida las condensaciones en los meses fríos y el calentamiento en los de verano (también se puede llegar a realizar un movimiento del aire entre la fachada sur y la norte en invierno –y viceversa en verano– para crear un sistema dinámico con mejor aprovechamiento térmico).

Una de las reglas de mantenimiento aconsejada para este tipo de fachadas consiste en limpiar entre las dos pieles al menos una vez al año siguiendo alguna de estas dos soluciones técnicas posibles: la primera indica acceder al interior de la doble piel, a cada nivel y tener entre ellas una «religa» que funcione como suelo técnico (ancho mínimo de 0,80 m); la segunda plantea el acceso y desde allí la limpieza con un sistema de góndolas como se hace tradicionalmente con los muros cortina (ancho entre 0,80 y 1 m).

Los errores de diseño de un muro cortina vidriado pueden ser muchos, pero ciertamente uno muy serio consiste en elegir un sistema demasiado débil para las cargas que tendrá que soportar, lo que le hará fallar por exceso de deformación. Aquí incluimos el uso de materiales muy delgados, de marcos con secciones transversales inapropiadas para las cargas a soportar o las luces a salvar, y de ranuras poco profundas para alojar el vidrio. Un flechado severo puede deformar los componentes, crear una tensión en el metal usado y favorecer la filtración de agua y aire y la pérdida del cristal.

Uno de los problemas más importantes con este sistema es su tendencia a las filtraciones. El traspaso de agua debe ser resuelto lo antes posible para evitar el daño de los materiales del interior y puede aumentar, como así también la condensación, si las perforaciones de desagüe o los canales de drenaje no funcionan correctamente. Estos pueden atascarse bien durante la obra, bien con posterioridad, pero en todo caso se ha de cuidar su mantenimiento y limpieza.

Las filtraciones de agua también pueden deberse a la ausencia o el deterioro de los selladores y a juntas abiertas o ausentes. El material sellante alrededor de los muros cortina debe actuar como un sellador diferencial, ya que la presión en el interior es inferior a la del exterior y, en circunstancias así, sólo un sellado perfecto puede prevenir la entrada de agua. No obstante, también se recomienda igualar la presión.

En estos casos, lo primero que hay que hacer es encontrar la verdadera causa de la filtración. A continuación se resella o se reparan los selladores del cristal y las juntas abiertas y se limpian los agujeros de desagüe y los drenajes. Y, si es necesario, se instala un sistema de drenaje para los vidrios inclinados de manera que el agua no golpee.

Las prestaciones de los sistemas de cerramiento pueden ser mejoradas si se presta atención al diseño, la ejecución y la supervisión en el sellado de las juntas del cerramiento. El fallo de una junta sellada puede tener diversos orígenes y ocurrir de varios modos. En el primer caso, algunos de los factores típicos involucrados tienen que ver con defectos de diseño, aplicación y producción y con factores ambientales y de servicio. Por otro lado, las variantes de fallo incluyen el fallo cohesivo (en el sellador), la disgregación del substrato, la acumulación de suciedad y el desarrollo de microorganismos, el fallo de la entrecara sellantesubstrato y el manchado, entre otros.

Por estas razones, todo el personal involucrado con la operación de sellado de las juntas debe conocer los requisitos clave para lograr las prestaciones esperadas y debe tener a su disposición las instrucciones del fabricante del material, los procedimientos de instalación y todas las normas o códigos de práctica aplicables.

Un problema habitual en muros cortina vidriados con ineficiencia térmica son los puntos fríos y el mal funcionamiento del sistema de calefacción y aire acondicionado. En ciertos casos la transmisión excesiva de calor puede tener más que ver con el vidriado que con el muro cortina o sus componentes en sí. En consecuencia, cuando la humedad interior es alta es importante que dicho sistema tenga puentes térmicos y no hay que olvidar que la combinación de humedad alta y metal frío crean capas de condensación.

PAÑO CIEGO: Por otra parte, el diseño inadecuado del paño ciego o tramo entre ventanas o tramo de borde de forjado que suele ser fuente de inconvenientes en muchas instalaciones de muro cortina. Se usan varios materiales para cerrar este tramo, entre ellos el vidrio, el hormigón y el metal. La aislación también es necesaria, ya sea floja o aplicada al muro interior o al material de cierre. En cualquier caso, hay que pensar en una barrera de vapor que ayude a prevenir la condensación en la cavidad y en un goterón para dirigir a ésta y al agua de filtraciones menores hacia el exterior. Asimismo, se debe abrir el espacio en el tramo entre la aislación y el paño de revestimiento entre ventanas para que no se genere calor ni humedad y se aconseja evitar el contacto entre el paño ciego y otros materiales en el hueco. Un diseño o construcción inapropiada de la cavidad puede hacer que fallen los recubrimientos u oscurecedores del interior del paño ciego o de antepecho, que aparezca humedad a través del mismo paño –con formación de manchas y decoloración– o al interior del edificio, que la cerámica y mampostería sufran eflorescencias, que se deteriore la aislación y que se estropee por corrosión u otras causas.

Estos paneles o paños pueden no ser planos por diferentes razones. Las ondulaciones o desviaciones, una de las manifestaciones más comunes de los paneles poco lisos, provocan una apariencia ondulada o aceitosa en la superficie de metal, lo que se puede reducir usando en los paneles un revestimiento de metal más fuerte, o uno producido en planchas y otro en rollos. Asimismo se aconseja evitar los paños espumados en obra, en los que la contracción de la espuma puede hacer depresiones en la superficie, y controlar el proceso de fabricación. Una vez que el paño tiene una superficie irregular desde el diseño o la fabricación, la corrección puede ser imposible.

Bajo la influencia del sol los paneles aislados se calientan más en el centro que a lo largo de los bordes, hecho que puede generar ondulaciones en el revestimiento. Para evitarlo –y teniendo en cuenta que a mayor conductividad, mayores probabilidades de ondulación– se puede reducir la conductividad térmica de la aislación.

El ampollamiento aparece porque la terminación del panel no puede curvarse hacia adentro y la presión del aire contenido dentro del panel se expande y escapa creando burbujas en aquellos sitios donde la terminación no se ajusta firmemente. Las ampollas pequeñas se pueden remediar haciéndoles agujeros y dejando salir el aire presurizado; las ampollas grandes, repitiendo esto pero además inyectando un adhesivo en la abertura.

A modo de resumen, se detallan a continuación algunas consideraciones básicas a seguir por los responsables de la instalación de este tipo de sistema, con el fin de asegurar el buen funcionamiento de la unidad.

- **LOS SUBSTRATOS Y CONSTRUCCIONES LINDANTES DEBEN ESTAR EN BUENAS CONDICIONES**, ya que de lo contrario los anclajes pueden resultar inadecuados o pueden dañarse, al igual que los componentes del sistema.

- **SIEMPRE CONS IDERAR LAS CARGAS QUE DEBERÁ SOPORTAR EL SISTEMA** y cuidar que el alineado sea el adecuado, de manera que no favorezca las cargas con aplicación excéntrica que dañarían el sistema.

- **VERIFICAR QUE CADA ELEMENTO SE HALLE CORRECTAMENTE ANCLADO**, caso contrario se han de aflojar con el tiempo con la posibilidad de romper el sellador del perímetro y permitir la filtración de aire y agua y, en el peor de los casos, hacer fallar la unidad. Si no se aflojan, pueden vibrar y golpear con el viento.

- **ELEGIR EL MATERIAL SELLANTE CON SUMO CUIDADO**, teniendo en cuenta que ciertas juntas requieren selladores específicos (como es el caso de las juntas movibles). Sellar alrededor del perímetro para lograr una buena apariencia e impedir filtraciones.

- **EN LOS SISTEMAS DE MURO CORTINA DE ALUMINIO**, recordar que las fibras y capas de protección deben ser quitados inmediatamente después de la instalación para evitar que se vuelvan difíciles de retirar tras exposiciones prolongadas al sol.

- **POR ÚLTIMO, ES IMPORTANTE CUIDAR LOS COMPONENTES DURANTE LAS FASES DE FABRICACIÓN, TRASLADO Y MONTAJE**. Suele ocurrir que los preacabados resultan dañados y, si es así, se han de reparar antes que la pérdida de protección dañe al material.

Finalmente, y a modo de conclusión, simplemente recordar que cuando se trabaja con muros cortina existentes se debe usar materiales y métodos que coincidan con los de la instalación original y, en todo caso, seguir los métodos recomendados por el fabricante y el profesional.

TRANSMISIÓN DEL FUEGO

La función de puertas y ventanas es independizar, separar, cerrar o compartimentar espacios con planos verticales u horizontales. Las cuatro cualidades con que se valora la resistencia al fuego de un elemento constructivo son la estabilidad, la estanqueidad, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables.

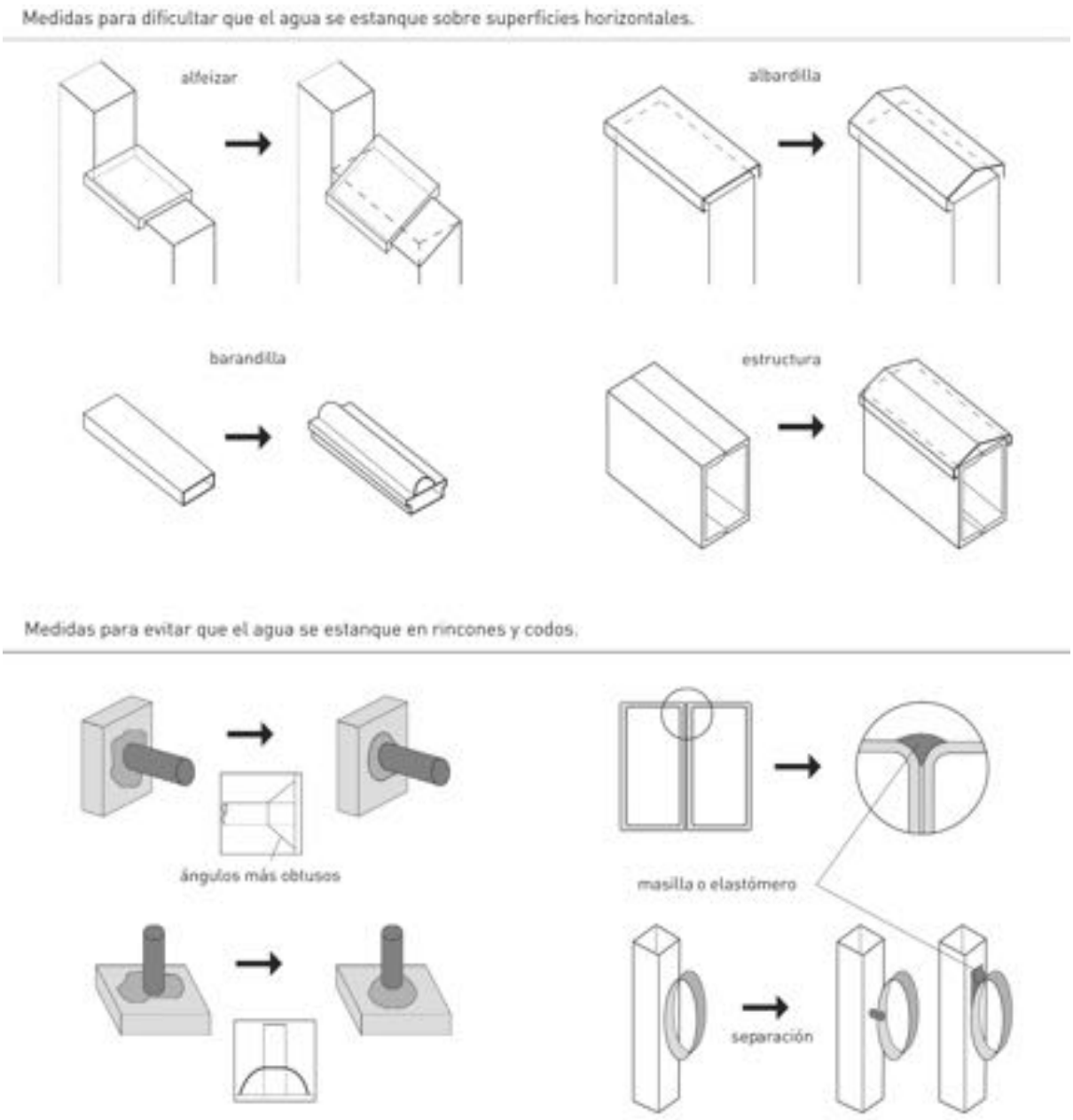
Sin embargo, y en razón de la función que cumple el elemento, la norma UNE 23093-81 señala que en ciertas circunstancias no es fundamental que todas estas cualidades se conserven durante el incendio.

Por ejemplo, para las puertas y ventanas –elementos exclusivamente separadores– esta norma admite que su resistencia al fuego se debe valorar considerando exigibles la estanqueidad, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables.

De esta manera prescinde de la estabilidad, lo que suele conducir a errores ya que en la práctica cualquier fallo en esta cualidad puede incidir negativamente en cualquiera de las otras tres mencionadas.

En consecuencia, quienes investigan el tema consideran que la estabilidad también puede ser un condicionante del comportamiento funcional ante el fuego.

ESTABILIDAD: al fuego, se define como «la aptitud de un elemento de construcción, portante o no, de permanecer inalterado en su función mecánica bajo la acción del fuego, por un período determinado de tiempo [expresado en minutos]» (UNE 23026-80).



Medidas para minimizar el efecto de la aireación diferencial en elementos metálicos.

ESTANQUEIDAD: al fuego, se define como «la aptitud de un elemento de construcción de impedir el paso de llamas o gases calientes a través de él, por un determinado período de tiempo [expresado en minutos]». De la definición se desprende que si el elemento es estanco al paso de las llamas, humos y gases de la combustión, no tienen que aparecer fisuras, orificios, grietas u otras aberturas en el mismo.

AISLAMIENTO TÉRMICO (cualidad significativa cuando se trata de elementos separadores o portantes-separadores) se refiere a la propiedad de un material o elemento de construcción de dificultar la transmisión de calor el tiempo –expresado en minutos– durante el cual impide que la temperatura en la cara no expuesta al fuego sufra un incremento (UNE 23026-80).

NO EMISIÓN DE GASES INFLAMABLES es la capacidad de un elemento de construcción para no generar ni emitir gases –procedentes de la pirólisis, combustión o descomposición del material que lo constituye– por su cara no expuesta al fuego durante un determinado lapso, también expresado en minutos. En consecuencia, esta cualidad cobra una importancia muy significativa en elementos separadores como puertas y ventanas.

Por lo general, para producir un incendio en un edificio próximo se combinan los efectos de la radiación y la convección. En ello incide la cantidad y naturaleza del material combustible y el comportamiento del viento.

La transmisión por convección no es tan propia del paso que permiten las puertas y ventanas; lo contrario ocurre con los efectos de la radiación, ya que cuando el incendio llega a su pleno desarrollo, el calor y llamas que salen a través de estos huecos van preparando la entrada en ignición de elementos combustibles cercanos como puede ser la carpintería exterior del edificio adyacente.

De esta manera, el incendio de un edificio supone un peligro para los de su entorno.

Los valores térmicos de emisión al exterior están en función de la superficie de las aberturas y, para un contenido de carga de fuego de tipo medio (alrededor de 35 kg de madera por m^2), el calor radiante es de aproximadamente 4 calorías/cm^2/seg.

Esto supone que el calor que sale por una ventana de 1 x 2 m sería de 4.800 Kcal/min.

A través del análisis de las cargas térmicas al interior del edificio y de la superficie relativa de los huecos en las fachadas se ha calculado la energía calorífica radiada en un incendio y se han fijado las normativas de construcción de algunos países regulando, entre otros aspectos, la separación entre edificios.

Para concluir, se exponen a continuación algunos valores de la resistencia al fuego (RF) que pueden orientar al seleccionar puertas en virtud de lo expuesto en este apartado.

EN PUERTAS DE MADERA:

- **PUERTA PLANA DE CARAS, DE TABLERO CONTRACHAPADO DE 5 MM DE ESPESOR (RF 5).**
- **PUERTA PLANA DE CARAS, DE TABLERO DE FIBRAS DE 5 MM (RF 8).**
- **PUERTA DE TABLERO DE PINO DE 17 MM (RF 15).**
- **PUERTA DE CARPINTERÍA DE 18 MM (RF 15).**
- **PUERTA DE TABLERO DE PARTÍCULAS 37 MM (RF 27).**
- **PUERTA DE 22 MM DE TABLERO CONTRACHAPADA E IMPREGNADA CON UN PRODUCTO A BASE DE FOSFATO MONOAMÓNICO Y BÓRAX (RF 32).**
- **PUERTA DE ROBLE MACIZO DE 35 MM (RF 32).**
- **PUERTA DE ROBLE MACIZO DE 40 MM (RF 47).**

EN PUERTAS ESPECIALES:

- **PUERTA ESPECIAL DE TIPO INGLÉS DE 37 MM (CARTÓN YESO) (RF 30).**
- **PUERTA ESPECIAL DE TIPO INGLÉS DE 47 MM (CARTÓN YESO Y AMIANTO) (RF 79).**
- **PUERTA METÁLICA SOBRE CERCO METÁLICO RELLENO DE HORMIGÓN. HOJA DE CHAPA DE 1 MM FORMANDO CAJÓN, CON RELLENO DE YESO CON FIBRA MINERAL Y REFUERZO SUPERIOR E INFERIOR CON ACERO. ESPESOR DE LA HOJA 40 MM (RF 90).**
- **PUERTA METÁLICA SOBRE CERCO METÁLICO RECIBIDO EN HORMIGÓN. HOJA DE CHAPA DE 1,5 MM, FORMANDO CAJÓN CON LANA MINERAL (DE 270 KG/M^3) Y SUJETA CON REJILLA HEXAGONAL. ESPESOR DE LA HOJA 55 MM (RF 103).**

OXIDACIÓN Y CORROSIÓN DE CARPINTERÍAS METÁLICAS

En las carpinterías metálicas las acciones químicas de oxidación y corrosión, suelen ser simultáneas o sucesivas. Se trata de procesos patológicos cuyo desarrollo guarda una íntima relación con la constitución del elemento y con las características del medio que lo rodea.

La oxidación es la reacción de la superficie de un metal en contacto con el oxígeno del agua o del aire. Dado que los metales son una combinación de diversas formas químicas –siendo las más corrientes los óxidos–, en realidad la oxidación no es más que un proceso de recuperación de su estado natural por lo que a la menor ocasión toman las moléculas necesarias de oxígeno.

En la mayoría de los metales este fenómeno crea una capa de un material compacto y resistente que protege al resto del metal de continuar oxidándose, alcanzando un punto de estabilización.

Sin embargo, no ocurre lo mismo en el hierro y la mayoría de sus aleaciones, en el que la capa formada suele ser frágil y porosa y facilita la acumulación de agua y suciedad permitiendo el avance de la oxidación y la corrosión. En consecuencia, se trata de impedir su aparición ya sea con aceros inoxidables o con distintos tipos de protecciones.

Los elementos de zinc, cobre y aluminio, bastante utilizados en los marcos de puertas y ventanas, también se autoprotegen con esta capa de óxido y, si no quedarán a la vista o en contacto táctil con los usuarios del edificio o vivienda, no se les aplica más protección.



Uno de los peores inconvenientes con las carpinterías de chapa a la intemperie es la oxidación. Hoy en día se está optando por otros materiales como el aluminio, acero inoxidable o al menos chapa galvanizada prepintada.

Sin embargo, cuando se trata de carpinterías de ventana o barandillas de cobre, aluminio y latón, se recurre a algún tipo de tratamiento superficial que mejore su aspecto y facilite el mantenimiento.

La diferencia entre este fenómeno de la oxidación, que como vimos es una simple alteración superficial que suele ser incluso protectora, y la corrosión, es que esta última resulta un proceso claramente degradante con evoluciones diferentes según el fenómeno fisicoquímico concreto. A continuación se analizará cada una de estas formas posibles.

CORROSIÓN POR OXIDACIÓN PREVIA: es muy común y, en esencia, se trata del proceso por el cual la capa de óxido de hierro, porosa y con fisuras, al humedecerse por el contenido de humedad ambiente o por el agua de lluvia u otras procedencias, se transforma en hidróxido férrico con un potencial eléctrico superior al del hierro que permanece debajo.

Los poros de la capa favorecen la permanencia de agua y todo esto hace que se establezca una pila electroquímica entre el hierro que actúa de ánodo (polo negativo) y el hidróxido férrico que actúa de cátodo (polo positivo), formándose una corriente de electrones que corroe al hierro. Resulta un proceso bastante habitual en superficies férricas ***A LA INTEMPERIE Y SIN PROTECCIÓN***.

Este fenómeno, cuando aparece en metales como aluminio o zinc, lo hace de un modo mucho más lento debido a las características de la capa que se forma en su superficie y que analizamos al hablar de la oxidación.

CORROSIÓN POR PAR GALVÁNICO: también es un tipo muy abundante, su aparición es muy localizada. Surge por la diferencia de potencial electroquímico entre dos metales distintos o entre un metal y el álcali de un cemento o un ácido contenido en maderas u otros materiales y, en todos los casos, se necesita un electrolito que en forma de fluido conduzca la corriente eléctrica que se forma.

Debido al uso de piezas de acero para la sujeción de metales, como los tornillos, grapas y abrazaderas, suelen haber muchas formas de par galvánico en las fachadas.

Como medida general y siempre que sea posible, se sustituye la pieza corroída por otra de un metal que no provoque par galvánico y, en cualquier caso, se tratará de interponer una barrera aislante para evitar el contacto del electrolito (barrera de PVC o neopreno –barrera anti par galvánico–).

Si el par galvánico aparece entre un metal y un material no metálico, y la pieza afectada por la corrosión todavía se puede recuperar, antes de volver a colocarla se recomienda limpiar y proteger.

CORROSIÓN POR AIREACIÓN DIFERENCIAL: el par galvánico se produce entre la zona seca que actúa de cátodo y la húmeda que actúa de ánodo, resultando corroída esta última. Es una situación muy frecuente en alféizares y vierteaguas de ventanas y en cualquier elemento estructural horizontal, ya que cuentan con hendiduras y rincones y con áreas con la suficiente horizontalidad como para favorecer la acumulación de agua.

En el plano horizontal, si el agua aparece en las zonas intermedias de los elementos lo más conveniente puede ser aumentar la inclinación de la superficie, pero esto no siempre es posible.

Si se trata de un alféizar de ventana, se aconseja desmontarlo y volverlo a colocar con la inclinación adecuada, y lo mismo habrá que hacer en albardillas de chapa. Y, si se trata de pasamanos, se ha de suplementar con una nueva pieza con curvatura en caballete, o basarse exclusivamente en la protección antioxidante.

De lo contrario, la única solución consiste en sustituir el elemento afectado por otro que cumpla las previsiones.

Con respecto a los rincones, se recomienda su eliminación siempre que sea factible y, a tal fin, se proponen dos procedimientos en función de su situación. Si estamos ante empotramientos a muros pétreos, tanto en horizontal como en vertical, se puede interponer un escudo que actúa de tajapuntas y cambia el ángulo de 90 º por otros dos más obtusos que acumulan menor agua y suciedad.

En cambio, con respecto a los encuentros intermedios, se puede llegar a anular los ángulos más agudos mediante masillas y elastómeros, aunque esto no deje una apariencia del todo satisfactoria.

CORROSIÓN INTERGRANULAR: en cambio, no es tan frecuente. Tiene lugar en aleaciones metálicas donde no se logró la perfecta unión de los diferentes metales que las componen, ya sea por errores durante la fabricación o por las proporciones que se adicionaron en el proceso. Como consecuencia, los cristales que constituyen los distintos metales aleados quedan separados.

ANOMALÍA	CAUSA
Adherencia	Preparación de superficie no adecuada al tipo de pintura
Corrosión	Sistema de recubrimiento no adecuado para las condiciones de servicio, a causa de: - la preparación de superficie - el tipo y calidad de las pinturas aplicadas - un espesor de película seca insuficiente
Ampollas	La película seca es permeable al vapor de agua, lo que se debe a: - tipo y calidad de las pinturas empleadas - espesor de película insuficiente
Amarilleamiento	Tipo de vehículo. Amarillean: - pintura al aceite - poliuretanos aromáticos
Caleo	Calidad de la pintura empleada: - PVC elevada - pinturas epoxi: calean en exteriores
Cambio de color	Pinturas al aceite o alcídicas amarilleables. Pigmentos no estables a la radiación UV.

ALGUNOS EJEMPLOS DE ANOMALÍAS EN RECUBRIMIENTOS APLICADOS EN SUPERFICIES DE ACERO
(Fuente: Curso de Patología Nº 3. COAM).

El resultado de esta independencia introduce la posibilidad de un número elevado de micropares de corrosión. Este fenómeno, posible en cualquier tipo de aleación metálica, es muy evidente en el acero inoxidable, donde es prácticamente el único tipo de corrosión presente.

CORROSIÓN POR INMERSIÓN: el metal se ioniza al estar en contacto con el agua. Sus iones se combinan con los del hidrógeno del agua y de esta manera se produce una capa de hidróxido que, en función del pH de la solución, puede disolverse y provocar la pérdida de material (corrosión).

Este tipo de corrosión afecta a la mayoría de los metales, su intensidad depende de los límites del pH dentro de los cuales el hidróxido correspondiente se mantiene estable y, pese a ser típica de los elementos metálicos sumergidos, también suele aparecer en fachadas (jardinerías, canalones, ciertos tramos de cerrajería).

Lo conveniente, ante todo, es ver si la pieza es recuperable, lo que no es muy usual en las corrosiones por inmersión ya que, al estar oculta la parte de la pieza que se corroe, no se percibe la lesión hasta que está muy avanzada y el elemento ha perdido su integridad.

Si es recuperable, se aplica una protección de tipo impermeable como productos bituminosos o cauchos sintéticos y, a continuación, se debe estudiar la posibilidad de que el agua no logre llegar a la parte oculta, por lo general piezas empotradas, para lo cual se recurre a los sellados y tapajuntas.

DIAGNOSIS DE LA OXIDACIÓN Y CORROSIÓN

Los tipos de corrosión nombrados, si bien fácilmente distinguibles, suelen presentarse en forma conjunta. La corrosión por oxidación previa suele ser dominante y aparecer combinada con la corrosión por aireación diferencial que, por otra parte, también puede acompañar a las corrosiones de inmersión en los empotramientos y de par galvánico en encuentros entre dos metales distintos.

Baste decir que, en cualquiera de los casos, es muy probable que todo se inicie por la ausencia de mantenimiento del área o elemento, lo que sin duda facilita la pérdida de protección del elemento metálico.

Se puede recurrir a una limpieza e imprimación pero, como en la mayoría de los casos esto resultaría insuficiente, se aconseja, en primer lugar, llevar a cabo un análisis detallado de la lesión. De esta manera se pueden conocer los diferentes procesos presentes y tomar las medidas más pertinentes al respecto. A continuación se detallan los pasos a seguir en el estudio del proceso patológico:

- **IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE CORROSIÓN PRESENTES.**
- **DE EXISTIR PAR GALVÁNICO, ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS QUE CONSTITUYERON LA PILA ELECTROQUÍMICA.**
- **DE EXISTIR INDICIOS DE CORROSIÓN INTERGRANULAR, ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE DICHA ALEACIÓN.**
- **DE EXISTIR AIREACIÓN DIFERENCIAL O INMERSIÓN, ANÁLISIS DE LA PIEZA CORROÍDA.**
- **ESTUDIO DEL NIVEL DE AVANCE DE LA CORROSIÓN, CON EL FIN DE CALIBRAR LA POSIBILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL ELEMENTO METÁLICO.**

A partir de los resultados obtenidos en los pasos mencionados, es posible establecer un diagnóstico con el que determinar las medidas de reparación más apropiadas.

SISTEMAS DE REPARACIÓN

Lo pertinente es actuar sobre la causa origen del proceso de corrosión y de esta manera reparar el efecto que, en esencia, consiste en la limpieza profunda y la imprimación protectora del metal afectado. Si bien en ciertas ocasiones esta operación alcanza para intervenir en la misma causa (corrosión por oxidación), en otras circunstancias se han de tomar medidas preventivas orientadas a anularla. A continuación se presentan variados tratamientos en función del tipo de metal afectado y se analizan distintas posibilidades de prevenir o dificultar la oxidación y corrosión de los elementos que aquí nos ocupan.

A. SISTEMAS DE LIMPIEZA

Si la lesión avanza con lentitud el elemento afectado puede ser recuperable y, en ese caso, se aconseja proceder a una limpieza a fondo que en lo posible no permita la permanencia de restos de óxido de metal. Esta limpieza en profundidad, o decapado, puede realizarse mediante tratamientos mecánicos o químicos, siendo más corrientes entre los primeros el cepillado y el chorreado.

CEPILLADO: es un sistema manual con relativo alcance. Se lleva a cabo con cepillos metálicos y es conveniente que se destine a casos sencillos con poca profundidad de corrosión, ya que cuando la capa de óxido es dura y la geometría del elemento es complicada este sistema no da buenos resultados.

CHORREADO: tiene, por el contrario, mayor energía de abrasión. En consecuencia, es más recomendable para elementos de mayores superficies y geometrías complejas con capas de corrosión considerables.

Por lo general consiste en una proyección de arena silícea, pero se puede elegir otro tipo de proyectil como viruta de acero o granalla de plomo; lo que sí se aconseja es tener cuidado con estos últimos, ya que pueden provocar ciertos problemas colaterales en el propio metal.

Como señalamos al comienzo, además de los procedimientos mecánicos existen aquellos de naturaleza química.

DECAPADOS QUÍMICOS:. Estos consisten en la aplicación superficial, mediante brocha o aerosol, de algún producto químico que tenga la particularidad de poder descomponer el óxido metálico y convertirlo en una capa porosa que no cueste eliminar por cepillado o simple rascado. Dichos productos son muy variados y se han de elegir en función del óxido de que se trate y, por supuesto, siempre atendiendo a las recomendaciones de uso de sus fabricantes.

Finalmente, el proceso se completa con un buen cepillado o, incluso, con un chorro de arena que asegure la correcta limpieza del elemento.

B. SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Estos sistemas son muy variados y están en evolución permanente. No obstante, podemos hacer una primera distinción entre la protección de un elemento ya colocado y limpio y la de uno desmontable que por lo tanto permite la realización de la protección en el taller y, en consecuencia, en condiciones muy diferentes.

PROTECCIÓN IN SITU: debe ser a base de productos líquidos aplicados con brocha o pistola, y la protección puede ser metálica o no metálica u orgánica. Esta última incluye productos conocidos como inhibidores de la corrosión y de esta manera crea una capa química resistente a la oxidación. Las protecciones más comunes en este caso son a base de minio de plomo y cromato de zinc, pero también se puede incluir aquí, entre otros, a los productos bituminosos y de caucho natural y sintético, todos ellos impermeabilizantes que actúan como una auténtica barrera de estanqueidad y dificultan la oxidación. Una vez limpio el elemento y comprobado que no quedan restos de polvo o grasa, se han de aplicar estas protecciones ni bien sea posible y asegurar así que no se forme una nueva oxidación superficial.

Por su parte, están las protecciones metálicas que, más modernas y de mayor coste, tienen que ser aplicadas en frío cuando se trata de una intervención in situ. Los productos más conocidos son los derivados de los metales de bajo punto de fusión como plomo, cadmio, estaño y zinc. Sea cual sea el utilizado, siempre se debe considerar el potencial electroquímico del metal y de la protección.

Así, una protección de potencial más negativo que el metal permanece como ánodo y el metal protegido actúa como cátodo y no se corroe; por el contrario, una protección más positiva que el metal a proteger puede hacer que éste se convierta en el ánodo de un par galvánico, apareciendo la corrosión.

De esta manera, es conveniente asegurar una perfecta adherencia entre las dos capas para evitar filtraciones de humedad que favorezcan el par galvánico.

PROTECCIÓN EN TALLER: que puede realizarse cuando el elemento es desmontable, se afirma que se trata de un tratamiento más completo. En este caso se utilizan protecciones metálicas aplicadas mediante diversos procedimientos, de los cuales detallamos a continuación los más usuales.

- ***INMERSIÓN***: se sumerge el elemento a proteger en un recipiente que contiene el metal de recubrimiento fundido, o bien puede realizarse en la solución de una sal de metal más noble que actúe de protección y que se deposita en la superficie. En el segundo caso, y para mejorar tanto la adherencia como la resistencia de la capa de protección, se puede pasar corriente eléctrica por la solución –sistema de electrodepositación que se usa en el galvanizado–.

- ***METALIZACIÓN***: consiste en proyectar sobre el elemento un chorro de gotitas del metal de protección fundido. Antes de elegir el metal protector, se aconseja evaluar si su actuación será como ánodo o como cátodo respecto del metal del elemento protegido.

- ***TRATAMIENTOS QUÍMICOS***: se trata de técnicas más modernas destinadas a lograr la transformación química de la superficie del elemento metálico, para volverla más resistente a los procesos de oxidación y corrosión. Son dos los sistemas más representativos: la fosfatación –aplicable sobre todo al acero y consistente en la transformación de su superficie en fosfatos complejos, estables e insolubles sin que se alteren el espesor ni las propiedades físicas de la pieza– y la protalización, utilizable en aluminio y zinc.

Estos sistemas de protección fueron desarrollados con el fin de impedir o dificultar la oxidación y corrosión de los elementos metálicos, independientemente del aspecto resultante en las piezas tratadas.

En consecuencia, éste por lo general no satisface las exigencias estéticas de un acabado normal. Salvo en casos especiales como el cromado o anodizado, la apariencia del elemento puede resultar rugosa y porosa con una tonalidad poco atractiva.

De esta manera, si la pieza está a la vista, se aplica una pintura de acabado que también colabora en su protección y que debe mantenerse periódicamente y reponerse si es necesario.

Las pinturas utilizadas deben ser elegidas en función del clima y los niveles de contaminación en la zona para que sean elásticas y resistentes a la intemperie y para que tengan el espesor adecuado, por lo que en esto también son decisivas las recomendaciones del fabricante. Por lo general basta con unas 120 micras de espesor (dos capas de pintura).

Finalmente, cabe añadir que, si la corrosión se haya tan avanzada como para hacer peligrar la integridad del elemento en cuestión (en el caso de que se haya perforado o reducido una sección) o si su aspecto ya es irrecuperable, la única solución posible consiste en la ***SUSTITUCIÓN*** de dicho elemento por uno nuevo.

Ya que es evidente que hay que lograr una perfecta unión con el resto de las piezas metálicas, muchas veces se deben sustituir tramos enteros del conjunto para hacerlo posible.

TRATAMIENTOS PREVENTIVOS

La primera medida a considerar tiene que ver con las protecciones antioxidantes y anticorrosivas y debe perfilarse desde un principio mediante su descripción en los documentos escritos del proyecto, si se trata de un edificio nuevo.

Antes de la aplicación de la protección, sea del tipo que sea, se debe asegurar la limpieza del elemento con el fin de facilitar su adherencia (evitando así el desprendimiento de la capa) y de anular posibles focos de alteración superficial.

Con respecto a la protección aplicada por medios especiales, que mencionamos al hablar acerca de los sistemas de reparación, debemos añadir aquí algunas medidas de prevención no utilizables en reparaciones: tratamientos por laminación conjunta del metal base y el metal protector y tratamientos por anodizado.

El primero, empleado cuando el elemento en cuestión puede obtenerse por laminación (perfiles, tubos), se suele realizar en caliente y permite una adherencia perfecta entre ambos metales.

El segundo, en cambio, se emplea en elementos de aluminio y consiste en la formación de una capa superficial de este mismo metal pero más resistente y pulido, por procedimientos normalmente electroquímicos. Suele requerir un sellado posterior con resinas que elimine al máximo su porosidad y la posibilidad de fisuras.

Algunas de las ventajas más importantes del aluminio incluyen su bajo peso y características mecánicas, la facilidad de mecanizado o conformación y su resistencia a la corrosión por la oxidación natural que le protege a sí mismo. Además, puede conseguir, con determinadas aleaciones, una relación de característica/peso mucho mejor que el acero.

ANODIZADO: es uno de los sistemas más clásicos en la construcción y la industria. Consiste en la oxidación provocada y controlada del aluminio pero, sin embargo, se le reconocen algunas limitaciones referidas a la gama de colores disponibles. Incluso, al pensar en posibles problemas futuros, se ha de recordar la incidencia de tres factores que afectan a la calidad del producto final, además del propio lacado o anodizado del aluminio. Estos son:

- **LA CALIDAD DEL ALUMINIO SOBRE EL QUE SE APLICARÁ EL ACABADO DE SUPERFICIE** (anodizado o lacado): debe tener una apropiada composición química para cada aleación y no presentar marcas, rayas o puntos de impurezas superficiales.

- **EL PROCESO DE CORTE Y MECANIZADO EN LA FABRICACIÓN DE PUERTAS, VENTANAS O FACHADAS** debe ser el adecuado y respetar las normas y procedimientos homologados.

- **EL MONTAJE Y PUESTA IN SITU DE LOS MATERIALES YA MECANIZADOS** deben ser los apropiados con el fin de evitar posibles problemas y simplificar el mantenimiento futuro.

Las medidas preventivas a tomar en relación con los diferentes tipos de corrosión posibles suelen confundirse muchas veces con los pasos a seguir durante la reparación de la lesión.

En el caso de las plataformas horizontales vimos que la corrosión puede aparecer por oxidación previa pero también por aireación diferencial; para anular cualquier posibilidad de que surja esta última, ante todo se debe evitar la acumulación de agua por puntos y a tal fin se recomienda lo siguiente:

- **EVITAR EL GOTEO DIRECTO SOBRE LOS PLANOS HORIZONTALES.**

- **DAR A ESTOS PLANOS LA MÁXIMA INCLINACIÓN POSIBLE**, ya sea inclinándolos (alféizares, albardillas), dándoles una curvatura transversal (barrotes, barandillas) o utilizando perfiles tubulares o semitubulares.

- **EVITAR TANTO LAS UNIONES QUE PUEDEN GENERAR HENDIDURAS COMO EL USO DE CHAPAS Y PIEZAS CON UNA TEXTURA SUPERFICIAL** que facilite la acumulación de agua y suciedad (a no ser que esto se evite por inclinación acentuada: escalones y plataformas de chapa estriada).

- **PROTEGER LOS ELEMENTOS DE HORIZONTALIDAD INEVITABLE** mediante albardillas con inclinación apropiada.

Veamos ahora cuáles son las medidas preventivas más adecuadas con respecto a los ángulos y rincones, donde el peligro lo constituye la aireación diferencial por acumulación de agua y suciedad. Aquí se distinguen tres posibilidades de solución, de las cuales dos fueron nombradas al señalar las características de la lesión, básicamente porque también consisten en soluciones de reparación. No obstante, en este caso, se trata de que la medida sea prevista en el proyecto mismo:

- **SIEMPRE QUE SEA POSIBLE, ANULAR LOS RINCONES EN EL DISEÑO DE LAS PIEZAS** (en especial en las cerrajerías), lo que no quiere significar la simplificación del diseño formal –inaceptable muchas veces–, sino buscar una disposición apropiada de las distintas piezas. Por ejemplo, separándolas de manera que no se acumule polvo y suciedad se puede eliminar parte de los focos de corrosión.

- **RELLENAR RINCONES Y HENDIDURAS CON MÁSTICS ASFÁLTICOS Y SELLADORES.**

- **DISEÑAR ESCUDOS U OTRAS PIEZAS QUE LOGREN DOS ÁNGULOS OBTUSOS DE UNO RECTO O AGUDO**, de manera que se haga más difícil la acumulación de agua.

Con respecto a los empotramientos, ante todo se han de impedir las corrosiones por aireación diferencial e inmersión, para lo cual los procedimientos adecuados, si bien son a los que se acude en el momento de reparación, deben considerarse en el diseño como medida preventiva:

- **GARANTIZAR LA EXISTENCIA DE UN ESCUDO PROTECTOR QUE ACTÚE TAMBIÉN DE TAPAJUNTAS.**

- **SELLAR LAS UNIONES CON ELASTÓMEROS.**

- **PROTEGER CON ANTERIORIDAD LA PARTE DE LA PIEZA A EMPOTRAR**. Se suele caer en el error de creer que una pieza de acero rodeada de mortero de cemento u hormigón no necesita protección previa. Si bien esto puede valer en el caso de armaduras que permanecen dentro del hormigón (y que como no tienen contacto con el exterior no pueden oxidarse ni corroerse, aunque a veces puedan ser atacadas por el oxígeno del aire o los propios álcalis), nunca debe pensarse para las piezas con parte en el interior y en el exterior, ya que por diferencia en los coeficientes de dilatación puede abrirse la junta constructiva entre metal y mortero y penetrar el agua hasta empapar la pieza. Además, la porosidad del mortero facilita la entrada de humedad.

Para proteger las uniones entre distintos metales hay que impedir la aparición de pares galvánicos entre metales de distinto potencial electroquímico. La manera de lograrlo es sencilla, simplemente evitando dichas uniones y usando tornillos y abrazaderas del mismo metal.

Sin embargo, si esto no es posible, se ha de introducir algún material aislante entre los distintos metales (láminas plásticas poco conductoras o de uniones puntuales con idénticas propiedades).

Se ha estudiado que tener en cuenta un cierto orden en la colocación de los diferentes metales en la fachada puede resultar muy conveniente para que, al discurrir el agua verticalmente, no se vea facilitada la transmisión de los electrones. De esa manera, de arriba abajo el orden más apropiado sería: magnesio-aluminio-manganeso-zinc-cromo-hierro-cadmio-níquel-estaño-plomo-cobre.

Si el objetivo es impedir la corrosión de tipo atmosférica se han de estudiar los distintos procedimientos de protección hasta encontrar el más conveniente. Los metales ferrosos sólo deben ser pintados tras una preparación adecuada de la superficie de manera de asegurar que la pintura resista.

Esta preparación consiste en eliminar la calamina que si se desprende arrastraría el producto, el moho que haría estallar la capa de pintura al crecer y cualquier grasa e impureza que reduciría la adherencia de la película. Se puede realizar bien de forma mecánica (cepillado mecánico, quemado al soplete y enarenado, entre otros), bien de forma química (disolventes, ácidos y bases).

La pintura, al menos en la primera capa, ha de contener pigmentos eficaces como el minio de plomo –el más usado en construcción por ser de fácil aplicación– el zinc y el cromato de zinc, y ser poco propensa a la corrosión. Asimismo, se recomienda aplicar esta protección en dos capas: la primera termina de limpiar la superficie y la segunda asegura la cubrición uniforme de la misma.

Como protector del hierro también se utilizan las pinturas bituminosas de asfalto o alquitrán, pero estos productos no se aconsejan como sustituto del minio en caso de pintado posterior, ya que su solubilidad con los disolventes orgánicos de los esmaltes podrían estropear el color final.

Existen otros tratamientos protectores de la corrosión pero, como no se suelen aplicar en obra por ser propiamente industriales, se tendrán en cuenta al exigir calidad al fabricante de los productos ya que muchas veces la única solución posible ante una corrosión en elementos metálicos consiste en sustituirlos por otros adecuadamente tratados. Los siguientes son algunos de los tratamientos industriales más corrientes:

- **ELECTRÓLISIS** (cromado, niquelado): para piezas prefabricadas.

- **BAÑOS** (estañado, galvanización): para piezas prefabricadas o productos semifabricados.

- **CEMENTACIÓN** (difusión de los metales en contacto con un horno), calorización (aleación de protección muy dura de aluminio y hierro, especial para elementos de calderas) o sherardización (aleación dura de hierro y zinc).

- **REVESTIMIENTOS A BASE DE EBONITA O DE CAUCHO CLORATADO**: de tratamiento anódico, adaptado al aluminio y sus aleaciones (protalización).

Por último, no se puede hablar de medidas preventivas sin hacer hincapié en lo fundamental que resulta el mantenimiento periódico de todos los elementos de la fachada y la reparación o reposición de piezas cuando sea necesario. Si bien hemos hablado de ciertos cuidados que se han de tener ya desde el proyecto, de manera de adelantarse a posibles lesiones futuras, un buen control a tiempo puede prevenir el desarrollo de procesos patológicos que sin tratamiento pueden significar la pérdida de los elementos.

ACRISTALAMIENTOS

La mayoría de las definiciones que se proponen para entender el vidrio, lamentablemente, resultan ser insuficientes. Pero esto es por una sencilla razón, y es que su complejidad y variada naturaleza química impiden definirlos atendiendo a su composición. Baste entonces clasificarlos en líneas generales en vidrios inorgánicos, orgánicos mixtos y orgánicos. Por otra parte, las posibilidades de aplicación de este elemento son tan diversas que cualquier unificación de criterios podría resultar incompleta.

De todas maneras, una definición de las más aceptadas para el vidrio común desde el punto de vista de sus propiedades técnicas, es la que lo señala como un producto inorgánico y amorfo, duro o frágil y transparente, constituido principalmente por sílice, de alta resistencia química y deformable a temperaturas elevadas.

El término acristalamiento designa al elemento constituido por una o más hojas de vidrio, que puede ser recocido o templado. Los productos recocidos son aquellos que, tras su obtención por fusión de sus elementos, son sacados del horno y sometidos al proceso de recocido con el fin de eliminar tensiones.

En cambio, los productos templados reciben un tratamiento térmico que consiste en un calentamiento hasta 700 ºC y enfriamiento posterior, con el objeto de mejorar sus propiedades mecánicas y por supuesto térmicas. En este último caso, la desventaja principal es que una vez templado no puede ser cortado por técnicas normales; la ventaja, no obstante, es que si llegara a romperse se fragmentaría en pequeñas partículas no cortantes.

El acristalamiento puede ser simple o aislante, de seguridad o especial, y el vidrio puede ser absorbente, reflectante y coloreado, entre otras variantes. A continuación haremos una breve descripción de cada uno de ellos para facilitar una visión de conjunto de los diferentes tipos.

- **ACRISTALAMIENTO SIMPLE**: la función de cierre de la abertura se efectúa mediante una única hoja de vidrio.

- **ACRISTALAMIENTO AISLANTE**: la función de cierre se logra con dos o más hojas que se separan mediante una cámara de aire deshidratado. Este conjunto es asegurado por un perfil metálico que contiene un material desecante que protege las condiciones de la cámara; la estanqueidad se consigue con un doble sellado perimetral.

- **ACRISTALAMIENTO DE SEGURIDAD**: según la cantidad de hojas utilizadas y su espesor, se puede conseguir desde una seguridad simple hasta una protección antibala. En todo caso, se trata de un vidrio compuesto por dos o más hojas que se aplacan una contra otra y se unen gracias a una lámina de butyral de polivinilo que retiene las partículas de vidrio en caso de rotura.

- **ACRISTALAMIENTOS ESPECIALES**: aquí se incluye al vidrio impreso, vidrio armado (contra impactos y fuego), vidrio moldeado (para paramentos verticales y zonas transitables como claraboyas), vidrio colado (armado o sin armar) y a los vidrios resistentes al fuego.

Defectos de vidrio hueco y prensado	Defectos de forma	Abombado, contraído, ovalado, boca deformada, fondo deformado, flecha, conicidad
	Defectos de distribución	Arruga, rebaba, costura, distribución irregular, ondulación interna, distorsión, descentrado, marca de tijera, distorsión óptica, aplastamiento, columpio
	Defectos de aspecto de la superficie	Marca de molde, marca de herramienta, incrustación, rizado, costura, arrugas horizontales, piel de naranja, manchas
	Fisuras superficiales	Grieta, petadura, cuarteado, desconchado, pegadura, arrancado, rozadura, desfondado, golpe
Defectos comunes al vidrio plano	Fisura, glasadura, martelado, desconchado, chafado, incrustación, suciedad, bisel, falsa escuadra	
Defectos comunes al vidrio plano, estirado y laminado	Peine, badén, prismaticidad, doble imagen	
Defectos de vidrio plano estirado	Marcas de rodillo, onda azul, distorsión, picado	
Defectos de vidrio plano laminado	Huella de rodillo, golpe de rodillo, ondulación, arruga de colada, festoneado, patas de gato	
Defectos de vidrio plano desbastado y pulido	Picadura, arena, raya de ferrasa, bruñido, gris de pulido, filasa, cadena, impresión de tela, piel de naranja, raya azul, moaré	
Defectos de vidrio plano impreso	Falta de impresión, mala impresión, dibujo sinuoso, contradibujo, patas de gato	
Defectos de vidrio plano armado	Malla rota, malla deformada, malla inclinada, malla curvada, estampado, tamizado, tejadillo, punto de cadeneta, burbuja de alambre, bandera	
Defectos de vidrio plano flotado	Polvo de estaño, gota de estaño, mancha de estaño, marcas de «dross», martelado, distorsión, marcas de cortina, marcas de labio, hilo, cráter	
Defectos de vidrio óptico	Gris, raya, filanta, pique, piel de naranja, velo, inclusiones de moldeo, cerrada, abierta	

DEFECTOS DE CONFORMACIÓN Y MANUFACTURA DEL VIDRIO

(Fuente: «El Vidrio» (2ª edición). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Fundación Centro Nacional del Vidrio. Madrid, 1991.Autor: José María Fernández Navarro).

CAUSAS DEL FALLO DEL ACRISTALAMIENTO

Se consideran defectos del vidrio a todas aquellas manifestaciones que alteran su naturaleza o inciden de manera adversa en sus propiedades y que son generadas accidentalmente. Casi todos los defectos o irregularidades más habituales ocasionan la reducción de la transparencia y una mayor fragilidad en este elemento, de modo que sus principales características se ven perjudicadas.

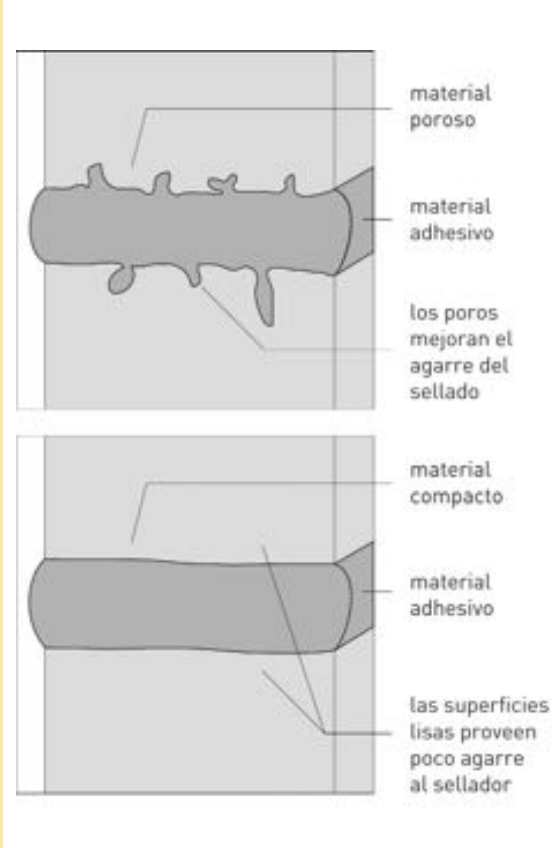
A. DEFECTOS DE FABRICACIÓN

La mayoría de los defectos del vidrio consisten en una falta de homogeneidad de naturaleza química o física. Las heterogeneidades químicas consisten en la aparición de discontinuidades de la masa vítrea debido a inclusiones cristalinas, vítreas o gaseosas o por la coexistencia de fases vítreas con composiciones diferentes. Reciben el nombre de ***DEFECTOS DE FUSIÓN O DE MASA*** y suelen manifestarse durante la fase de elaboración del vidrio (antes del proceso de moldeo).

Las inclusiones cristalinas que aparecen en el vidrio se conocen como piedras o defectos de vitrificación independientemente de su procedencia, ya que puede tratarse de impurezas de la mezcla y restos de material refractario como de piedras generadas por desvitrificación local. Cualquiera sea su origen, las piedras constituyen un defecto muy serio al afectar el aspecto del vidrio y perjudicar sus propiedades mecánicas cuando alrededor de ellas se crea un campo de tensiones internas que puede ser fuente de fracturas.

Las inclusiones vítreas, por su parte, consisten en unas zonas del vidrio con diferente composición química o naturaleza térmica que resultan en coeficientes de dilatación e índices de refracción y densidad desiguales; en el primer caso aparecen las tensiones mecánicas y en el segundo son notorios los efectos de distorsión óptica.

Esta falta de homogeneidad puede adquirir diversas formas y aspectos: ***NÓDULOS*** (forma esferoidal bien delimitada y abultamiento pronunciado), ***LÁGRIMAS*** (forma de gota con cola filiforme), ***CUERDAS*** (forma de largas venas gruesas y pronunciadas), ***HILOS*** (venas muy finas aisladas unas de otras), ***ESTRÍAS*** (venas débiles y delgadas) y ***GOMAS*** u ***ONDAS*** (con un aspecto más difuso y ondulante).



Esquema de cómo las superficies colaboran en el agarre de los selladores.

Las causas de su formación son múltiples. Pueden deberse al mezclado irregular de las materias primas, a algún proceso de contaminación durante la disolución del material refractario en el vidrio fundido o a la segregación de las materias primas durante el almacenamiento o transporte de la mezcla. En otros casos, también, pueden ser el resultado de la volatilización de algunos componentes del vidrio.

Por último, las inclusiones gaseosas son cavidades formadas en el vidrio por la oclusión o el desprendimiento de gases en el fundido que reciben el nombre de burbujas. No obstante, los términos más empleados para distinguirlas en función de su tamaño son:

- **PUNTO BRILLANTE**: burbujas con un diámetro entre 0,2 mm y 2 mm.
- **PUNTO O PUNTO FINO**: burbujas de aproximadamente 0,2 mm.
- **PICADO**: burbujas de tamaño inferior a 0,2 milímetros y repartidas uniformemente por todo el vidrio.
- **PICADO CERRADO O ESPUMA**: burbujas de tamaño inferior a 0,2 mm y muy concentradas en un área determinada.

Las burbujas son esféricas siempre que la masa vítrea tenga una elevada fluidez. Pueden, en cambio, tener una forma elipsoidal más o menos alargada si sufrieron una deformación durante la conformación del vidrio o por arrastre. Finalmente, la masa del vidrio puede presentar también defectos de coloración que consisten en una desviación de la tonalidad buscada.

La segunda posibilidad –defectos debidos a una falta de homogeneidad de naturaleza física– suele ser una consecuencia de la primera pero también puede presentarse como resultado de un tratamiento térmico inadecuado o por deformaciones mecánicas. En todo caso, estos defectos se manifiestan en el producto acabado.

Las irregularidades en el vidrio pueden aparecer a lo largo de cualquiera de las etapas principales de su fabricación –fusión, conformación, recocido– y también durante su almacenamiento y servicio. Es fundamental indagar en qué fase puede iniciarse un determinado defecto, pero teniendo en cuenta la posibilidad de que una perturbación se presente en diferentes momentos. Este es el caso de la formación de burbujas, factible en cualquiera de las fases del proceso de elaboración. Por otro lado, algunos defectos pueden ser secundarios, es decir, ocasionados por un problema anterior. Aquí podemos pensar en un fragmento desprendido del material refractario que llega a vitrificar sin el tiempo necesario para homogeneizar con el vidrio fundido; esto permite la existencia de zonas de diferente viscosidad que probablemente resultarán en deformaciones.

Por último, hay que señalar que en algunas circunstancias una misma causa puede llegar a originar dos o más defectos a la vez.

Lo primero que se aconseja hacer una vez hallada la irregularidad, es estudiar su sintomatología para identificar las causas. De esta manera, una vez diagnosticado el problema, el tratamiento que se aplique será probablemente el más adecuado.

Sin embargo, la misma recomendación que se hace para otros materiales vale en el caso del vidrio: no olvidar que prevenir la aparición de un defecto, mediante el control responsable de las materias primas y del proceso de fabricación, es la mejor actuación. La supervisión apropiada de las distintas etapas reduce las posibilidades de desarrollo de irregularidades y facilita su localización si llegaron a producirse.

B. DISEÑO INADECUADO

Un serio problema de diseño consiste en elegir un tipo de vidriado demasiado débil o delgado para las cargas que se le aplicarán o que puede deformarse en condiciones especiales, ya que una deformación excesiva puede hacer que el cristal se deslice por fuera del canal o se rompa.

Las expansiones diferenciales pueden rajar al vidrio, sobre todo si éste no está bien aislado del marco o si el vidriado llega directamente a la mampostería u hormigón. Aunque también puede deberse a otras circunstancias, sea cual sea la condición lo cierto es que cuando el centro del paño de vidrio se calienta más rápido que sus bordes, el vidrio se expande más en el centro y crea tensiones.

Si además hay pequeñas imperfecciones en los bordes o si presentan una muesca o pequeño agujero, el vidrio puede llegar a romperse.

Las posibilidades de que haya una rotura térmica crecen si el vidrio está sombreado de forma despareja por la construcción que lo rodea, por ejemplo cuando el 25 % o menos del paño está a la sombra y esta área incluye más del 25 % del perímetro.

Para estos casos, se aconseja atender a las recomendaciones de los fabricantes, que deben especificar los patrones de sombreado más aceptables para cada tipo de vidriado.

Por otro lado, se ha de recordar que los cortinajes, parasoles y persianas situados a menos de 2 pulgadas del vidrio o a menos de 1-1/2 pulgadas del marco pueden crear una trampa de calor entre el sistema de oscurecimiento y el vidrio.

Además, ubicar las salidas o escapes de calor debajo del panel de vidrio, como suele hacerse, puede contribuir a la creación de esta trampa, sobre todo si el escape dirige el aire al espacio entre el cristal y el cortinaje o persianas.

Si se trata de un sistema estructural de vidriado con sellador de silicona, el error puede estar en la elección de un material sellante débil o de una división metálica demasiado angosta o estrecha para el mismo.

En todo caso, lo más probable es que una unión insuficiente haga fallar al sellador y para evitarlo algunos fabricantes recomiendan que el material sellante entre el vidrio y las divisiones sea calculado para resistir las cargas. A veces resulta más apropiado utilizar un material sellante diferente para encolar el vidrio a las divisiones y para sellar las juntas entre vidrios.

Si el revestimiento exterior del paño ciego del muro cortina también es de vidrio, y se quiere evitar que el material aislante interior quede visible, se puede instalar una capa de aislación rígida y oscura debajo del vidrio de antepecho.

Pero se ha de considerar que si no hay una barrera de vapor bien construida, el agua se condensa en la cara interior del panel de antepecho y se congela allí, pudiendo deteriorar o delaminar el oscurecedor u otro recubrimiento usado. Asimismo, puede ocurrir que el agua y el hielo se vean desde el exterior.

Algunos fabricantes recomiendan usar vidrio absorbente de calor para ayudar a prevenir roturas por tensiones térmicas. También se sugiere el cristal laminado o el templado, por ser bastante más resistente al calor y al impacto de personas o proyectiles grandes.

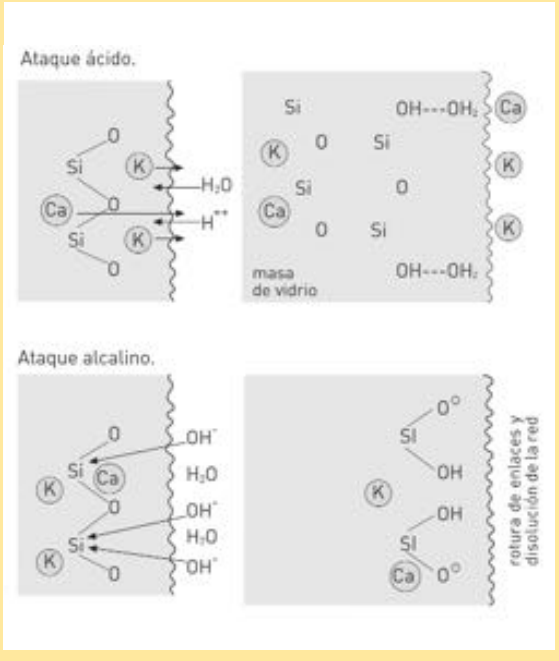
C. INSTALACIÓN DEFECTUOSA

Los vidrios, sean recocidos o templados, deben colocarse en obra de manera que no sufran esfuerzos por contracciones o dilataciones propias ni de los elementos de sujeción. Ante todo, debe evitarse cualquier contacto de los vidrios entre sí y del vidrio con el metal o con el hormigón.

Los bastidores deben estar preparados para soportar esfuerzos sin deformarse, ya sea la propia carga del cristal o la acción de agentes exteriores, el viento por ejemplo. Asimismo, se aconseja que la parte destinada a recibir el vidrio –conocida como galce– sea cerrada.

D. CORROSIÓN Y DETERIORO DEL VIDRIO

El proceso de corrosión puede significar la pérdida de transparencia y brillo del cristal, la pérdida de las capas de pintura y la pérdida del material. Es un fenómeno muy complejo y, para poder distinguir con claridad sus diferentes condicionantes, consideremos los siguientes factores:



Esquema de las principales reacciones de corrosión en los vidrios.

- **PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO**: se incluyen las propiedades superficiales y la homogeneidad del cristal. Por ejemplo, en los cristales de las vidrieras coloreadas medievales los daños pueden ser mayores debido a su composición química (bajo porcentaje de sílice y elevadas proporciones de iones modificadores –potasio y calcio–).

- **TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL AGENTE DETERIORANTE.**

- **CONDICIONES AMBIENTALES**: el agua –humedad, condensación, precipitación–, los cambios de temperatura, la contaminación del aire, la luz UV y el polvo, hollín y grasa. La influencia corrosiva del ambiente amenaza en especial a las vidrieras coloreadas.

- **TRATAMIENTOS PREVIOS DE CONSERVACIÓN**: pueden dañar la superficie del vidrio; se incluye aquí a los tratamientos de limpieza mecánica y química, los procesos térmicos para la consolidación de las pinturas y la aplicación inadecuada de los recubrimientos.

- **ATAQUE POR MICROORGANISMOS**: hongos, bacterias, líquenes y algas.

- **VIBRACIONES** producidas por el tráfico rodado y aéreo, los ferrocarriles y los temblores sísmicos.

El agua es el agente primario del ambiente que favorece la corrosión y en un medio normal siempre suele haber una cierta cantidad en la superficie del cristal, que depende principalmente de las propiedades de dicha superficie, de la temperatura y de la humedad relativa.

Por otro lado, los contaminantes del aire (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono), en combinación con el agua, aumentan la velocidad de corrosión. Las investigaciones al respecto señalan que primero se produce la reacción del dióxido de carbono con los productos primarios de corrosión, convirtiendo los hidróxidos en carbonatos.

Esto favorece la formación de calcita, frecuente en la costra de intemperie, la que puede ser de 1 mm de espesor y de tonalidades blanco parduzcas o negras, muy ligera o por el contrario bastante dura.

Como se ha mencionado, otro mecanismo favorecedor de los fenómenos de corrosión en el vidriado puede originarse con el ataque de microorganismos. Se considera que, además de transportar el agua, las bacterias y los hongos actúan como agentes físicos y químicos en la formación de varios ácidos, de los cuales los ácidos cítrico y oxálico son los más importantes. Las consecuencias en el cristal pueden incluir oscurecimientos, desalcalinizaciones, perforaciones y depósitos.

Por otra parte, el desarrollo de estos agentes en ambas caras del cristal tiene más posibilidades en un entorno cálido y húmedo y cuando está asegurado un mínimo suministro de nutrientes esenciales.

Por otro lado, el proceso de deterioro puede iniciarse también en aquellas vidrieras con grietas y sin exposición a la lluvia. Esto se da cuando en medios neutros o alcalinos se produce la disolución de la red del vidrio, lo que supone el quiebre de los enlaces silicio-oxígeno. Los vidrios de los siglos XVII y XVIII son los más afectados por este tipo de corrosión, de ahí que se les llame «vidrios llorones».

No obstante, aunque a veces la superficie parezca inalterada, si se examina con microscopio los cambios se observan con claridad.

No podemos concluir este apartado sin mencionar los beneficios que acercó al campo de la conservación de las vidrieras el ***MÉTODO DE SENSOR DE VIDRIO***. El principio de esta valiosa técnica, de fácil manejo, se basa en el registro de los impactos combinados del ambiente.

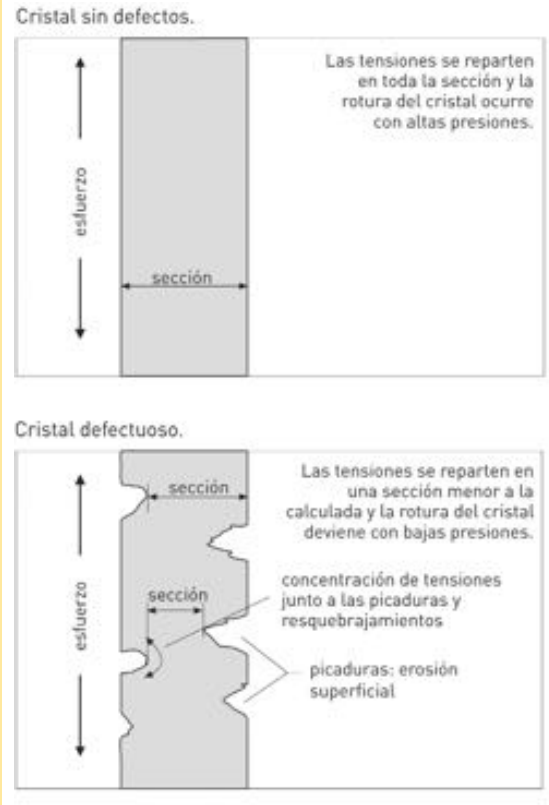


Efectos de la corrosión en vidrios.

Se trata de vidrios de silicato potásico/cálcico de baja durabilidad –como los de las vidrieras medievales– muy sensibles a las tensiones de la corrosión. El sensor interactúa con la atmósfera directa, causando alteraciones en la capa superficial como la lixiviación de potasio y calcio y la formación de una capa de gel y de una costra de corrosión.

Además, según la sensibilidad del vidrio es posible estimar las tensiones de la corrosión y los riesgos de daño en un periodo de 12 meses.

El valor de estos sensores especiales reside en que no sólo pueden experimentar cualitativamente los mismos fenómenos, sino que además lo hacen en tiempos mucho más cortos y permiten comparar diferentes objetos y situaciones ambientales.



Esquema de la relación entre la sección de vidrio y las tensiones aplicadas.

Estos datos se recogen antes y después de la exposición del sensor de vidrio y se puede recurrir a un análisis adicional, mediante microscopio, para terminar de completar las estimaciones cualitativas y semicuantitativas sobre el grado de corrosión.

Finalmente, el método sirve también para valorar la efectividad de los acristalamientos protectores. Así, las investigaciones con sensores de vidrio de las tres variantes de acristalamientos ventilados han arrojado los siguientes resultados:

- **ACRISTALAMIENTO CON VENTILACIÓN INTERNA**: muy eficaz.
- **ACRISTALAMIENTO CON VENTILACIÓN EXTERNA**: sin efectos protectores.
- **ACRISTALAMIENTO SIN VENTILACIÓN**: es el menos eficaz y puede permitir el avance de la corrosión en la cara posterior de la vidriera.

E. ROTURA DEL VIDRIO

Este problema puede ser originado por causas mecánicas o térmicas o bien por una superposición de ambas. Esto último se refiere a que si nos hallamos ante un vidrio bajo carga mecánica permanente pero insuficiente para provocar una rotura por sí sola, puede llegar a romperse si de pronto se le añade una carga térmica.

Debido a la fragilidad del vidrio, los desencadenantes son múltiples y para su mejor distinción comenzaremos por analizar aquellos ocasionados por una tracción mecánica localizada:

- **ROTURAS POR CHOQUE**: la más frecuente y por lo general accidental. Presenta una traza radial con comienzo en el punto de impacto y una cantidad de rayas en relación con la fuerza del choque.

- **ROTURAS POR CONTACTO**: los contactos de vidrio y muro, vidrio y metal y entre vidrios comprometen el buen estado del cristal, sobre todo si estos contactos ocurren cerca de los cantos del mismo y si la superficie es pequeña. Para prevenir este tipo de rotura se coloca el vidrio separado de cualquier otro elemento, por ejemplo mediante un material aislante que absorba los movimientos y dilataciones.

- **ROTURAS POR DEFECTOS DE LOS CALZOS**: ante calzos duros cercanos a los ángulos de vidrios de importante dimensión, se crea una tensión localizada que puede rebasar el límite de rotura; por otro lado, ante unos calzos demasiado blandos el canto del vidrio puede entrar en contacto con el fondo de la perfilería en un punto rígido (tornillo, por ejemplo) y dañarse.

- **ROTURAS POR ESPESOR INSUFICIENTE**: es altamente probable la pérdida por rotura en flexión si el vidrio carece del espesor suficiente para el sitio al que está destinado.

DEFECTOS DE MASA O DE FUSIÓN		DEFECTOS DE RECOCIDO O TEMPLADO	DEFECTOS DE ALMACENAMIENTO	DEFECTOS EN SERVICIO
Inclusiones cristalinas o piedras	Infundido Desvitrificación Burbuja de sulfato Piedra de refractario Piedra negra Piedra metálica	Tensionado Chapa Barco Marco de pinza Chorros de soplado	Impresión Marca de papel Pegado Irisación Capa hidratada Moho	Hidratación Alteración química Alteración atmosférica Condensación Alteración de color Tela de araña Moho Irisación Arañado Rozadura Desconchado Estrella Marca de golpe
Inclusiones vítreas	Nódulo Lágrima Cuerda Estría Hilo Goma Onda			
Inclusiones gaseosas	Burbuja Puntos brillante Punto fino Picado Picado cerrado o espuma			
Coloración	Mal color Color Ala de mosca Ahumado			

VIDRIO: DEFECTOS DE MASA, DE RECOCIDO, DE ALMACENAMIENTO Y SERVICIO
(Fuente: «El Vidrio»).



Esquemas de las cadenas elastoméricas de las resinas termoplásticas a distintas temperaturas.

- **ROTURAS POR INSUFICIENCIA DE GALCES Y/O HOLGURAS**: el riesgo es mayor si se trata de carpinterías grandes con amplios dinteles.

- **ROTURAS POR MALA SUJECIÓN**: se produce por caída del vidrio al soltarse de la perfilería.

Por otra parte, las roturas por causas térmicas tienen lugar siempre que se de un diferencial de temperatura entre dos zonas del vidrio. Esta diferencia o choque térmico puede ser del orden de los 25-30 Cº en un vidrio *floated* «flotado» normal y las roturas casi siempre parten de un canto del vidrio, si bien en ciertas condiciones pueden producirse en la masa. A continuación se señalan algunos de los posibles casos de rotura por motivos de naturaleza térmica:

- **ROTURAS POR PROYECCIÓN DE SOMBRAS**: en los vidrios de color o reflectantes las sombras se vuelven muy peligrosas, tanto más cuanto mayor sea el coeficiente de absorción de energía, y la línea de rotura final señala claramente el perfil de la sombra proyectada.

- **ROTURAS POR CHOQUES TÉRMICOS SEGÚN CONDICIONES DE SUJECIÓN**: los vidrios reflectantes cobran una elevada temperatura al estar expuestos al sol mientras que sus cantos –a la sombra dentro de la perfilería– continúan fríos, generándose así una tracción térmica excesiva.

- **ROTURAS POR ELECCIÓN INADECUADA DE CORTINAS INTERIORES/EXTERIORES**: por ejemplo, elegir una cortina de color oscuro para colocar detrás de un vidrio claro; el vidrio no puede enfriarse al calentarse por el sol y este problema puede ser más grave en los casos de doble acristalamiento.

- **ROTURAS POR DIFERENCIALES PROVOCADOS POR LUMINARIAS Y APARATOS DE CALEFACCIÓN**: los focos de luz y aparatos de calefacción (emiten rayos infrarrojos de onda larga) pueden llegar a provocar el mismo efecto de rotura que el sol.

- **ROTURAS POR DISPOSICIÓN DE OBJETOS CONTRA EL VIDRIO**: si el cristal está sometido al sol, dichos objetos no permiten que se disipe el calor por la cara interior, pudiendo provocar la rotura.

SUCIEDAD

Las superficies del cristal deben limpiarse y lavarse correctamente ya que la suciedad le hace perder muchas de sus cualidades estéticas, además de inhibir la buena adhesión de otros materiales (selladores, recubrimientos) y afectar de modo adverso los procesos como el refuerzo térmico, el templado y el doblado.

Siendo que la suciedad sobre el vidrio se refiere a cualquier material no deseado sobre su superficie, el grado de suciedad o limpieza aceptable depende del uso final que se le destina. De esta manera, se distinguen cuatro categorías generales de suciedad: partículas, residuos superficiales, contaminantes de reacción y corrosión superficial.

PARTÍCULAS: son materiales sólidos que se encuentran sueltos sobre la superficie del cristal. Para quitarlas se aconseja utilizar métodos mecánicos no abrasivos, como el rociado con agua a alta presión. Las típicas partículas que proceden del empaque consisten en fibras de papel entre las láminas, gránulos de acrílico, aserrín y otros materiales en polvo, astillas producidas por manejo del vidrio, astillas de madera, fragmentos de cartón y otros materiales de embalaje.



a. Esquema de la disolución de una resina termoplástica. b. Esquema de las cadenas reticuladas de resinas termoendurecibles.

RESIDUOS SUPERFICIALES: por su parte, son contaminantes como huellas de dedos y desperdicios de papel y aceites de corte, que se limpian con soluciones de detergente para lavado.

CORROSIÓN SUPERFICIAL: se puede decir que, desde un punto de vista técnico, no se trata de suciedad, si bien es verdad que si la superficie de vidrio está corroída se verá medio opaca y esto a veces puede confundir con una suciedad depositada.

Pero ante todo este tipo de corrosión, que suele producirse durante un almacenamiento inadecuado con temperatura y humedad elevadas, es irreparable.

Para prevenir su aparición, entonces, se recomienda cuidar el sitio donde se guarda el cristal y mantener un inventario detallado para utilizar primero las existencias que llegan antes.

Al principio esta corrosión superficial no se puede observar a simple vista. Cuando comienza a hacerse visible, a veces se puede quitar la capa o capas corroídas con un abrasivo (óxido de cerio, por ejemplo) para que aparezca el cristal no dañado.

Y, cuando el proceso está avanzado, se pueden encontrar en la superficie manchas de color azul fuerte o blanco.

En casos así se descuenta que la matriz misma ha sufrido degradación y que la transparencia del cristal no se puede recuperar; en consecuencia, la única opción es el reemplazo del elemento.

LAVADO Y LIMPIEZA DEL CRISTAL

A. LIMPIEZA MANUAL

Se recurre a la limpieza manual para mejorar el estado del nuevo vidrio enviado de fábrica para su colocación en obra, que suele llegar con algo de polvo que hay que limpiar. En estos casos se moja por completo la superficie, se pasa una esponja para absorber el agua y por último se utiliza un paño limpio para secar cualquier resto.

En cambio, si el vidrio llega con residuos superficiales de suciedad, primero se lo empapa con una solución acuosa con detergente de poca espuma y fácil enjuague formulado para la limpieza industrial del vidrio.

Luego se aflojan los residuos con ayuda de un paño o esponja, se enjuaga con agua y se usa un rodillo o paño limpio para el secado.

Gran parte de los limpiadores a la venta contienen un importante nivel de alcohol que, si bien adecuado para disolver y eliminar los residuos superficiales aceitosos, no siempre lo es para las partículas, para lo que resulta más efectivo el lavado con agua o algún método mecánico no abrasivo.

Por otro lado, hay que señalar que muchas veces no se puede quitar los adhesivos de las cintas y las etiquetas que llegan adheridas al cristal mediante detergentes, limpiadores con base de alcohol o solventes orgánicos (adelgazador de pinturas, tolueno o *white spirit*); en estas circunstancias se suele recurrir a una combinación de productos.

B. LAVADO MECÁNICO

Los elementos –agua, detergente y sistema lavador– se han de elegir atentamente para que sean eficaces al actuar en conjunto.

AGUA: a alta presión, remueve las partículas, distribuye el detergente para barrer cualquier residuo superficial, lubrica los cepillos y se lleva la suciedad. Debe ser lo menos turbia posible y ser lo suficientemente dura o blanda como para favorecer la disolución del detergente y un fácil enjuague y para impedir que se acumule una incrustación excesiva en la lavadora.

Colocar filtros apropiados en las líneas principales de suministro y dentro del sistema de lavado ayuda a que el agua sea menos turbia y elimina los desechos que genera la lavadora.

Como las cribas sencillas de malla grande no son suficientes, se aconseja utilizar filtros reemplazables de cartucho de 25 μ, que disminuyen la posibilidad de que se raye la superficie del cristal y de que se contamine la lavadora; asimismo, estos filtros reducen el bloqueo de las boquillas por las partículas arrastradas.

Con respecto al pH del agua, si bien no se puede especificar su rango, por lo general se sugiere uno neutro (6,0 a 7,0). De todas formas, no hay que olvidar que el pH del agua usada en la sección de detergente se altera con los productos limpiadores.

Es preferible el agua caliente (entre 37,8 y 60 ºC), ya que disuelve las soluciones detergentes con más facilidad, mejora el lavado y ayuda al secado. En la sección del agua de enjuague se usa agua desmineralizada o desionizada porque permite un secado sin residuos.

Como es posible que el uso de este tipo de agua pueda incrementar su acción corrosiva y dañar las partes metálicas de la lavadora, se ha de consultar al fabricante de la máquina para tomar la decisión correcta.

Con respecto a los *detergentes*, se sugiere que para su elección se consideren los siguientes factores, ya que en líneas generales no existe ninguno de eficacia total:

- **SOLUBILIDAD DE LA SOLUCIÓN.**
- **FORMACIÓN DE ESPUMA**: características. Se aconseja un volumen no superior a los 80 centímetros cúbicos.
- **CARACTERÍSTICAS DE ENJUAGUE**: los detergentes ácidos deberían enjuagarse con mayor rapidez que los alcalinos, ya que pueden dañar a ciertos componentes metálicos de la lavadora. Por lo tanto, se ha de consultar al fabricante al respecto.
- **BIODEGRADABILIDAD**.
- **PROVEEDOR CONFIABLE**.

SISTEMA LAVADOR: constituye el tercer elemento clave en la limpieza mecánica del vidrio. Las lavadoras automáticas están diseñadas para retirar los residuos superficiales solubles en agua, no así los insolubles, y constan de una sección de lavado donde se deposita el detergente, una o más secciones de enjuague y una última de secado.

Durante la fase de lavado, los cepillos cilíndricos actúan mecánicamente junto con el producto para limpiar el vidrio.

Las partículas pueden causar problemas en el sistema, sobre todo si se trata de una lavadora de recirculación que no cuenta con los filtros apropiados.

Por ejemplo, las astillas u otras partículas arenosas que se encuentran en la sección de lavado pueden terminar rayando la superficie del cristal con ayuda de los cepillos de la máquina.

Tras sucesivas investigaciones dirigidas a optimizar el rendimiento de estas lavadoras, se desarrolló la idea del prelavado, un sistema sencillo y económico que permite eliminar las partículas antes de que el cristal pase a la lavadora automática.

El sistema consta de dos fases; en la primera la superficie del vidrio recibe una solución diluida de detergente; en la segunda, un enjuague de agua filtrada a alta presión retira cualquier residuo de la solución y los desechos de partículas.

PROTECCIÓN DEL CRISTAL

Como es de suponer, es fundamental proteger las superficies del cristal de la corrosión y el rayado. Para lograrlo, ante todo se debe cuidar el apilado para embarque y almacenamiento, manteniendo una barrera fisicoquímica entre las hojas adyacentes.

Esta barrera se consigue colocando papel y polvo entre las mismas.

Si bien el papel es un separador físico de uso extendido, no resulta práctico si la manipulación de los cristales se lleva a cabo con un equipo automático.

En efecto, el papel de un paquete de vidrio se ha de retirar manualmente y, a continuación, se ha de apilar o recolectar de la misma manera hasta nuevo uso.

Ahora, si lo que se busca es un material protector que a la vez sea compatible con un empaque mecánico, se han de utilizar los gránulos de plástico, eficaces en la absorción de la corrosión ácida.

De todas maneras, cualquiera sea el tipo de material elegido como protector, durante el procesamiento del vidrio se habrá de quitar. Tras retirar el papel puede ocurrir que se perciba en el cristal un empañamiento o un desecho originado por materiales orgánicos.

Si bien este desecho por lo general no es más que un residuo superficial removible con una solución detergente, a veces los materiales orgánicos pueden reaccionar con el álcali de la superficie del cristal, formando un contaminante de reacción –conocido como mancha de papel– no tan fácil de quitar.

Por su parte, al material en polvo hay que limpiarlo por procedimientos especiales para contaminantes en partículas. En estos casos resulta adecuado el sistema de prelavado.

SISTEMAS DE ENCRISTALADO ESTRUCTURAL

En líneas generales, estos sistemas consisten en eliminar de la parte exterior de la fachada todos aquellos elementos metálicos de aluminio –cuya función es sujetar el acristalamiento– y sustituirlos por un material de gran adherencia que fija el encristalado a la estructura portante desde el interior.

Se trata de una variante del muro cortina, concebida para lograr un cerramiento integral prescindiendo de los perfiles de aluminio exteriores tanto verticales como horizontales, que ofrece las siguientes ventajas:

- **PERMITE MAYOR FLEXIBILIDAD EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO.**
- **AUMENTA LA EFICIENCIA TÉRMICA DE LOS EDIFICIOS AL REDUCIR O ELIMINAR LA EXPOSICIÓN EXTERIOR DEL ARMAZÓN METÁLICO.**
- **DISMINUYE EL POTENCIAL DE ROTURA TÉRMICA DEL VIDRIO.**
- **DISMINUYEN Y HASTA SE ELIMINAN LAS FILTRACIONES DE AIRE Y AGUA.**

Para asegurar el buen funcionamiento del sistema en servicio y evitar futuras patologías se debe respetar el procedimiento de colocación de los cristales.

Es fundamental que se diseñe el marco correcto, que se elija un método de colocación apropiado y que las unidades sean manipuladas con cuidado para evitar daños imprevistos.

Asimismo, al llegar a obra el contratista o responsable debe verificar que las mismas se ajusten a las especificaciones; si alguna apareciera mojada se secará de inmediato. Todos los elementos tienen que ser protegidos de la luz del sol para impedir su degradación térmica y deben almacenarse sobre sus bordes, para evitar distorsiones y combados.

Algunos fabricantes de sistemas de encristalado estructural suelen ofrecer un programa de evaluación diseñado con el objeto de reducir la posibilidad de riesgos y asegurar el buen estado de las unidades. En general, el programa puede incluir lo siguiente:

- **NOMBRE Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.**
- **DATOS DEL ARQUITECTO/DISEÑADOR.**
- **REVISIÓN DE LOS PLANOS PARA CONFIRMAR LOS ANCHOS DE CONTACTO DEL SELLADOR REQUERIDOS.**
- **DIMENSIONES DE LAS HOJAS DE LOS CRISTALES.**
- **ANCHO DE CONTACTO DEL SELLADOR Y DIMENSIONES DEL ANCHO DE LA JUNTA.**
- **CARGA DE DISEÑO DEL VIENTO ESPECIFICADA POR EL ARQUITECTO/INGENIERO.**
- **TIPO DE VIDRIO Y FABRICANTE.**
- **TIPO DE ARMAZÓN METÁLICO Y ACABADO. FABRICANTE.**
- **TIPO DE ESPACIADOR Y BLOQUE DE AJUSTE. FABRICANTE.**

Además, se recomienda que el fabricante del vidrio o vidrio aislante realice pruebas de laboratorio de todos los substratos que entren en contacto con el sellador estructural de silicona o estén muy próximos.

SELLADORES

En este apartado analizaremos los tipos, características y posibles deterioros de los selladores, materiales que colaboran a la estanqueidad y sujeción de las carpinterías. Son en su mayoría producto de reacciones químicas a base de resinas y otros compuestos. Ya sea en su función estructural –fachadas ligeras– o en su función aislante –burletes y cordones–, pueden fallar y provocar en poco tiempo un profundo deterioro de las partes involucradas. Si bien se los utiliza de manera corriente hace más de veinte años, los selladores son objeto de una investigación constante con el fin de su optimización. Por esta razón, nos será difícil capturar en este punto todos los posibles inconvenientes que de ellos pudieran surgir.



La correcta aplicación y preparación del sustrato es tan importante o más que la elección de un sellador de buena calidad. Un sellador de menor calidad pero bien aplicado dura más y trabaja mejor que un buen sellador mal aplicado.

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Los polímeros sintéticos son los elementos principales del material plástico, al que se le añaden sustancias diversas que pueden modificar o particularizar sus propiedades intrínsecas. Los polímeros sintéticos –materiales macromoleculares orgánicos– nacen de las uniones consecutivas de unas unidades elementales constituidas por enlaces covalentes, conocidas como monómeros.

Para su mejor comprensión, es posible estructurar los tipos de cadenas moleculares –que dependen de los monómeros utilizados– en tres grandes grupos:

- **TERMOPLÁSTICOS**: polímeros de cadena lineal obtenidos por unión de monómeros bifuncionales en un proceso de polimerización denominado «de adición». Su estructura interna está configurada por enlaces de cadenas que al calentar pueden deslizar unas sobre otras y deformarse.

- **TERMOESTABLES**: polímeros de cadena espacial obtenidos a partir de monómeros bifuncionales (bencénicos) o trifuncionales, en un proceso de polimerización denominado «de condensación». La estructura interna se conforma por reticulaciones espaciales de las cadenas moleculares que no funden con calor.

- **TERMOENDURECIBLES**: una variedad de los termoestables. Pueden fundirse una sola vez y alcanzar su estructura interna espacial.

Como señalamos al comienzo, es posible añadir sustancias que dotan al material plástico de las propiedades específicas que el producto o el proceso de transformación necesita y que se clasifican en plastificantes, estabilizantes, endurecedores, espumantes, ignifugantes, colorantes y cargas.

Por otro lado, también es posible clasificar los distintos adhesivos en función de su durabilidad. De esta manera nos encontramos con adhesivos:

- **RESISTENTES A LA INTEMPERIE Y LA ALTA TEMPERATURA.**
- **RESISTENTES A LA ALTA TEMPERATURA.**
- **RESISTENTES A LA HUMEDAD.**
- **RESISTENTES AL AGUA FRÍA.**

A partir de esta clasificación analizaremos entonces las propiedades de los adhesivos orgánicos, termoendurecibles y termoplásticos.

ADHESIVOS ORGÁNICOS: fabricados a base de colas animales y caseína, no son resistentes al agua y en consecuencia se utilizan en el interior.

ADHESIVOS TERMOENDURECIBLES: pueden presentar características diversas según los compuestos que se incluyen en su elaboración:

- **TERMOENDURECIBLES A BASE DE UREA FORMALDEHÍDO**: pueden ser utilizados en superficies porosas. No resisten el agua caliente y pueden resquebrajarse si se aplican en grandes volúmenes.
- **TERMOENDURECIBLES A PARTIR DE MELAMINA FORMALDEHÍDO**: curan a 100 ºC y pueden usarse donde los primeros no pueden.

TERMOPLÁSTICOS	
Celulósicos	
Acetato de celulosa (celofán)	C.A.
Nitrato de celulosa (celuloide)	C.N.
Acetato butirato de celulosa (tenita)	C.A.B.
Etil celulosa	E.C.
Acetato propionato de celulosa	C.A.P.
Carboximetil celulosa	C.M.C.
Propionato de celulosa	C.P.
Vinílicos	
Policloruro de vinilo	P.V.C.
Acetato de polivinilo	P.V.A.C.
Polivinil Butirol	P.V.B.
Policloruro-acetato de vinilo	P.V.C.A.
Polialcohol vinílico	P.V.A.L.
Etilénicos	
Polietileno	P.E.
Polipropileno	P.P.
Estirénicos	
Poliestireno	P.S.
Acrilonitrilo-estireno	S.A.N.
Poliestireno-butadieno	S.B.P.
Acrilonitrilo-butadieno-estireno	A.B.S.
Acetales	
Poliacetal	P.O.M.
Acrílicos	
Polimetacrilato de metilo (plexiglás)	P.M.M.A.
Ácido poliacrílico	P.A.A.
Poliacrilo-nitrilo	P.A.N.
Polibutadieno acrilonitrilo	P.B.A.N.
Policloro acrilato de metilo	P.M.C.A.
Carbonatos	
Policarbonato (lexan)	P.C.
Fluorados	
Polifluoruro de vinilo	P.V.F.
Tetra-fluoretileno (teflón)	P.T.F.E.
Copolímero de superflúor	F.E.P.
Polimonocloro-trifluoretileno	P.C.T.F.E.
TERMOESTABLES	
Fenoplastos	`
Fenol-formaldehido (bakelita)	P.F.
Amonoplastos	
Urea-formaldehido	U.F.
Melamina-formaldehido (formica)	H.F.
Resinas	
Poliamida (nylon)	P.A.
Poliéster (polietilentereftalato)	P.E.T.P.
Poliuretano	U.P.
Alquídicas	-
Epóxidos	
Epoxi (Araldita)	E.P.

PRINCIPALES VARIEDADES DE POLÍMEROS

(Fuente: Curso de patología Nº 3. COAM).

- **TERMOENDURECIBLES A BASE DE RESINAS FENÓLICAS**: resisten muy bien los esfuerzos y la humedad pero deben ser aplicados en fábrica y con cuidado.

- **TERMOENDURECIBLES ELABORADOS A PARTIR DE RESORCINOL FORMALDEHÍDO**: se utilizan para pegar madera. Pueden ser usados en el exterior y en superficies porosas como el ladrillo.

- **TERMOENDURECIBLES A BASE DE RESINAS EPOXI**: los de mayor aplicación y resistentes al agua, tienen una excelente resistencia mecánica y son esenciales para las juntas en la madera estructural.

ADHESIVOS TERMOPLÁSTICOS: por su parte, son más quebradizos que los adhesivos termoendurecibles y en consecuencia pueden llegar a permitir movimientos de las juntas. Existen cuatro variedades:

- **TERMOPLÁSTICOS A BASE DE ACETATO DE POLIVINILO**: son solubles en agua y se utilizan sobre todo en maderas de interior.

- **TERMOPLÁSTICOS A BASE DE POLIETILENO**: contienen solventes inflamables y se usan para las juntas en carpinterías de PVC y poliestireno.

- **TERMOPLÁSTICOS BITUMINOSOS A BASE DE AGUA**: conocidos como los adhesivos de contacto, tienen escasa resistencia mecánica y se usan como adhesivo de pavimentos de PVC. Pueden fallar por un uso incorrecto, por aplicación en condiciones de humedad y temperatura no recomendadas y por almacenamiento en lugares impropios.

- **TERMOPLÁSTICOS DE TIPO ORGÁNICO**: incluyen las resinas epoxi o morteros poliéster. Son fuertes y de buena durabilidad. Pueden ser usados para pegar desprendimientos de ladrillos a hormigón pero pueden fallar debido a movimientos higrotérmicos.

Para concluir, los consejos para lograr la resistencia y durabilidad esperadas de estos productos incluyen la adecuada preparación de la superficie, la correcta mezcla de las partes cuando sea necesario y el control de las condiciones del curado.

DEGRADACIÓN DE LOS SELLADORES

La durabilidad de los polímeros sintéticos puede verse afectada por procesos de envejecimiento que inciden de manera irreversible en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Si bien todos los materiales sufren la evolución de sus propiedades, y por lo tanto el envejecimiento, los polímeros sintéticos pueden tener un cambio radical que les hace perder fiabilidad.

AUMENTA	Fluencia Impacto Alargamiento Deformación
NO VARÍA	Conductividad térmica Absorción de agua Permeabilidad de agua Inflamabilidad Transmisión de luz
DISMINUYE	Dureza Resistencia Rigidez Resistencia eléctrica Resistencia química

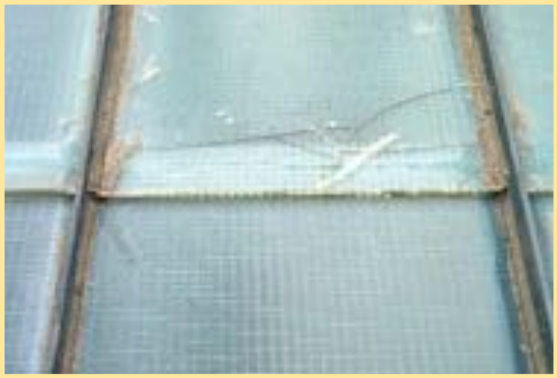
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS AL AUMENTAR LA TEMPERATURA
(Fuente: Curso de patología Nº 3).

Existen dos grupos de variables que participan en la degradación de los polímeros: la forma del producto y los agentes ambientales.

La forma del material incide de manera directa sobre la durabilidad del elemento. El diseño geométrico debe considerar su estructura macromolecular y evitar las zonas con excesivas tensiones internas que puedan producir roturas por deformación o fatiga.

Cuando el deterioro comienza por interacciones con el ambiente se habla de degradación. En este proceso tienen lugar numerosas reacciones y consecuencias adversas, que no llegan a conocerse en profundidad debido a la complejidad de los polímeros. No obstante, en general se sabe que su deterioro implica un proceso irreversible que produce cambios relacionados con la pérdida de su estructura química y sus propiedades físicas. Además, si la extensión de la degradación evoluciona a lo largo del tiempo, se puede llegar a la rotura del material.





Estos cordones selladores de siliconas se han resecado y endurecido, impidiendo las dilataciones del vidrio y produciendo en consecuencia su resquebrajamiento.

Los agentes ambientales no afectan por igual a los polímeros, sino que actúan en función de:

- **LA ESTRUCTURA QUÍMICA**: el tipo de enlace de valencia, que se traduce en diferente energía de disociación. A mayor energía de disociación, más difícil la degradación.

- **IMPUREZAS**: la estructura química depende también de la síntesis y procesado a través de los cuales se pueden introducir impurezas (puntos débiles). Pueden ser compuestos añadidos (restos de catalizador) o estructuras incorporadas (oxidaciones).

- **LA ESTRUCTURA FÍSICA DEL METAL**: grado de cristalinidad o de compactación de las cadenas (que estén o no muy unidas por fuertes interacciones). Por ejemplo, si bien un material es más resistente si es cristalino que amorfo, el riesgo de deterioro de las propiedades físicas es mayor en uno cristalino.

A continuación se exponen las características de los agentes ambientales a los que nos referimos y sus consecuencias para las propiedades de los polímeros:

AGENTES QUÍMICOS DE DETERIORO

De todos ellos el más importante es el oxígeno, ya que todos los materiales, incluidos los polímeros, reaccionan con él (sobre todo en temperaturas elevadas). El proceso se conoce como ***TERMOXIDACIÓN*** **O** ***AUTOXIDACIÓN***, y hay que destacar que la velocidad a la que se produce es más lenta cuando se realiza a temperatura ambiente y siempre que el material no haya sufrido otro tipo de deterioro previo.

Por su parte, el agua provoca la degradación hidrolítica, especialmente importante en los polímeros que sufren con facilidad la hidrólisis en los grupos laterales.

Aquí influye también la contaminación ambiental, con predominancia de los óxidos de azufre y nitrógeno, que si bien no provocan la degradación en sí, se les considera catalizadores de estos procesos.

Por último, los materiales poliméricos –ya sean naturales o sintéticos– también son susceptibles a la degradación por agentes biológicos o ***BIODEGRADACIÓN***, que consiste en el ataque por acción de las enzimas generadas por diversos microorganismos.

Para evitar el deterioro consecuente se utilizan los biocidas, los cuales pueden bien matar el microorganismo, bien no matarlo pero sí inhibir su reproducción o crecimiento (bactericidas, fungicidas, etc.).

Los polímeros sintéticos no son susceptibles a los ataques; no obstante, este tipo de materiales suele acompañarse de plastificantes y cargas, por nombrar sólo algunos, que sí lo son.

Entre los microorganismos encontramos las bacterias y los hongos. Estos últimos, que necesitan una temperatura adecuada, oxígeno y humedad, generan unas enzimas capaces de romper los materiales poliméricos que luego utilizan como nutrientes.

Finalmente, los insectos actúan sobre los materiales sintéticos y los roedores atacan al PVC.

AGENTES O FACTORES ENERGÉTICOS DE DETERIORO

La acción de la temperatura provoca la ***DEGRADACIÓN TÉRMICA*** y, en raras ocasiones, la ***PIRÓLISIS***, que se refiere a la acción de la temperatura sobre un material en presencia de nitrógeno y ausencia de oxígeno.

Asimismo nos encontramos con la radiación ultravioleta que, en conjunción con el oxígeno, da lugar a la ***FOTODEGRADACIÓN*** o ***FOTOXIDACIÓN***. Esta exposición puede desencadenar una serie de reacciones químicas que, en último término, da lugar a la modificación de las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos.

Por esta razón, los productos de uso industrial llevan incorporados ciertos aditivos para que el proceso fotoxidativo sea inhibido o al menos retardado. Estos compuestos, que se conocen como fotoestabilizantes, deben cumplir los siguientes requisitos:

- **RESISTENCIA A LA ACCIÓN DE LA TEMPERATURA.**
- **RESISTENCIA A LA ACCIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS.**
- **RESISTENCIA AL ATAQUE DE LOS RADICALES LIBRES QUE SE FORMAN EN EL SISTEMA.**
- **NO SER SENSIBLES A LA ACCIÓN DEL OXÍGENO.**

Otro fenómeno, que se da muy raramente en la práctica, se refiere a la radiación de alta energía, comprende de la acción de los rayos X y se conoce como ***DEGRADACIÓN IONIZANTE***.

Finalmente, se ha de considerar la ***DEGRADACIÓN MECÁNICA***, nombre con el que se conocen los cambios producidos como consecuencia de la energía que absorbe un material al ser sometido a una tensión.

Esta tensión mecánica normalmente guarda relación con la maquinaria utilizada en la etapa de procesado de los materiales poliméricos (inyectoras o extrusoras) y en la etapa de transformado (molienda, corte, etc.), a lo largo de los cuales se van degradando.

El primer efecto de la tensión es la modificación de la estructura inicial del material, que responde debilitando las fuerzas de interacción tanto inter como intramoleculares de las cadenas.

De todas formas, la probabilidad de que se produzca la degradación depende del estado físico del producto; éste pasa de rígido a elástico a medida que aumenta la temperatura que, si se eleva bastante, puede hacer que el material formado por cadenas poliméricas independientes llegue a fluir.

Como hemos mencionado al comienzo de este apartado, en los polímeros sintéticos los procesos descritos suelen ser de naturaleza irreversible. Por otro lado, por lo general estos fenómenos aparecen combinados. En el caso de los polímeros naturales, además, la ruptura de enlaces secundarios puede ser suficiente para producir la degradación.

PREVENCIÓN DE LA DEGRADACIÓN

Hablar de medidas preventivas en relación con los materiales sellantes que nos ocupan nos lleva necesariamente a pensar en cómo mantener e incluso aumentar la durabilidad de los mismos.

Este objetivo, que se vuelve esencial para evitar daños futuros, se puede conseguir evitando el contacto con los agentes ambientales analizados. Para ello, se aconseja, ante todo:

- **DISEÑAR O EVALUAR SI EL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS** donde se encuentra el sellador a proteger contempla aspectos de compatibilidad física, química y mecánica con los materiales con los que se encuentre en contacto.

- **UBICAR APROPIADAMENTE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS** o evaluar si se hallan bien situados, esto es, si se respetan sus propiedades.

- **REALIZAR UN BUEN DISEÑO GEOMÉTRICO** que no permita la existencia de zonas con exceso de tensiones y que cuente con el espesor suficiente para evitar tensiones superficiales.

- **ELEGIR UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL ADECUADO** para proteger al sellador de la acción de los agentes externos.

POLÍMERO	VENTAJAS	LIMITACIONES
Celulósicos	Muy buena tenacidad. Buenas propiedades ópticas. Buena resistencia a la intemperie. Buena moldeabilidad. Resistencia a las llamas. Costo medio	Poca resistencia mecánica.
Vinílicos	Excelente resistencia química. Excelente resistencia a la intemperie. Buenas propiedades eléctricas. Resistencia al rozamiento. Capacidad de amortiguamiento. Buena absorción del sonido. Resistencia a las llamas. Costo bajo.	Degradación térmica. Reacción con los plastificantes.
Etilénicos	Buena resistencia química. Buena resistencia a la fatiga. Buen aislante eléctrico. Inalterables por la acción del agua. Buena mecanibilidad. Propiedades bien equilibradas. Costo bajo.	Poca resistencia a los rayos ultravioletas y a la intemperie. Frágil a bajas temperaturas.
Acetales	Excelente comportamiento a la fatiga. Excelente estabilidad dimensional. Resistencia a los solventes orgánicos. Bajo coeficiente de fricción. Costo medio.	Poca resistencia a la intemperie. Poca resistencia al fuego.
Acrílicos	Excelente transmisión óptica. Resistencia a la intemperie. Poca absorción de agua. Costo medio.	Poca resistencia a la abrasión. Baja temperatura de transición.
Carbonatos	Alta resistencia. Buena estabilidad dimensional. Transparencia. Buen aislamiento térmico. Costo medio.	Poca resistencia a los solventes orgánicos. Poca resistencia química.
Fluorados	Inertes químicamente. Muy estables a altas temperaturas. Tenaces. Aislantes eléctricos.	Coste muy alto. Malas propiedades mecánicas. Dificultad de fabricación.
Fenoplastos	Aislantes eléctricos. Buenas propiedades mecánicas. Buena resistencia térmica. Estabilidad dimensional. Bajo costo.	Poca resistencia a los ácidos fuertes y a los álcalis. Colores muy oscuros.
Aminoplastos	Excelente estabilidad térmica. Muy duros y rígidos. Resistencia química buena excepto a los ácidos fuertes. Bajo costo.	Poca estabilidad dimensional. Las altas temperaturas perjudican a la resistencia y al color.
Poliamida	Buena resistencia y rigidez. Buena resistencia a la fricción.	Absorben líquidos polares (agua), con hinchamientos y ablandamientos. Poca resistencia a los ácidos orgánicos y fuertes. Costo elevado.
Poliéster	Buena resistencia térmica. Buena resistencia atmosférica. Alta resistencia mecánica. Costo bajo.	Posible falta de homogeneidad en masa.
Poliuretano	Facilidad de espumado. Aislamiento térmico y acústico. Costo medio.	Baja resistencia a la oxidación. La humedad es perjudicial a altas temperaturas.
Alquídicos	Buenas propiedades eléctricas. Buena resistencia térmica. Bajo costo.	Poca resistencia a la humedad a temperaturas elevadas.
Epóxidos	Buenas características en condiciones húmedas. Capacidad de curación en condiciones atmosféricas. Buenas características eléctricas. Estabilidad dimensional.	Costo elevado.

PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS

(Fuente: Curso de Patología Nº 3. COAM).

FACTORES DEL DISEÑO	FACTORES DE LA APLICACIÓN	FACTORES DEL PRODUCTO	FACTORES AMBIENTALES	FACTORES DEL SERVICIO
Dimensiones de la junta:	Preparación de la junta:	Aplicación del sellador:	Humedad	Movimientos
- irregular	Limpieza del substrato	Tipo		de la junta
- demasiado estrecha	- contaminación	Cantidad	Temperatura	
- demasiado ancha	- capa superficial suelta	Reticulante		pH del substrato:
	Imprimación del substrato	Catalizador	Luz solar	- alcalinidad
Accesibilidad de las juntas	- sin imprimación	Cargas		- acidez
	- imprimante erróneo	Promotor de adhesión		
Resistencia del substrato	- sub o sobreimprimado	Estabilizantes UV		Abrasión
	Humedad del substrato	Antioxidantes		
	Material de fondo			
	- tipo	Proceso de producción		
	- instalación			
		Caducidad		
	Aplicación del sellador			
	Curado del sellador			

DISTINTOS FACTORES QUE PROVOCAN LA PÉRDIDA DE ADHERENCIA ENTRE EL SELLADOR Y EL SUBSTRATO

(Fuente: Textos de las ponencias presentadas en la jornada sobre estanqueidad y ahorro de energía en el proyecto de la fachada acristalada. Barcelona, 15 de abril de 1999. Jornada promocionada por ASEFAVE, con colaboración de CONSTRUMAT).

ANEXO I: ALGUNOS COMENTARIOS ACERCA DE LA NORMA ISO 11600 SOBRE SELLADORES

La norma *ISO 11600* es la opción más aconsejada para elegir materiales sellantes, ya que permite analizarlos y seleccionar los más adecuados por medio de ciertos parámetros básicos: tipo de aplicación (fachada o acristalamiento), capacidad de movimiento (en el rango 7,5 % a 25 %), elasticidad (elástico o plástico) y módulo (alto o bajo). Por otro lado, los ensayos ISO de sellantes emplean tres substratos normalizados y en consecuencia obligatorios. Estos son el mortero, el vidrio y el aluminio anodizado. Algunos ensayos examinan específicamente la resistencia adherente del enlace entre el sellador y el substrato en distintas condiciones; por ejemplo, la norma ISO 11431 recoge el análisis tras la exposición a la luz UV, el calor y el agua; la ISO 10590, tras la inmersión en agua.

Existen once clases de selladores cubiertos por el esquema de clasificación de esta norma; cuatro de ellos se refieren a los sellantes de acristalamiento –tipo G–, mientras que los siete restantes describen los de edificación o de fachadas –tipo F–. Asimismo, hay en el mercado otros materiales que sirven para ambas aplicaciones de manera simultánea.

A la hora de optar por un sellante se pueden tener en cuenta otras propiedades que no están recogidas por esta norma, de manera que el fabricante del mismo debe señalar su presencia en los productos que comercializa. Estas propiedades incluyen, entre otras, la esperanza de vida del sellador, su color, cualquier adhesión a substratos diferentes a los de ensayo de la norma, que no manche, que no se contraiga, la relajación por fatiga y la resistencia al fuego y a otros factores que se deben especificar.

Si bien un producto especificado en la norma ISO 11600 asegura la confiabilidad en la adhesión del sistema de sellado, siempre que se respeten las recomendaciones de preparación y uso, es preferible que el suministrador ofrezca garantías adicionales, por experiencia o a partir de ensayos adicionales, de que dicha adhesión está probada a largo plazo. En particular, se debería hacer una referencia clara a la adhesión de los selladores con los substratos específicos que deben sellarse y que no se recogen en ISO 11600 (vidrio, mortero y aluminio anodizado tipo ISO 13640).

BIBLIOGRAFÍA

Carpintería de Aluminio. *Juan Company Salvador. Fundación Escuela de la edificación. Madrid, 1994.*

Congreso II Nacional de Ventanas y Fachadas Ligeras. Ponencias. *AA.VV. Tecnopress Ediciones, S.L. Julio 2000.*

Corrosión y degradación de materiales. Enrique Otero Huertas. *Ed. Síntesis. Madrid, 1997.*

Curso de patología. Tomo 3. Cerramientos, acabados y cubiertas. *AA.VV. COAM. Madrid, 1995.*

Curso de protección contra incendios en la edificación. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de Rehabilitación Nº 7. Cerramientos y acabados. *AA.VV. COAM. Madrid, 1988.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Defectos de las capas de pintura. *Manfred Hess. Blume. Barcelona, 1973.*

El Vidrio. José María Fernández Navarro. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1991.*

Estanqueidad y ahorro de energía en el proyecto de la fachada acristalada. *AA.VV. ASEFVE y Construmat. Barcelona, abril 1999.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Lesiones en los edificios. Síntomas. Causas. Reparación. *AA.VV. Ediciones CEAC. BCN, 1981.*

Manual de la pintura en la construcción (3º Ed.). *Juan García Castán. ANSPI. Federación Nacional de Empresarios Pintores. Barcelona, 1996.*

Manual del vidrio. *Joseph S. Amstock. Mc.Graw-Hill Book Company. EUA, 1999.*

Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1997. 2º edición.*

Rehabilitació d'habitatges rurals. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1985.*

The Tecnology of building defects. *John Hinks Geoff Look. E & FNSPON. London, 1997.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

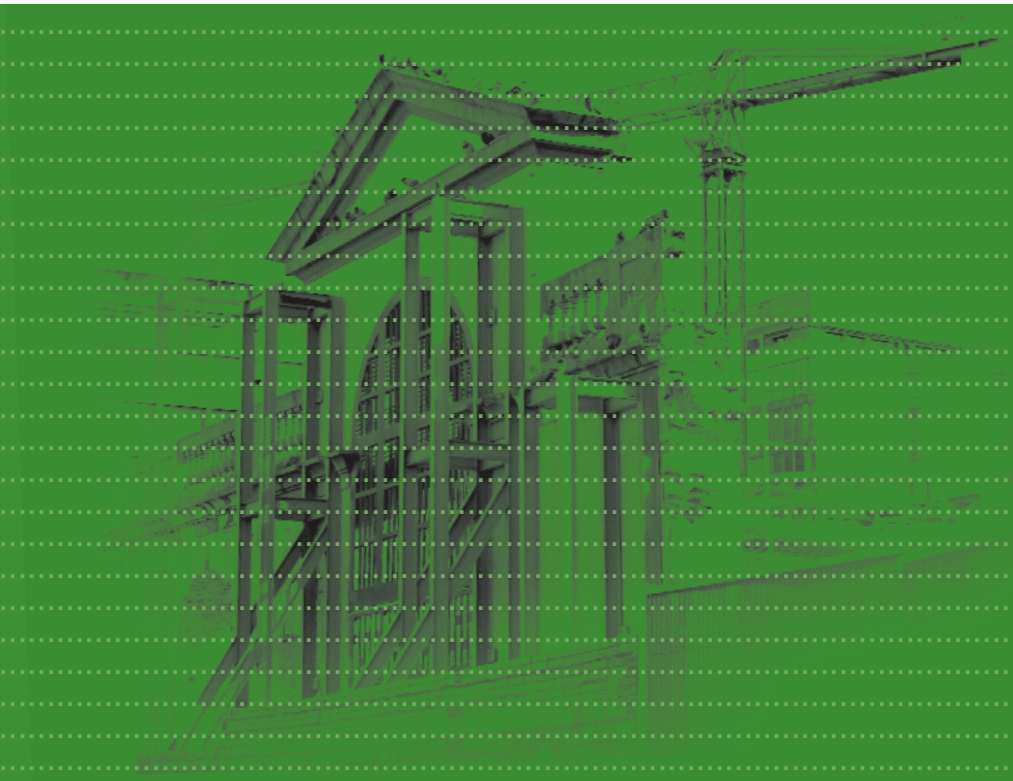
Walls, windows and doors. *H.C. Harrison & R.S. de Vekey. Construction Research Communications Ltd., 1998.*

Recomendaciones técnicas para la reducción de patologías en el terrazo. *Bautista Carrascosa-Martín de la Morena-Mieres Royo. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (II)

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

PATOLOGÍA DE LAS CUBIERTAS



PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

INTRODUCCIÓN.....13

ESTRUCTURAS PORTICADAS.....21

MÉNSULAS Y ELEMENTOS EN VOLADIZO.....67

VIGAS Y FORJADOS.....77

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

INTRODUCCIÓN 13

(Origen de las lesiones, Síntomas)

ESTRUCTURAS PORTICADAS 19

PILARES DE HORMIGÓN ARMADO 21

FALLOS DEBIDOS A LESIONES MECÁNICAS 22
(Rotura por aplastamiento, a flexión, a tracción, por pandeo, a cortante, a compresión)

FALLOS DEBIDOS A LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL 27
(Falta de resistencia del hormigón, Desagregación del hormigón, Exceso de agua en el amasad, Retracción hidráulica del pilar, Asientos plásticos en cabeza de pilar, Corrosión de las armaduras)

DEFECTOS DE EJECUCIÓN 35
(Defectos generales, Manipulación incorrecta del hormigón, Formación de oquedades, Defectos de las armaduras, Pilares mal replanteados)

INTERVENCIONES DE REPARACIÓN Y REFUERZO 41
1. Refuerzo de pilares
2. Sistemas de protección y mantenimiento de las superficies de hormigón
3. Inyecciones de resina epoxi
4. Sellado de juntas con material elástico
5. Reparación de armaduras con corrosión
6. Temas generales de la reparación
7. Medidas preventivas

MÉNSULAS Y ELEMENTOS EN VOLADIZO 67

LESIONES MECÁNICAS 67

DEFECTOS DE PROYECTO Y DE EJECUCIÓN) 75

VIGAS Y FORJADOS 77

FORJADOS CON VIGAS DE MADERA 82
(Alteraciones de la madera, Fallos debidos a lesiones mecánicas, Consolidación y refuerzo, Sustitución del forjado, Otras actuaciones)

FORJADOS CON VIGAS METÁLICAS 94
(Fallos debidos a la corrosión del material, Fallos debidos a lesiones mecánicas, Defectos en las uniones, Refuerzo del forjado)

FORJADOS CON VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO 110
(Fallos debidos a alteraciones del material, Fallos debidos a lesiones mecánicas, Defectos de ejecución, Defectos de proyecto, Intervenciones)

FORJADOS CERÁMICOS ARMADOS 152
(Fallos debidos a la alteración de los materiales, Fallos debidos a lesiones mecánicas, Errores de proyecto y ejecución, Intervenciones)

BIBLIOGRAFÍA 169

INTRODUCCIÓN

Los elementos constructivos estructurales o portantes, es decir, aquéllos que integran la estructura resistente y soportan los esfuerzos creados por las cargas y sobrecargas propias de cada construcción, manifiestan una sintomatología muy variada ante la aparición de lesiones.

Desde la formación de fisuras y grietas hasta cambios de coloración, deformaciones, descascarillamientos, aplastamientos, erosiones, hinchazones, exfoliaciones, etc.

Hay que advertir que estos síntomas se manifiestan con un cierto retraso en las estructuras portantes.

Al contrario de lo que sucede con aquellos elementos que cumplen la función de separar o cerrar compartimentos en planos verticales u horizontales, llamados cerramientos y elementos de partición, que suelen ser los primeros que avisan de la existencia de una lesión en el edificio.

Existe una categoría de elementos constructivos portantes que son, simultáneamente, de cerramiento, es decir, que forman parte de la estructura resistente y al mismo tiempo ejercen la función de separación.

En estos elementos (muros de carga, forjados), los problemas se manifiestan con bastante celeridad.

ORIGEN DE LAS LESIONES

A la hora de localizar las causas mecánicas de las lesiones estructurales, hay que tener en cuenta que éstas pueden hallarse en una acción interna o directa, que actúa sobre la propia estructura o muro; o pueden haberse producido por una causa externa al elemento estructural.

En el grupo de las causas directas hallamos:

- **DEFICIENCIAS DE OBRA ORIGINADAS EN LA FASE DE DECISIONES O DEL DISEÑO DEL PROYECTO, ERRORES EN EL CÁLCULO, MAL DIMENSIONAMIENTO DEL EDIFICIO Y USO DE MATERIAL INADECUADO.**

- **BAJA CALIDAD DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.**

- **UNA EJECUCIÓN INADECUADA DEL PROYECTO.**

- **SUPERACIÓN DEL LÍMITE DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE TRABAJO DE LAS ESTRUCTURAS.**

Como consecuencia de una o varias de estas causas, se producen lesiones que pueden responder de modo directo a una concentración de cargas. Un ejemplo es el caso de vigas apoyadas sobre la coronación de los muros sin que se interponga un durmiente de descanso.

Así como al agotamiento de los materiales; o a la rotura, debida a una concepción inadecuada del elemento con respecto al trabajo que va a soportar. Tal es el caso del uso de ménsulas pétreas que disponen de baja capacidad mecánica para trabajar a flexión.

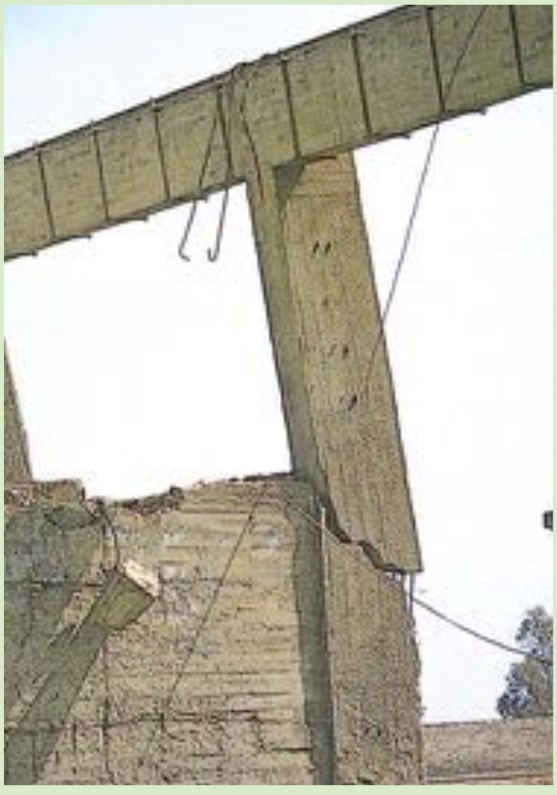
Entre las causas de origen mecánico debidas a acciones indirectas o externas a los elementos estructurales encontramos:

- **ASIENTOS Y EMPUJES DIFERENCIALES DEL SUELO.**
- **DESLIZAMIENTOS Y GIROS DE LA CIMENTACIÓN.**
- **FLECHAS EXCESIVAS DE FORJADOS, NERVIOS DE BORDES Y VUELOS DE BALCONES.**

Existen igualmente causas inevitables, debidas al propio uso del edificio y al envejecimiento del mismo; a movimientos sísmicos o acciones similares de tipo oscilatorio; a modificaciones del suelo; a la acción de las aguas freáticas; y a otros factores externos, tales como incendios o inundaciones.

Y causas evitables, consecuencia directa de defectos originales en el proyecto, de deficiencias en su ejecución, de una insuficiente o mala conservación durante la vida del edificio o de un uso y explotación inadecuados de las instalaciones (mayoritariamente, debido a sobrecargas).



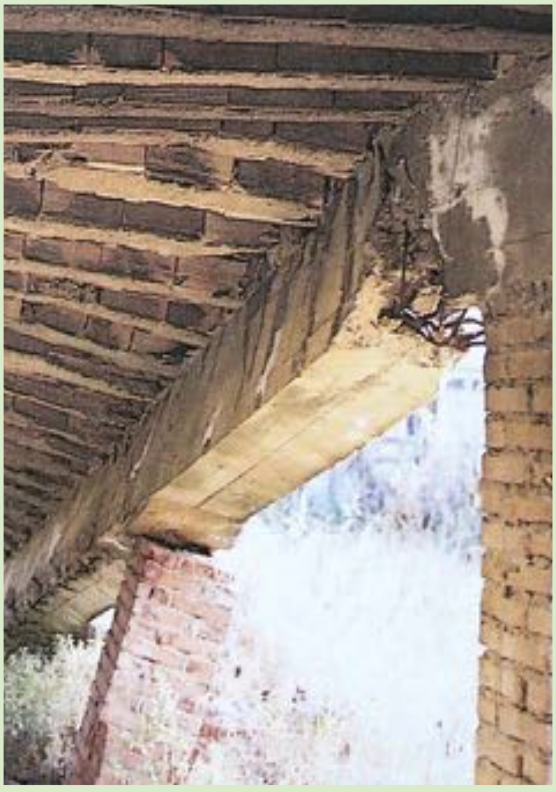


Vuelco de un pórtico de hormigón armado por cesión del pilar.

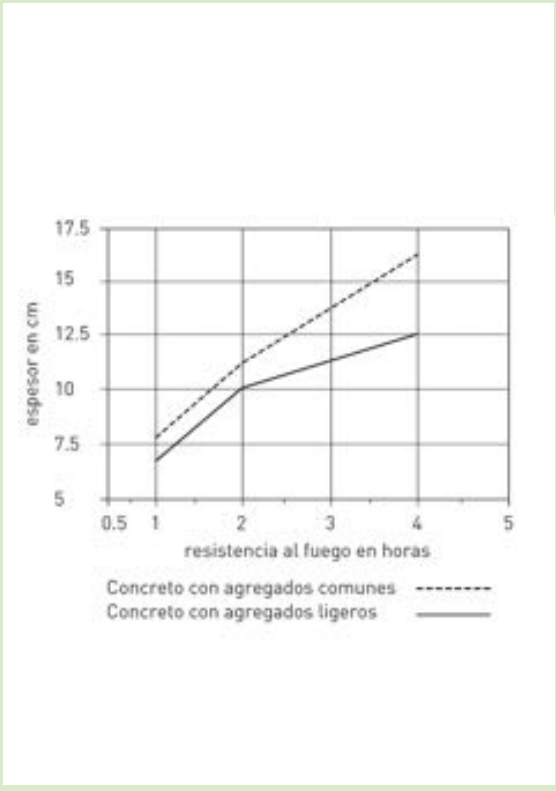
Hay que tener en cuenta que las causas indirectas ejercen una influencia esencial sobre las directas. Así, la vida de la estructura está claramente relacionada con la calidad del proyecto inicial y de su ejecución posterior. Del mismo modo, el mantenimiento periódico y correcto contribuirá a que la intensidad de los daños debidos al envejecimiento y al uso sean menores, avancen más lentamente y la vida del edificio se alargue. Existen causas imprevisibles, como el asiento de cimentaciones o las acciones sísmicas, cuyas consecuencias pueden minimizarse e incluso llegar a anularse mediante la adopción de determinadas medidas constructivas.

Es durante el proceso de ejecución del proyecto cuando se produce el mayor porcentaje de errores originarios de lesiones. Estas causas evitables pueden manifestarse incluso durante la ejecución de la obra, momento en el cual son fácilmente corregibles antes de que la estructura entre en uso.

Sin embargo, en ocasiones los defectos de ejecución no se manifiestan hasta pasados meses e incluso años después de la entrada en carga de la estructura. Muchos de los defectos o errores que se cometen durante el proceso constructivo son comunes a todo tipo de estructuras, con independencia del tipo de material empleado.



Vuelco de un forjado por cesión de un pilar de mampostería.



Rango de resistencia al fuego de forjados de distintos espesores.

En cuanto a las denominadas lesiones de conservación, éstas se generan durante el uso de la construcción y su origen puede tener raíces en los propios defectos de proyecto y ejecución.

El uso indebido del edificio es también causa de muchas de estas lesiones, por aplicación de cargas no previstas o cambio de uso de la estructura, falta de operaciones de mantenimiento, remodelaciones incontroladas o supresión de elementos estructurales principales.

El envejecimiento y cansancio de los materiales y los ataques químicos sobre elementos expuestos a atmósferas agresivas (marinas, industriales o urbanas fuertemente contaminadas) son también causa frecuente de lesiones de conservación.

La experiencia ha demostrado que los accidentes catastróficos en estructuras no obedecen por lo común a una sola causa, sino a una combinación de varias de ellas. En ocasiones, una estructura que sufre un grave error en su concepción no presenta daños importantes.

Sin embargo, existen estructuras en las que una actuación simultánea de varias causas menores acaba provocando un daño mucho mayor.

Por ejemplo, un edificio puede llegar a hundirse como consecuencia de una sobrecarga excesiva, unida a una deficiencia en la resistencia del hormigón.

La mayor parte de las lesiones que sufren los elementos portantes tienen carácter evolutivo, si bien es cierto que pueden encontrarse estructuras con unas degradaciones estabilizadas y otras donde éstas avanzan con una progresividad muy rápida.

SÍNTOMAS

En todos los casos, la aparición de los primeros síntomas es suficiente para poner al edificio bajo vigilancia, a fin de llevar a cabo las intervenciones necesarias que eviten un avance crítico de las lesiones y, en última instancia, un peligro real de la estructura.

La sintomatología es la reacción de las estructuras ante un efecto anormal.

Estos signos externos, que alertan de la existencia de una lesión, orientan además acerca de las causas que pueden haberla originado, ya sean éstas directas o indirectas, evitables o inevitables.

Las grietas, fisuras y microfisuras son el síntoma más común en los elementos estructurales. Además, suele ser el primero en manifestarse y, por su alarmante evidencia, se le acostumbra a dar una mayor importancia. Mientras que los usuarios de un edificio se muestran tempranamente preocupados por la aparición de fisuras y grietas, es normal, sin embargo, que pasen por alto otras sintomatologías igualmente importantes, pero menos expresivas.

Consecuentemente, éste es el primer síntoma en ser analizado ante la existencia de una lesión.

Sus características (forma, longitud, extensión, lugar de aparición, comportamiento y evolución) corresponden estrechamente con el sistema constructivo y con el material, por lo cual su análisis ofrece una información bastante fiable acerca de la patología en sí y de sus causas.

ESTRUCTURAS PORTICADAS

En calidad de sistema unidireccional formado por pilares y jácenas, el pórtico se caracteriza por una diferencia de canto entre jácena y forjado, que implica además una desigualdad en la rigidez.

Por ello, es admisible simplificar y separar entre jácenas y forjados en el cálculo de estas estructuras, no debiendo nunca el ancho de la jácena ser superior a las dimensiones del lado del pilar sobre el que se apoya ni su canto ser tres veces mayor al del forjado.

Los inconvenientes de este tipo de estructuras se sitúan en la parte funcional y estética, por un lado, y en el momento de la ejecución, por otro.

La jácena de canto sobresale, por definición, por debajo del forjado y ello comporta la aparición de cajones o la realización de cielorrasos. La ejecución se complica más aún cuando hay que encofrar las jácenas.

El uso de jácenas planas, cuyo canto coincide con el del forjado, comporta una dilución de las funciones entre los dos elementos estructurales.

La diferenciación entre ambos ya no existe y, por lo tanto, el cálculo y el dimensionado debería realizarse mediante métodos de placas o losas.

Sin embargo, no siempre es así. A falta de normalización sobre el tema, debe indicarse que el ancho de una jácena plana debe ser como máximo tres veces su canto, en el caso de un pilar centrado, y dos veces su canto, con pilar en un borde.

El canto recomendado es de:

L/d=25 en tramos centrales

L/d=22 en tramos extremos

Siendo "L" la luz del tramo más largo entre ejes de pilares y "d" el canto buscado, expresados en centímetros.

Uno de los problemas más comunes en este tipo de pórticos se presenta cuando las jácenas planas no son excéntricas con respecto a los pilares, manifestándose aquéllas incapaces de absorber los momentos de torsión que se originan.

En cuanto a las lesiones relacionadas con las alteraciones del hormigón, la aparición de fisuras anulares, siempre de la misma anchura, perpendiculares a la dirección principal de la jácena, son normalmente debidas a la retracción hidráulica del material y acostumbran a mantener una cadencia si los elementos estructurales se repiten. Aunque se trata de una lesión estructural leve, puede llegar a afectar a la durabilidad del elemento.

Todo elemento de hormigón armado modifica sus dimensiones en función de la temperatura ambiental a que se halla expuesto, aumentando de volumen cuando se produce un incremento de ésta y disminuyendo cuando la temperatura decrece.

En los pórticos, las fisuras por salto térmico aparecen en las zonas traccionadas de las cabezas y las bases de los pilares, induciendo las jácenas o forjados a movimientos de contracción o de dilatación.

Ello se produce cuando la estructura se encuentra coartada en su movimiento y el hormigón no puede resistir, debido a su módulo de elasticidad, dichas deformaciones. El consecuente desarrollo de tensiones adicionales genera además una sobresolicitación a flexión en los pilares en que se sustenta el pórtico.

Uno de los recursos más habituales para prevenir fisuras de este tipo consiste en disponer juntas de dilatación que limiten las deformaciones originadas por cambios de temperatura. La carencia o construcción defectuosa de estas juntas es causa frecuente de lesiones.



Realización de diagnosis de un pilar de hormigón armado dañado.

También son muy propias de este tipo de estructuras las lesiones introducidas por el descenso diferenciado de un punto de la cimentación con respecto al conjunto del edificio.

Ello provoca una desviación angular que se traslada a la estructura flexible de pórticos, imponiéndole deformaciones y generando roturas en las vigas, normalmente por cortante.

Estas evolucionan hacia formas romboidales, con la consecuente aparición de fisuras motivadas por el alargamiento de la diagonal que une el pie o vértice del lugar del descenso con el opuesto.

Las fisuras debidas a asientos diferenciales no aparecen de manera inmediata, sino de forma paulatina, mostrándose los síntomas en los muros de cerramiento antes que en la propia estructura, salvo en los casos de asentamientos bruscos.

En el tipo de pórticos más común, que son los de hormigón armado con vigas y pilares continuos, el cedimiento de una zapata produce esfuerzos excepcionales que, por esta misma continuidad, repercuten en toda la estructura. Ello da lugar a tensiones no toleradas en determinadas secciones, tracciones adicionales en las armaduras o un deslizamiento de las mismas por adherencia insuficiente.

También pueden aparecer grietas de aplastamiento del hormigón en la zona comprimida por la viga. Cuando existe tabiquería en el plano del pórtico, ésta no tolerará la deformación y romperá en la dirección perpendicular a las tracciones aparecidas en los tabiques.

En pórticos de acero, la situación varía, puesto que no se trata generalmente de estructuras continuas, sino de vigas en apoyo simple o semiempotrado en los pilares. Cuando se produce el asiento de una de las zapatas, lo más probable es que las vigas simplemente apoyadas giren, sin variar su forma de trabajo, mientras que las semiempotradas, de nudo menos rígido, se adapten con mayor dificultad.

En cualquier caso, la rotura tarda más en aparecer, manifestándose primero el fallo en la tabiquería y en la inclinación de los forjados.

Cuando finalmente aparece la lesión en el pórtico, el riesgo de colapso es mayor que en las estructuras de hormigón de elementos continuos.

En el caso del descenso de pilares sobre zapatas, se produce una flexión de las vigas, que actúan como plano de apoyo de los cerramientos, y un reacomodo de la estructura gracias a la generación de arcos de descarga. En este caso, las fisuras parabólicas del muro mantienen su eje coincidente con el eje del pilar sobre el que se ha producido el asiento.

Un caso curioso el de los elementos estructurales solicitados fundamentalmente a esfuerzos de compresión que, en determinadas circunstancias provocadas por asientos diferenciales, terminan trabajando a tracción. Ello se produce cuando el pilar de planta baja presenta un cuadro de fisuración motivado por esfuerzos de tracción.

Este hecho exige una colaboración del resto de los elementos estructurales, que creando los mecanismos pertinentes producirán una redistribución de los esfuerzos. La consecuencia de ello puede ser una sobresolicitación de algunos elementos, sometidos a esfuerzos para los que no fueron concebidos.

PILARES DE HORMIGÓN ARMADO

Los soportes verticales de una construcción, entre los cuales se incluyen los pilares, son los elementos esenciales que garantizan la estabilidad general de la misma. Una viga, un forjado o un voladizo pueden fallar localmente en una estructura sin que, en general, ello implique la ruina total del edificio. Sin embargo, no son excepcionales los colapsos que acontecen bruscamente, sin que se detecte a tiempo el problema, debido a la fragilidad de los pilares, elementos que trabajan de forma dominante a compresión.

En los pilares, existe una enorme dependencia entre la calidad del hormigón y la seguridad. Descensos de calidad en el hormigón en torno al 30 % afectan a la seguridad en órdenes superiores al 24 % si la cuantía mecánica es inferior a 0,30.



Colapso súbito en una estructura con fallos de cálculo y ejecución.

A la hora de proyectar una rehabilitación, nos encontraremos constreñidos por el material utilizado en la obra, factor que es determinante sobre todo en los elementos comprimidos y, en menor medida, en los flexionados.

Por ello, en primer término, será fundamental un profundo análisis e inspección del material empleado, averiguando su resistencia, así como la de las armaduras, especialmente si se proyecta un incremento de las acciones de servicio del edificio.

Disponer del proyecto original de la construcción de la estructura es fundamental para conocer los esfuerzos teóricos a los que pueden verse sometidos los pilares a restaurar. Además, debe determinarse con suficiente precisión la carga de servicio real, que puede distar bastante de la prevista teóricamente.

Para proceder a la inspección del estado superficial del hormigón, habrá que retirar los revestimientos de los pilares, dejando a la vista la propia estructura. Si se considera necesario, pueden realizarse ensayos no destructivos que permitan evaluar la compacidad del material y el alcance de la patología y determinar los tratamientos más adecuados en función de los resultados.

En el caso de las estructuras de hormigón armado y, en concreto, en el de los pilares, la fisuración representa uno de los síntomas patológicos más importantes de su comportamiento en servicio. Puede decirse que la fisura es un fenómeno intrínseco del propio hormigón.

Habrá que estudiar, en primer lugar, de qué tipo de fisura se trata, cuál ha sido su causa y cuál es su estado de progresión, antes de proceder a la toma de decisiones acerca de las terapias a desarrollar.

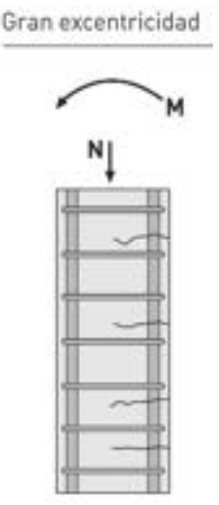
En general, fisuras menores de 0,3 mm no suelen provocar efectos serios sobre las estructuras de hormigón, sobre todo en los elementos sometidos a flexión. Si las fisuras se acercan a los 2 mm la situación es más preocupante, puesto que, al margen de las posibles repercusiones estéticas, comienzan a inducir envejecimientos acelerados. Las fisuras superiores a los 2 mm pueden estar comprometiendo la estructura en los aspectos de funcionalidad y seguridad.

FALLOS DEBIDOS A LESIONES MECÁNICAS

Los diferentes tipos de fisuras originadas por acciones de tipo mecánico en pórticos manifiestan frecuentemente diversas combinaciones entre sí, dando lugar a cuadros patológicos de complicado diagnóstico. Por ello, se precisará de un estudio detallado de cada lesión.

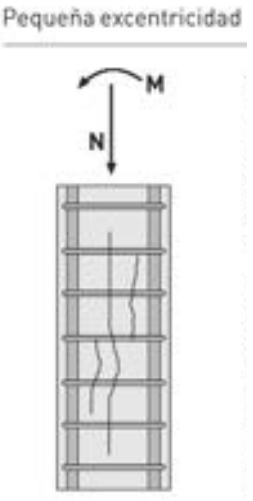


Fisuras características de un pilar sometido a un exceso de compresión.



Características de las fisuras
Fisuras de ancho variable. Aparecen normalmente varias fisuras. Generalmente ortogonales a la directriz del esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se cierran al llegar a la cabeza comprimida, pero en caso de esfuerzos alternativos importantes pueden afectar a la sección completa.

Causas de las fisuras
La causa es el excesivo alargamiento de la armadura en la cara traccionada. Son pilares con gran valor relativo de **M** con respecto a **N**. Presenta las mismas variantes, esencialmente, que se vieron para flexión simple.



Características de las fisuras
Pequeño ancho (0,05 a 0,1 mm). Aparecen generalmente varias fisuras. Sensiblemente paralelas a la directriz del esfuerzo de compresión y frecuentemente situadas en una sola cara. Generalmente no superpuestas a las armaduras longitudinales.

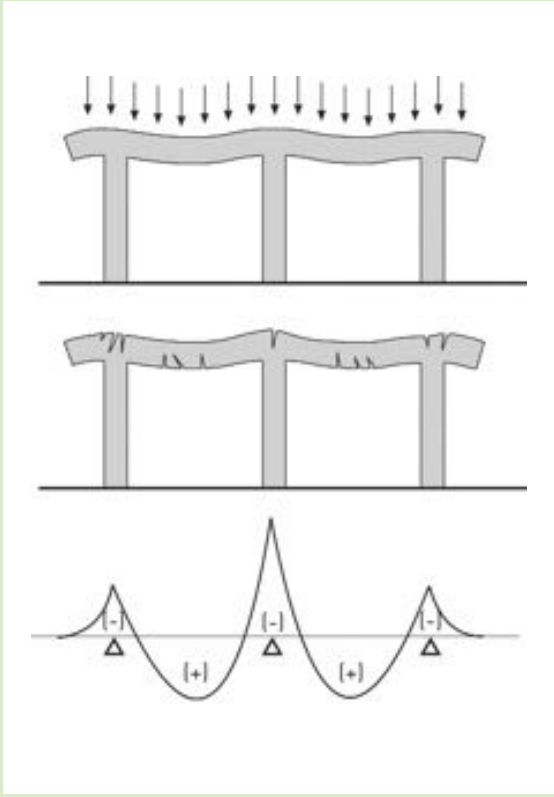
Causas de las fisuras
La causa es la compresión excesiva de la zona comprimida de la sección de hormigón. Son pilares con pequeño valor de **M** respecto a **N**. Presenta las mismas variantes, esencialmente, que se vieron para compresión centrada.

Esquemas de fisuración de un pilar sometido a flexión compuesta con excentricidad.

A. ROTURA POR APLASTAMIENTO

Este tipo de rotura, originada por un exceso de carga, por sección y armaduras insuficientes o por hormigón de deficiente calidad, da origen a fisuras finas y verticales, que pueden llegar a cortar en dos el pilar. Su extrema peligrosidad requiere un apuntalado de urgencia.

El aplastamiento produce un pandeo de la armadura en las esquinas, surgiendo fisuras que en un inicio pueden confundirse con las de corrosión de las barras o con las fisuras verticales que aparecen en el enfoscado del pilar. Si al observar la cara opuesta del pilar, éste aparece partido, no hay lugar a confusión: se trata de una rotura por aplastamiento.



Esquema de fisuración de las jácenas de un pórtico de hormigón armado.

Una solución de fácil y rápida ejecución consiste en reforzar por medio de perfiles metálicos colocados en los laterales del pilar. O bien aumentar sus dimensiones, integrando la armadura adicional necesaria tras picar todo su contorno y aplicando resina epoxi antes de proceder a hormigonar de nuevo.

Si el problema de aplastamiento deriva de un hormigón de mala calidad, es preferible confiar toda la resistencia al refuerzo y desechar la que pudiera ofrecer el pilar original. Hay que tener siempre en cuenta que un aumento de la rigidez de éste implica un incremento de los momentos en los apoyos de las vigas del forjado o pórtico.

En ocasiones, será necesario proceder al refuerzo de la viga. No obstante, si el incremento es de escasa magnitud, se tenderá a volver de modo natural a la misma ley de momentos flectores por efecto de la redistribución plástica.

B. ROTURA A FLEXIÓN

Los mecanismos de rotura en los pórticos sometidos a flexión manifiestan un comportamiento complejo, derivado de la intervención de varios elementos en su formación.

En pórticos con nudos rígidos en sus extremos, las fisuras en jácenas apoyadas sometidas a cargas verticales suelen producirse por flexión pura. En función de la cuantía de armadura de tracción, se originan en una primera fase fisuras inferiores aisladas o en grupo. Posteriormente, junto con un aumento importante de las compresiones en el hormigón, se alcanza una deformación tal que provoca una subida de la fibra neutra. Ello se manifiesta a través de fisuras horizontales superiores, señal inequívoca que alerta acerca de la escasa reserva de resistencia de la pieza.

Estas fisuras horizontales pueden aparecer también de modo aislado en vigas muy armadas, cuando la calidad del hormigón es baja.

Los esfuerzos de flexión adicionales que dan origen a daños en los pilares pueden deberse a asientos diferenciales, retracción de las vigas, empujes horizontales, sobrecargas no previstas, deficiencias en el cálculo, mala resistencia del hormigón o una disposición inadecuada de las armaduras verticales, con anclajes deficientes.

La formación de planos de fisuras ortogonales en la parte inferior o superior del pilar, que no llegan a seccionarlo plenamente, son indicio casi seguro de la existencia de momentos flectores que actúan sobre éste, claramente superiores a la capacidad resistente de las armaduras de tracción que posee.

Al superar su límite elástico, las armaduras se plastifican sin llegar a romperse, produciendo un reajuste de las leyes de esfuerzos y una redistribución de los mismos en las restantes piezas que confluyen en el nudo dañado.

En la medida que puedan redistribuirse los esfuerzos, la lesión puede quedar estabilizada o, por el contrario, evolucionar hacia la rotura de la sección por compresión excesiva del hormigón. Pueden también aparecer daños en las restantes piezas.

Si la lesión aparece estabilizada, la zona comprimida de las secciones se encuentra intacta y no se detectan daños en otros elementos, podemos limitarnos a sellar e inyectar las fisuras, manteniéndolas en observación durante un año.

Si, por el contrario, las fisuras se manifiestan activas, no queda más remedio que plantear un sistema de apeo adecuado y proceder a reforzar el pilar por medio de un recrecido o de perfiles metálicos. Previamente, se habrá de evaluar los momentos a los que se halla solicitado éste.

C. ROTURA A TRACCIÓN

En la zona central de la luz de la jácena, una fisura que se desplaza de abajo hacia arriba, perdiendo anchura hasta desaparecer en la parte superior, indica una superación de las tensiones de tracción en la zona correspondiente al momento máximo y se trata igualmente de una lesión estructural grave.

Si la carga está repartida y se forma un arco de descarga, las diversas fisuras se manifiestan sensiblemente verticales.

En las secciones laterales con momento negativo, hay que tener en cuenta que la posición de las tensiones normales traccionadas y comprimidas se invierte, por lo cual la aparición de fisuras de tracción se manifiesta en la parte superior de las vigas del pórtico.

En pilares de hormigón que soportan estructuras porticadas, las fisuras horizontales que se manifiestan en una cara y se alargan en las caras perpendiculares hasta desaparecer, pueden deberse a un fallo por tracción del hormigón en esta zona, derivado de situaciones de flexocompresión.

Se trata de una lesión estructural grave, cuyo diagnóstico puede confundirse con situaciones de corrosión de las armaduras.

Una vez roto el hormigón, como consecuencia del agotamiento del pilar, es la armadura la que resiste en solitario el esfuerzo a tracción. La segunda fase de la lesión producirá una rotura de la armadura, considerándose que la pieza ha alcanzado su estado límite último cuando el alargamiento de ésta alcanza el 10 %.

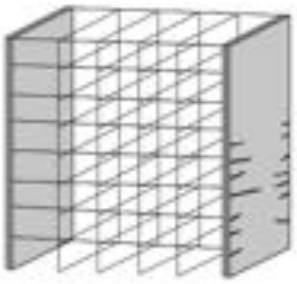
Los pilares traccionados dejan de transmitir las cargas al terreno. Por consiguiente, otros pilares han de asumir esta función, aumentando el esfuerzo para el que fueron dimensionados y recalculando para ello la estructura.

D. FISURAS POR PANDEO

Las fisuras por pandeo aparecen generalmente en pilares esbeltos cuya sección y armaduras se manifiestan insuficientes. Si se trata de un pilar de escasa altura, la rotura se producirá por aplastamiento del hormigón y se manifestará a través de fisuras verticales. Por el contrario, en pilares altos y esbeltos, la rotura se genera por pandeo, a través de fisuras horizontales. Debido a la peligrosidad de esta lesión, debe procederse urgentemente al apuntalamiento de la estructura.

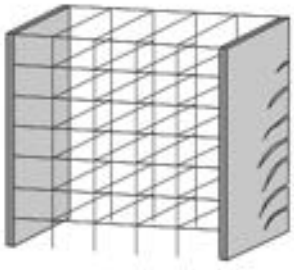
Aumentar la dimensión del pilar, mediante recrecido de hormigón, es seguramente la terapia más efectiva ante este tipo de lesión. Si el pilar es medianero, el recrecido se realiza por tres de sus cuatro caras. Si se trata de un pilar de esquina, únicamente por las dos caras vistas.

El procedimiento consiste en picar el elemento por donde éste se amplía y colocar la armadura adicional necesaria, sujeta por estribos introducidos en el pilar y por resina epoxi. La gran altura de la pieza aconseja aplicar la resina en dos fases y realizar siempre un vibrado eficaz del hormigón.



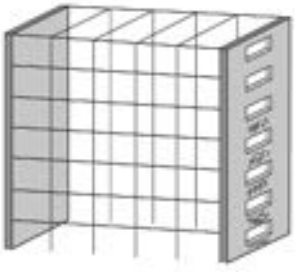
Características de las fisuras
Fisuras de ancho variable. Dirección horizontal. Longitud y ancho decreciente con la altura. Aparecen en ambas caras y en bordes de la pantalla. Pueden aparecer simétricamente situadas respecto al plano medio vertical ortogonal a la pantalla.

Causas de las fisuras
Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica y del viento.



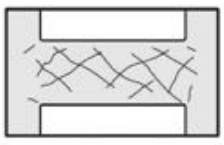
Características de las fisuras
Fisuras de corte, inclinadas respecto al eje vertical de la pantalla. Ancho de varios milímetros.

Causas de las fisuras
Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica y del viento.



Características de las fisuras
Fisuras en los elementos de separación entre huecos. Ancho importante (0.3 a 1 mm).

Causas de las fisuras
Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica y del viento.



Esquemas de fisuración de pantallas de hormigón armado.

E. ROTURA A CORTANTE

En jácenas, la aparición de fisuras a 45º cercanas a sus apoyos sobre los pilares, con máxima obertura en la zona de la fibra neutra, son indicio de un fallo por esfuerzo cortante, ocasionado por falta o insuficiencia de las armaduras transversales y/o por baja resistencia del hormigón.

Se trata de una lesión estructural de extrema gravedad, que se manifiesta en pórticos con nudos rígidos en sus extremos. En la primera fase de su formación, las fisuras siguen la dirección de las tensiones principales de tracción, coincidentes con las llamadas líneas isostáticas de compresión.

En una segunda fase, la fisuras avanzan hacia el borde de inferior. No obstante, la rotura a cortante puede aparecer también súbitamente, produciendo el colapso del pórtico sin que se haya manifestado el fallo en una fase previa de fisuración.

En las zonas cercanas a los nudos en que el momento flector es importante, la forma y localización de estas fisuras puede variar. Cuando se produce una rotura combinada por flexión y cortante, éstas siguen las direcciones de las tracciones principales hasta el borde superior comprimido del hormigón, lugar en donde se produce el colapso.

En pilares, el fallo a cortante es poco frecuente. No obstante, puede producirse en la planta baja de edificios sometidos a fuertes empujes horizontales o en pilares extremos de última planta, donde acometen vigas de grandes luces y fuertes cortantes.

Las fisuras a 45º, producidas por una sección o armadura transversal insuficientes, generan el desplazamiento de una parte del pilar sobre la otra cuando el estado es muy avanzado.

F. ROTURA A COMPRESIÓN

Sin duda, se trata de la lesión más grave que pueda sufrir un pilar, dado que su presencia indica el práctico agotamiento de la capacidad resistente de la estructura y su colapso casi inminente. Puesto que sobre los pilares recae una responsabilidad muy alta en la estabilidad y seguridad del edificio, se comprende la importancia que debe prestarse a esta lesión.

El posible fallo estructural exige actuaciones de emergencia, con precauciones extremas, planteando un apuntalamiento urgente que garantice la estabilidad del edificio y proyectando un inmediato refuerzo.

La rotura a compresión se manifiesta sólo cuando el pilar se halla próximo a la rotura, por medio de fisuras en general poco acusadas, verticales y paralelas, no coincidentes con los armados. En hormigones de baja resistencia, puede aparecer también una fisura principal, más ancha y profunda.

Si la lesión se manifiesta en la zona de cabeza del pilar que soporta el pórtico, se trata de una rotura a compresión como consecuencia de la baja resistencia del hormigón, probablemente debida a errores en su puesta en obra.

Multitud de fisuras verticales y desconchados diversos en un lugar concreto del pilar, con una flexión de las armaduras en la zona de los aros, puede suponer igualmente una rotura por compresión del hormigón.

En general, las fisuras provocadas por el agotamiento del pilar tienden a concentrarse en su tercio superior, dado que ésta suele ser la zona de menor resistencia y donde más fallos del estribado se producen. Las causas posibles de una lesión de este tipo son sección y armaduras insuficientes; hormigón de mala calidad; cargas prematuras; estribos caídos o insuficientes; y momentos excesivos en pilares muy rígidos. En este último caso, aparecen grietas inclinadas seccionando los mismos, generalmente debidas a movimientos y asientos diferenciales de cierta importancia en las cimentaciones.

FALLOS DEBIDOS A LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Una buena cantidad de las lesiones producidas en estructuras porticadas y pilares de hormigón puede tener su origen en las propias características del material empleado. La corrosión de las armaduras es una de las causas más comunes y estudiadas. Pero además, es frecuente hallar problemas relacionados con el hormigón: retracción, desagregación, asientos plásticos, baja resistencia generalizada y exceso de agua en el amasado.

A. FALTA DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

La baja resistencia del hormigón es un inconveniente que afecta con mayor frecuencia a los pilares que a las vigas. Y es que, en los primeros, debido a su carga continuada, hay que tener en cuenta la fluencia del hormigón con el tiempo. Una menor resistencia de la requerida puede ocasionar la pérdida de adherencia entre hormigón y acero y un descenso de capacidad de la armadura.

En las cabezas de pilares, es muy frecuente la aparición de zonas mal compactadas, llenas de coqueras y, por lo tanto, formadas por hormigón de débil resistencia.

Si el hormigón se encuentra dentro de lo admitido por la instrucción y es capaz de soportar la solicitación prevista, se puede dar por válido respecto a cálculo. Si la resistencia no es suficiente, es mejor proceder a la demolición del pilar, si está recién construido o, en todo caso, a su reparación y refuerzo.

Ello puede realizarse por recrecido, mediante perfiles metálicos o con un zunchado que abrace esta parte del pilar, constituido por un collarín metálico unido al hormigón mediante una masilla epoxi de unión de acero y hormigón.

En el análisis patológico de los pilares, debe tenerse en cuenta la variación de la resistencia con la altura. Para resistencias inferiores a 150 Kp/cm^2 (15 Mpa), la diferencia entre la parte inferior y la superior puede estar en torno al 20 %.

Ello se debe a que la parte superior está mucho más penalizada durante el hormigonado, debido al reflujo de la lechada cementosa. A medida que la resistencia se eleva, estas diferencias se hacen menores.

B. DESAGREGACIÓN DEL HORMIGÓN

Los ataques químicos sobre el hormigón, procedentes tanto del interior como del exterior, pueden producir en el pilar desagregaciones que se manifiestan a través de fisuras y desconchados generalizados en toda la superficie. Este fenómeno, uno de los defectos más difíciles de curar, provoca en su avance una pérdida paulatina de la resistencia, pudiendo llegar a ocasionar el colapso de la estructura.

Ante su aparición, es necesario realizar análisis que permitan determinar con exactitud los fenómenos causantes y, con arreglo a ello, proyectar las medidas más convenientes. Si el ataque procede del exterior, las primeras medidas serán eliminar la causa, proteger el elemento y, si es necesario, reforzarlo.

Cuando el ataque procede del interior, es decir, es el propio material el que ataca al pilar, es necesario sustituirlo por otro más adecuado.

Se puede recurrir además a los procedimientos de protección, el empleo de enfoscados hechos con morteros de características indicadas para el medio, los revestimientos impermeabilizantes, etc.

En ocasiones, la agresión interna o externa está tan avanzada que resulta imposible salvar el elemento afectado. Hay que proceder a su amputación y a su sustitución por otro nuevo de características más adecuadas al medio.

La aparición de casos graves, en los cuales se combinan ataques internos y externos, es frecuente en zapatas cimentadas en terrenos agresivos realizadas con un hormigón poco idóneo.

El apuntalamiento de la zona afectada, la demolición de las zapatas y la reconstrucción de otras nuevas puede ser la solución.

Otro método, menos drástico, consiste en prescindir de la resistencia del pilar, confiando sus funciones a una serie de perfiles laterales adosados o forrando el pilar con platabandas de acero.

Fisura por momento flector.



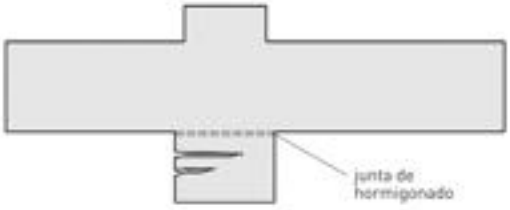
Características de la fisura
Fisura vertical cortando, por lo general, la sección completa
Posición próxima al nudo
Ancho variable, pero generalmente constante en todo el canto

Fisuras por esfuerzos cortantes.



Características de la fisura
Inclinadas
Ancho variable
Apertura máxima a nivel de la armadura de tracción

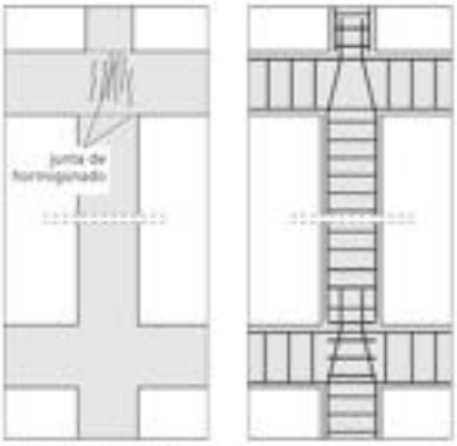
Fisuras en cabeza de pilar por baja resistencia del hormigón, estribos en disposición inadecuado, defectos de llenado o dimensionamiento inadecuado.



Características de la fisura
Fisura ortogonal a la directriz
Ancho muy grande, hasta 2 mm

Esquemas de fisuras características en estructuras de hormigón armado debido a acciones sìsmicas.

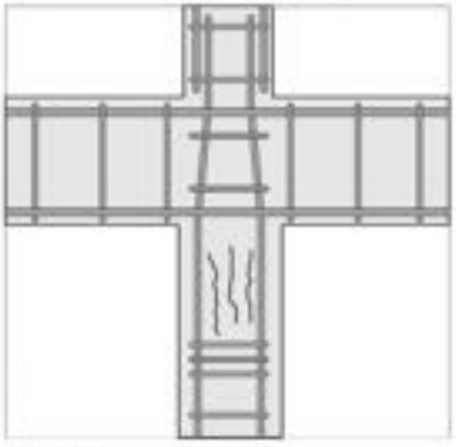
Fisuración vertical en nudos de entramados.



Características de la fisura
Fisuras paralelas a la directriz del pilar. ℄
Se producen solamente en el nudo. ℄
Suelen presentarse varias fisuras paralelas.
Son de pequeño ancho, generalmente no mayores de 0,1mm℄

Causas de la fisura
En estructuras en las que se emplea en pilares hormigón de resistencia notablemente más alta que en vigas y forjados, cuando se comete el error de hormigonar el nudo con el hormigón de vigas y forjados y no con el de pilares, como debería hacerse.
En estructuras en las que se omiten los estribos del pilar en el nudo.
En ambos casos se trata de un agotamiento local de hormigón en compresión. ℄
En ambos casos el proceso de fisuración se agrava si la estructura se encuentra sometida a acciones horizontales apreciables, como por ejemplo sacudidas sísmicas, aunque sean muy inferiores a la intensidad prevista en el cálculo.

Fisuración vertical en cabeza de pilar.



Características de las fisuras
La tipología es similar a la anterior.

Causas de las fisuras
Ausencia de estribos en el pilar, en esa zona. ℄
Deslizamiento de los estribos, que se encuentran juntos en la zona inferior a las fisuras. ℄
Baja local de resistencia del hormigón.

Esquemas de fisuración vertical en una estructura de hormigón armado.

C. EXCESO DE AGUA EN EL AMASADO

El empleo de altas relaciones agua-cemento genera efectos perjudiciales sobre los hormigones, provocando un incremento importante de la permeabilidad del material y, como consecuencia, una mayor exposición a la entrada de agentes oxidantes.

Además, puede llegar a relacionarse con disminuciones drásticas de la resistencia del hormigón y con el incremento en la retracción de los pilares.

D. RETRACCIÓN HIDRÁULICA DEL PILAR

Cuando el hormigón se halla en fase de fraguado o principio de endurecimiento, es decir, en estado plástico, puede producirse un acortamiento del pilar por retracción hidráulica. Si el elemento se ve imposibilitado de deformarse, esto se traduce en la creación de una serie de tracciones y en la formación de fisuras o grietas, que surgen sobre todo en época calurosa o en las horas de mayor calor del día.

Estas suelen ser finas y horizontales, distribuidas por toda la superficie del pilar, y su anchura es directamente proporcional a la duración del vibrado y a la cantidad de agua empleada.

En elementos verticales, la peligrosidad de la retracción es pequeña, siendo su trascendencia mayor desde el punto de vista de la durabilidad de la estructura que de su resistencia. Pero sí puede motivar un cuadro de fisuras importante en elementos horizontales que funcionen hiperestáticamente con los pilares, dando lugar a un estado tensional en las vigas y forjados que puede llegar a tener tanta gravedad como el producido por un asiento diferencial del terreno.

Por lo tanto, el fenómeno de la retracción hidráulica juega un papel importante no sólo en la rigidez del pilar, sino también en la de la estructura afectada por él. En este caso, el pórtico.

En sentido inverso, en la retracción de las vigas de gran longitud, muy armadas y con fuerte sección, unidas a pilares esbeltos, es frecuente que la fisuración, en vez de producirse en el elemento que se acorta, se manifieste en los que están unidos a él.

En este caso, la viga se deforma sin tensiones importantes dentro de ella, pero transmitiendo estas tensiones a los elementos verticales y produciendo fisuras en la cabeza y pie de los pilares, con mayor intensidad en los pilares extremos.

En ocasiones, las fisuras no son debidas propiamente al acortamiento de las piezas, sino a las tensiones generadas por el acortamiento de las más rígidas sobre aquéllas menos rígidas del mismo pórtico.

Las fisuras se concentran en las jácenas de menor rigidez, como consecuencia de la coacción impuesta a su acortamiento por los pilares, que son más rígidos.

Un ejemplo típico es el de una estructura porticada de una crujía y dos vigas a diferente nivel. Si la viga superior tiene más rigidez y está más armada, retraerá menos y dará lugar a que sea la inferior la que se fisure.

Entre las causas de las fisuras de retracción, hay que señalar principalmente deficiencias en la homogeneidad del hormigón, una mala dosificación o el empleo de hormigones superpuestos de diferentes características.

Si un hormigón en estado plástico se ha vibrado en exceso, se produce una segregación, es decir, la separación de los elementos y al existencia de dos hormigones diferentes. Los elementos más gruesos y pesados se desplazan hacia el fondo, produciendo un hormigón pobre. Mientras que la pasta se queda en la superficie, creando un hormigón rico en cemento. La heterogeneidad consecuente produce una fisuración superficial como consecuencia de la segregación de los áridos.

Evitar las fisuras de retracción es posible mediante la reducción de los acortamientos en las edades tempranas del hormigón, proporcionándole abundante agua o impidiendo que la pierda durante su curado, para que alcance su resistencia sin verse sometido a tensiones de tracción que lo superen. Evitar las horas y los días de mayor sol y calor en los procesos de hormigonado y utilizar cementos de fraguado rápido son algunas de las medidas que permiten minimizar los efectos de las retracciones.

Considerando que, cuanto más alto es el pilar más intenso es el calor y más fluido es el hormigón, es importante tomar la precaución de eliminar la parte más fluida.Encofrar por exceso alrededor de 20 cm y, una vez hormigonado y vibrado el pilar, retirar el exceso de encofrado, permite perder esta parte del hormigón antes de que haya fraguado.

Si el pilar ya está construido y se detecta que la parte superior no tiene la resistencia exigible, lo mejor es demolerlo y volverlo a construir. Si ello no es posible, se pueden sellar las fisuras con mortero o resina epoxi y colocar en las esquinas, como refuerzo, perfiles en L sujetos con presillas, con su collarín correspondiente.

No obstante, en muchos de los casos basta con extender una lechada fluida de cemento puro sobre las fisuras para solucionar el problema.

E. ASIENTOS PLÁSTICOS EN CABEZA DE PILAR

Es frecuente que en las cabezas de pilares se produzcan fisuras y grietas horizontales denominadas asientos plásticos, debidas a un deficiente asentamiento del hormigón que se encuentra en cabeza de pilar y que es consecuencia de una mala colocación y vibrado del hormigón. Mientras que el material que se encuentra debajo desciende normalmente, el superior puede quedar suspendido por los estribos. Ello produce una discontinuidad en el pilar, dando lugar a fisuras y grietas de diferentes anchuras.

Aunque estas fisuras no tienen una gran trascendencia, deben ser reparadas antes de que el pilar entre en carga. Si son muy finas, pueden simplemente sellarse con una inyección de resina epoxi fluida, consiguiendo devolver con facilidad el monolitismo al hormigón. Si las fisuras o grietas tienen una cierta magnitud, deberá picarse la zona afectada en la profundidad que tenga el plano de la fisura y, una vez limpia la zona con un chorro de agua, proceder a rellenar lo picado con un mortero sin retracción.

F. CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

La corrosión de las armaduras es un proceso químico o electroquímico por el que el hierro se separa del acero transformándose inicialmente en dióxido de hierro y después en óxido de hierro hidratado y en agua. La corrosión suele presentarse al principio en forma de picaduras, extendiéndose posteriormente a toda la superficie del acero, si se trata de un proceso químico, o localizándose en puntos concretos, que actúan como ánodos, si es electroquímico. Este segundo tipo se produce sobre todo cuando hay heterogeneidades en el acero, bien debidas a su propia naturaleza, a las tensiones a que se encuentra sometido o al medio externo.

Los aceros pretensados, sometidos a tensiones próximas a su límite elástico, son muy propensos a la corrosión electroquímica. La presencia de sales, junto con unas condiciones medioambientales desfavorables (humedad y temperaturas altas), tienen una influencia determinante, al provocar intensidades de corriente con valores que favorecen problemas intensos de corrosión.

Dado que la principal causa de descenso de la alcalinidad del hormigón es la carbonatación, la velocidad de la corrosión depende sobre todo de la porosidad del material.

Pero también de la superficie del cemento, de su dosificación, de la relación agua/cemento y de la humedad relativa del ambiente, siendo máxima la carbonatación para una humedad relativa del 50 al 60 por 100. Cuanta mayor cantidad de cemento se emplea en la confección de los hormigones (2800 N/m^3) y menos agua en su amasado, menor porosidad tiene el hormigón. Influyen igualmente los procesos de compactación y curado.

Un buen vibrado es esencial para dotar al hormigón de compacidad e impermeabilidad, ya que al reducir los poros se ofrece una mayor resistencia frente a la corrosión.

Es conveniente enlucir los pilares de hormigón armado y pretensado dos o tres milímetros, con morteros especiales y pinturas impermeabilizantes, anticarbonatación y transpirables. Con ello, se reduce notablemente la porosidad superficial del hormigón y, por lo tanto, se preservan las armaduras de la corrosión.

Si se detecta un ataque de agentes externos, la reparación deberá formar barreras frente a la acción de éstos (impermeabilizantes tipo epoxi, asfálticos, cloro-caucho, etc.).

Ante la aparición de la corrosión, lo primero que hay que hacer es averiguar el fenómeno causante, llevando a cabo análisis detallados que permitan enfocar las acciones de intervención. Existen métodos no destructivos y aparatos de medida cada vez más sofisticados que permiten conocer el grado de corrosión que afecta a las armaduras ocultas bajo el hormigón.

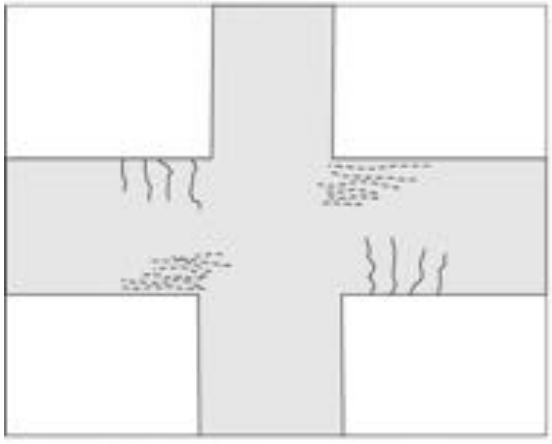
El corrosímetro, por ejemplo, mide la velocidad de corrosión, proporcionando información acerca del riesgo de oxidación de la armadura y facilitando una evaluación cuantitativa de su proceso de desarrollo.

Permite auscultar las estructuras y detectar el inicio de la corrosión cuando ésta aún no es perceptible desde el exterior, confirmando el estado pasivo de las armaduras en estructuras ya reparadas.

Detectar que algunos pilares o partes de pilares no afectados con signos externos de corrosión se hallan sin embargo dañados, permite proceder a su reparación del mismo modo que en los que presentan un avanzado estado.

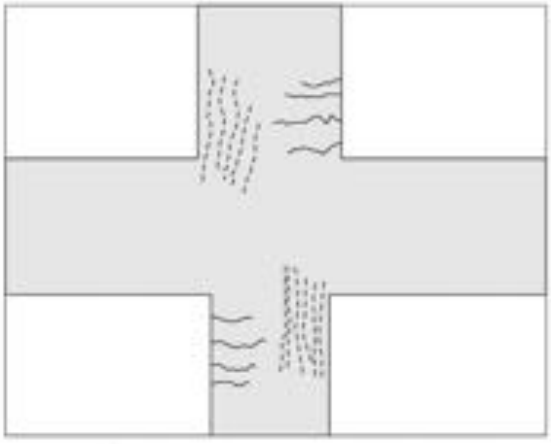
Si ello no se estima necesario, se puede proteger las superficies exteriores con una imprimación de un revestimiento protector que evite la difusión de los agentes agresivos sin impedir la fuga de la humedad interna del hormigón (resinas o aceites).

Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica.



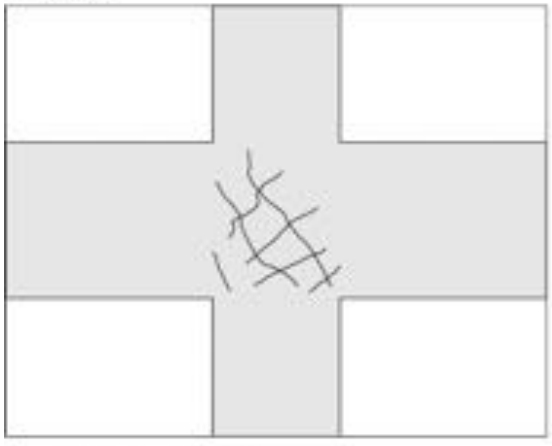
Características de las fisuras
Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas en caras opuestas de vigas a cada lado del nudo
Zonas de fisuración fina o deslaminación del hormigón en caras opuestas de vigas a cada lado del nudo

Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica.



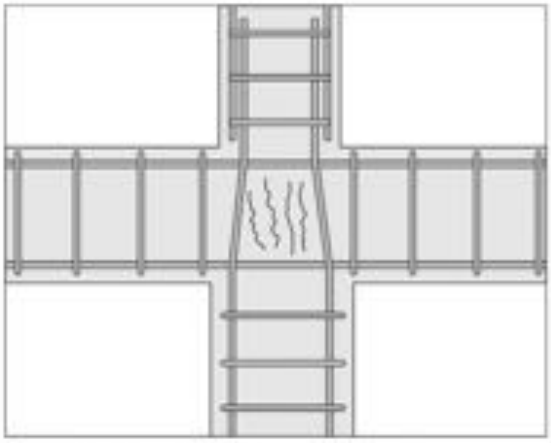
Características de las fisuras
Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas, en caras opuestas de pilares a cada lado del dintel
Zonas de fisuración fina o deslaminación del hormigón en caras opuestas de pilares a cada lado del dintel

La cuantía de cercos del pilar contenida en el nudo es insuficiente para resistir los esfuerzos cortantes.



Características de las fisuras
Ancho variable, ordenadas en dos familias en la dirección

Ausencia o insuficiencia de cercos del pilar en el nudo y agotamiento en compresión del hormigón.



Características de las fisuras
Una o varias fisuras paralelas

Esquemas de fisuración en nudos de estructuras de hormigón armado debido a esfuerzos de tipo sísmico.

Si el pilar presenta signos externos de la lesión, determinar la presencia de armaduras oxidadas resulta sencillo, dado que este proceso produce un aumento del volumen del acero del orden de 8 a 10 veces su volumen original, provocando una expulsión del hormigón que recubre las armaduras y generando fisuras que habitualmente describen líneas paralelas, siguiendo la dirección de las armaduras principales e incluso de los estribos.

Si la corrosión está muy avanzada, las tensiones producidas por este aumento de volumen pueden ser muy notables. La intensidad de la fisuración, en relación directa con el avance del fenómeno corrosivo, se manifiesta entonces en grietas de anchura considerable y desagregaciones.

Existen diferentes síntomas, unos más leves que otros, con que la corrosión de las armaduras puede manifestarse en la superficie del pilar.

Cuando aparecen fisuras coincidentes con el sentido del armado, desconchados en el hormigón de recubrimiento y manchas de óxido en las partes bajas del pilar, la corrosión puede ser debida a cloruros y otras sales corrosivas, a la carbonatación del hormigón, a la presencia de humedad por capilaridad o a micciones de animales.

Una exfoliación superficial del hormigón y la aparición de manchas de óxido en las bases y cabezas de pilares pueden ser síntomas de un ataque por sulfatos disueltos en el agua de filtración o de capilaridad. Al evaporarse ésta, los sulfatos quedan depositados cerca de la superficie y forman cristales expansivos que decapan el hormigón.

En su evolución, este proceso provoca la corrosión de las armaduras. Es necesario eliminar la aportación de sulfatos y, si es conveniente, reparar la zona afectada.

Finalmente, la aparición de fisuras, desconchados i manchas de óxido en las zonas correspondientes a las armaduras, tanto barras como estribos, son indicativo de una corrosión expansiva provocada por carbonatación del hormigón, por la presencia de humedad o por el ataque por cloruros.

El proceso se inicia con la aparición de picaduras y evoluciona hacia la corrosión superficial, acelerándose si no existen recubrimientos.

En todos estos casos, la lesión llega a ser realmente grave cuando las armaduras presentan un grado de corrosión tan elevado que provoca una importante pérdida de la sección resistente de las mismas. Entonces, no basta con realizar una reparación, sino que habrá que proceder a un refuerzo, bien introduciendo nuevas armaduras soldadas a las existentes, o bien a través de intervenciones tradicionales de refuerzo mediante perfiles o recrecido del pilar.

En el proceso de corrosión de los pilares, los estribos juegan un papel fundamental en la estabilidad de las armaduras. Si el hormigón que las recubre está fisurado, el pandeo de las barras depende plenamente de ellos. Por ello, la reposición de éstos es fundamental, incluso antes de descubrir totalmente las armaduras, si se desea contar con la capacidad resistente de éstas durante el proceso de reparación.

DEFECTOS DE EJECUCIÓN

Es bastante frecuente detectar en los pilares defectos cuyo origen primero se halla en una deficiente ejecución o puesta en obra.

A. DEFECTOS GENERALES

Uno de los problemas de ejecución que se presentan con mayor frecuencia es la rotura del hormigón por golpes en desencofrados prematuros. Aunque le lesión ocasionada no es grave, la falta de reparación puede conducir posteriormente a un corrosión de la armadura. Una vez desprendidas las esquinas, es conveniente eliminarlas y sustituirlas por mortero epoxi. Si no están totalmente sueltas, pueden sellarse las fisuras con resina epoxi.

Igualmente, el desplazamiento de los cercos durante la ejecución puede provocar la aparición de fisuras verticales o ligeramente inclinadas que en ocasiones llegan a revestir cierta gravedad.

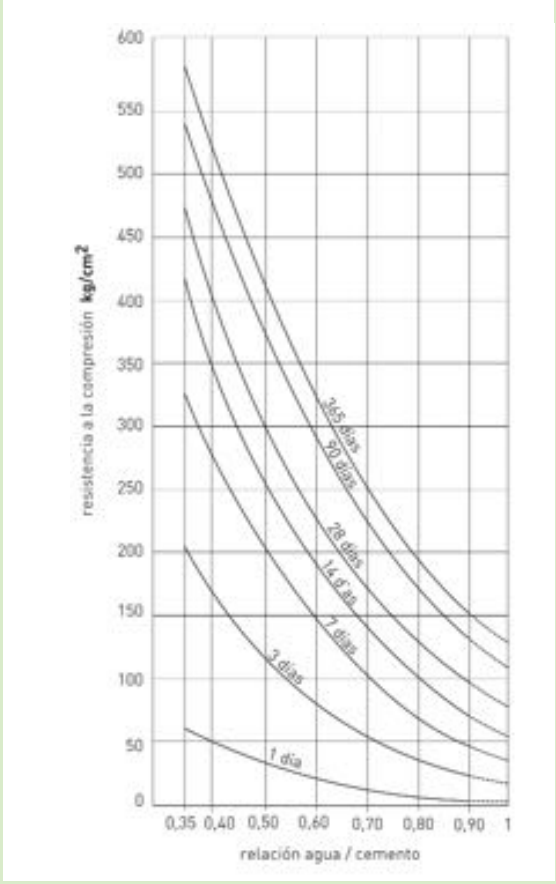
No revisten importancia, sin embargo, las fisuras que aparecen en el momento de entrar en carga un pilar zunchado, dado que éstas se limitan generalmente al recubrimiento.

B. MANIPULACIÓN INCORRECTA DEL HORMIGÓN

En el proceso de ejecución puede incurrirse en fallos que afecten a la durabilidad del hormigón. Un deficiente transporte y vertido puede provocar, por ejemplo, la segregación del hormigón y una rotura de la homogeneidad de la masa. En consecuencia, la aparición de zonas poco compactas, coqueras o nidos de grava.



Cesión de un pilar con pérdida de material.



Influencia de la relación agua/cemento sobre la resistencia a compresión del hormigón.

Una mala dosificación, que puede ser debida a deficiencias en los sistemas de medida; la inadecuada elección de la consistencia del hormigón, por exceso o por defecto; o una compactación deficiente, que conduce a una mala compacidad del hormigón, son otros defectos comunes en esta etapa.

Por otra parte, un vibrado inadecuado produce un mal reparto del hormigón, que no penetra correctamente entre las armaduras. Ello propicia además la problemática de los asientos plásticos.

Finalmente, es necesario comprobar la estanqueidad de los encofrados, para evitar fugas de lechada y la pérdida de parte del contenido en cemento. En este caso, los áridos se quedan sin pasta y se producen zonas poco compactas o con bajos contenidos de cementos en los recubrimientos, restando protección a la armadura. El problema se acentúa en hormigones excesivamente fluidos compactados por exceso.



Fisuras características debidas a la retracción del hormigón armado.

C. FORMACIÓN DE OQUEDADES

La aparición de oquedades y coqueras, debidas a que el hormigón no ha llegado a una zona determinada, es una sintomatología muy común en pilares.

Puede llegar a causar un importante debilitamiento del pilar, como ocurre en el caso de oquedades de gran magnitud que seccionan totalmente la pieza, dejando al descubierto incluso las armaduras.

La actuación frente a estos casos depende de la magnitud del problema. Si las oquedades son únicamente superficiales y están en zonas poco peligrosas, se puede proceder a su sellado con un mortero de cemento, para evitar corrosiones en las armaduras.

Si las coqueras son grandes, el problema es más complejo. Puede que el pilar presente una importante pérdida de resistencia.

Además, es frecuente que el hormigón sea poco sano alrededor de las coqueras, detectándose áridos sueltos. Por ello será necesaria la eliminación de todo el hormigón defectuoso.

El sistema más empleado en la reparación consiste en aplicar una película de resina epoxi apta para la unión de hormigones y proceder después a hormigonar los huecos. Sin embargo, existe el peligro de que la retracción del hormigón pueda hacer perder resistencia a un relleno de este tipo, haciendo que éste no entre en contacto con el elemento estructural.

Como alternativa, puede optarse por los morteros epoxi u hormigones epoxi, que poseen muy poca retracción y unas altas resistencias mecánicas.

En casos graves, habrá que proceder al apeo de la estructura que se apoya sobre el pilar y a la demolición de la parte afectada.

Aplicando a las caras sanas una película de resina epoxi, que garantiza la unión de las piezas, se reconstruye la zona con un hormigón de áridos de granulometría muy estudiada, en el que el aglomerante puede ser una resina epoxi.

Este material de elevada resistencia asegura la continuidad entre la parte reconstruida y la original.

Si el pilar presenta coqueras en buena parte de su superficie, puede considerarse la posibilidad de reforzar en lugar de reparar, para lo cual será necesario calcular la capacidad resistente del elemento afectado.

Si bien las coqueras y oquedades suelen ser superficiales, en ocasiones se alojan en el núcleo del pilar, pudiendo pasar por ello desapercibidas.

El ensayo ultrasónico permite detectarlas, pero la imposibilidad de acceder a ellas dificulta su reparación.

Se puede picar el hormigón hasta abrir un acceso a la coquera, que permita efectuar una inyección de resina epoxi o embutir un mortero de cemento de expansión controlada.

Si el acceso es imposible, habrá que demoler la zona afectada y volver a reconstruirla.

D. DEFECTOS DE LAS ARMADURAS

Las incorrecciones en la disposición de las armaduras son el origen de diversos defectos en los pilares, cuyos daños se manifiestan con una sintomatología incluso más específica que la del hormigón.

No obstante, hay que remarcar que gran parte de estos errores tiene su origen en el propio proyecto.

Por ejemplo, por basarse en planos en los que las armaduras están sin despiezar, donde faltan las cotas para definir los trazados de las barras o no se indican los puntos idóneos de solape.

Los errores más frecuentes en la fase de ejecución son los siguientes:



La corrosión de las armaduras ha provocado el resquebrajamiento del hormigón en estos elementos de fachada.

- **ERRORES DE CORTE**. Aunque no suelen provocar lesiones muy graves, sí obligan a adoptar soluciones, como disponer armaduras adicionales adheridas o refuerzos.

- **ERRORES DE DOBLADO**. Afecta sobre todo a barras de diámetros superiores a 20 mm y aceros duros, aunque también se encuentra en barras en general, que son puestas en posición ya en obra, mediante conformaciones bruscas con grifa. Se produce al adoptar radios de doblado muy inferiores a los que se exigen para la calidad del acero empleado, manifestándose por fisuras en los codos e incluso por rotura de la armadura.

- **FALTA DE RECTITUD DE LAS BARRAS**. Ligeras desviaciones del orden de 1,5ø en el eje de la armadura por un combado local, siendo ø el diámetro de la barra, pueden tener una influencia muy apreciable en la resistencia de la armadura.

- **EXCESO DE ARMADURAS**. El motivo puede ser de proyecto (no precisión de los cruces de armadura) o porque la propia ferralla está fuera de sus valores de tolerancia. El efecto es una dificultad para el paso del hormigón y una consecuente falta de compactación.

- **GRIFADO TEMPRANO DE LAS ARMADURAS**, cuando el hormigón está todavía tierno. Produce un desprendimiento del recubrimiento e incluso grietas de cierta entidad en las esquinas, especialmente si no existe una buena disposición de los estribos en dicha zona.

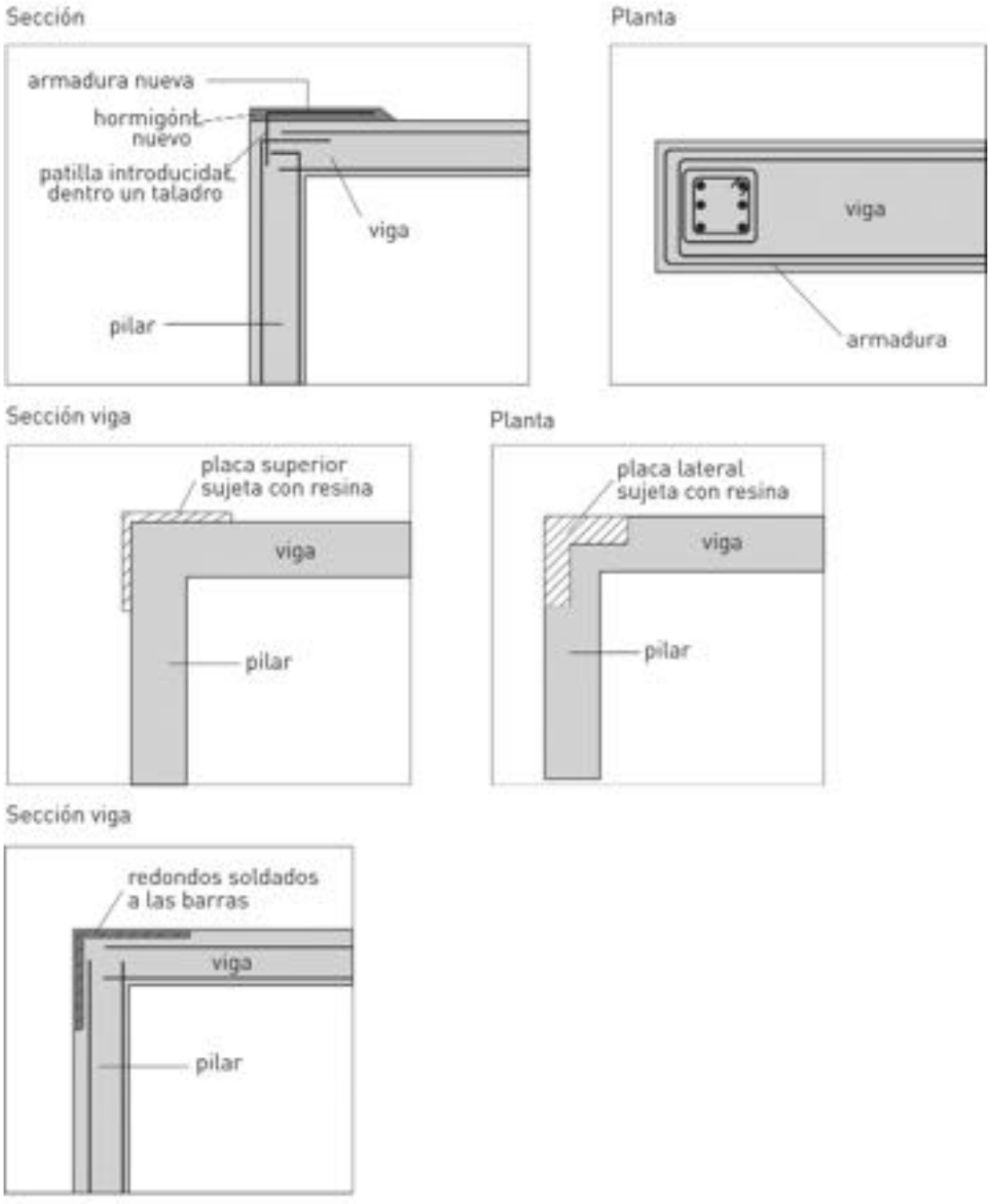
  Puede resolverse picando la zona y reconstruyendo la pieza con un mortero de reparación. Si el pilar está sujeto a altas solicitaciones, puede colocarse como refuerzo un collarín metálico de zunchado en caliente con un espesor de chapas de unos 8 mm.

- **ATADO INSUFICIENTE**. Produce una bajada de los estribos de pilares, dejando grandes zonas de barra sin estribos y perdiendo éstos totalmente su contribución.

  Un mal posicionamiento de la armadura en el pilar es otra causa frecuente de defectos en las estructuras porticadas. Si alguna de las caras del pilar aparece con armadura insuficiente, puede simplemente procederse a reforzar el pilar abriendo regolas para colocar las barras y estribos que faltan y cubriéndolas con mortero epoxi. Una alternativa es colocar platabandas sujetas al pilar con resina epoxi, asegurando el conjunto con conectores internos.

Es posible también situar angulares en las esquinas, sujetos por presillas y collarines en la base y cabeza del pilar y unidos a él mediante resina epoxi. Tanto los angulares como las presillas pueden embutirse en el pilar mediante picado de éste.

Cuando el pilar es de fachada, es posible evitar su demolición y posterior reparación ampliando la sección por la cara en que la armadura resulta insuficiente, colocando nueva armadura y estribos en forma de horquilla y aplicando resina epoxi antes de hormigonar.



Esquemas de soluciones para elementos de hormigón con escasez o ausencia de patillas metálicas en el encuentro.

Esta solución tiene el inconveniente de aumentar el momento negativo de la viga sobre el pilar. Como en todo aumento de sección, habrá que esperar por lo menos 28 días antes de poner de nuevo en carga el elemento reforzado.

Finalmente, existe un grupo de defectos relacionados con los estribos, cuyas raíces se hallan también en el proceso de ejecución de la obra. Pueden llegar a producir fisuras semejantes a las de cortante en jácenas apoyadas, cuando existe una insuficiencia de estribos.

El desplazamiento de éstos durante el vibrado, debido a un incorrecto anclaje a las barras, puede provocar una situación muy peligrosa de pandeo de las armaduras de los pilares, e incluso su abertura en dos.

La finalidad de los estribos es mantener en posición las barras de armado, evitar su pandeo y absorber los esfuerzos cortantes (algo que se manifiesta esencial frente a los movimientos sísmicos) y los momentos torsores.

Así como aumentar la resistencia del hormigón. En igualdad de condiciones entre dos pórticos con pilares de idéntica sección y armadura, soporta mayor carga el que está más estribado.

Una vez construido el pórtico, se soluciona el problema realizando regolas donde son necesarios los estribos, recolocando los que se hayan desplazado o añadiendo nuevos estribos donde sean necesarios, y cubriendo de nuevo el conjunto con mortero epoxi.

E. PILARES MAL REPLANTEADOS

En un edificio de varias plantas, se reducen de sección los pilares conforme van siendo menores las cargas. La armadura de espera se coloca doblada, para ser conectada a la del pilar superior que presenta menos sección.

En ocasiones, sin embargo, las armaduras en espera no coinciden con la disposición geométrica del nuevo tramo de pilar a construir o incluso se ha prescindido del doblado de anclaje en la última planta de la estructura. Hay que tener en cuenta que, si la longitud de anclaje resulta mayor que 15ø, se provoca un agotamiento temprano de las barras.

Cuando el mal replanteo del pilar sucede en la cimentación, la solución es taladrar la misma y, una vez limpia la perforación, introducir un mortero sin retracción o un mortero epoxi y colocar las armaduras que resuelvan el correcto acoplamiento, haciendo rebosar el material previamente introducido.

Siempre debe tratarse de introducir las armaduras en espera dentro del pilar superior. Si ello no es posible, deben cortarse.

Si sobre el pilar mal replanteado apoya un forjado, el caso se complica, puesto que el anclaje de las barras está limitado al canto del forjado menos 5 cm. Un mortero epoxi introducido en las perforaciones permitirá reducir el anclaje en un 25 % de su longitud, sin que se deba bajar nunca de los 20 cm.

Si las armaduras en espera para conectar con el pilar superior resultan cortas, el problema se soluciona en fase constructiva soldando las armaduras de continuidad por ambos lados, con una longitud alrededor de 10 veces el diámetro de las barras y con un espesor de la soldadura del orden de la mitad de dicho diámetro.

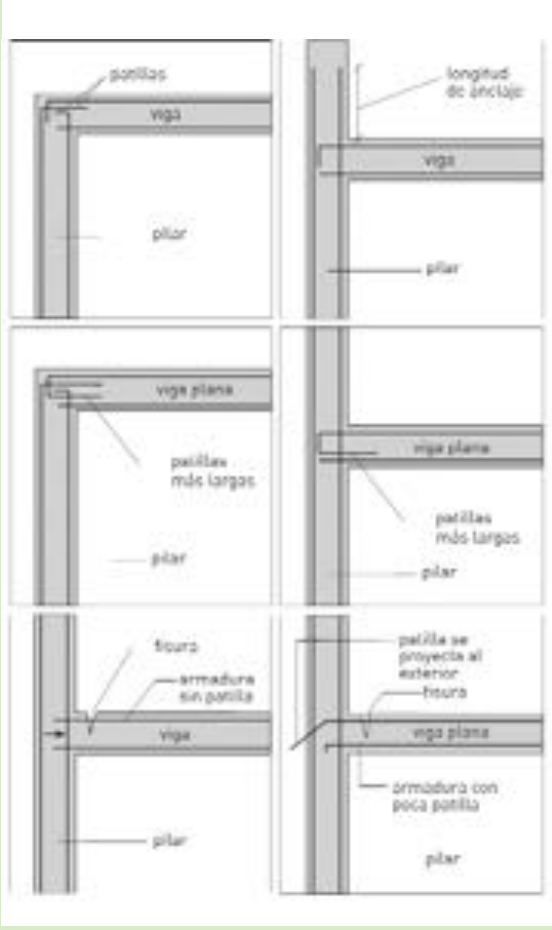
A posteriori, existe la solución de colocar una placa de acero de unos 12 mm de espesor sobre el pilar y soldar en sus perforaciones las barras cortas que sobresalen del forjado, rellenando los huecos con un mortero fluido sin retracción para que la placa asiente correctamente.

INTERVENCIONES DE REPARACIÓN Y REFUERZO

Si, tras la diagnosis, se considera oportuno proceder a realizar alguna intervención en la estructura, puede recurrirse a cinco actuaciones generales, según la magnitud del daño: un seguimiento en servicio, la aplicación de un protección superficial, la reparación propiamente dicha, el refuerzo de las piezas afectadas y la sustitución del pilar, ya sea ésta física o funcional. Cuando se considera oportuno no efectuar ningún tipo de intervención, puede plantearse únicamente un control periódico o seguimiento en servicio de los puntos críticos de la estructura.

La protección superficial es aconsejable sólo en los casos en que se trate de contrarrestar patologías de escasa peligrosidad, como las producidas por la porosidad natural del hormigón, las microfisuras que hayan aparecido en el proceso de fraguado o la deformación admisible de las piezas.

Cuando se necesite recuperar las prestaciones originales del elemento afectado, habrá que optar por realizar las reparaciones propiamente dichas. Una buena reparación evitará siempre introducir soluciones que pongan en contacto metales que puedan provocar, por electrólisis, nuevos problemas de corrosión. Se intentará que la conexión con los soportes (paredes y vigas) sea lo más sencilla, efectiva y económica posible. Asimismo, la reparación debe ser fácil de realizar en espacios reducidos, por lo cual se preferirán los métodos basados en elementos ligeros, de fácil transporte, en elementos con piezas acoplables o en materiales conformables, que de un estado en polvo o líquido puedan pasar a un estado rígido (hormigón, poliéster reforzado, etc.).



Esquemas de ejecuciones correctas e incorrectas de un encuentro entre viga y pilar. La buena ejecución es siempre preferible a la reparación.

Se asegurará asimismo que los nuevos materiales incorporados sean fácilmente controlables y reparables, por lo cual se optará por elementos vistos, soldables, con existencias en el mercado y sin piezas demasiado especiales.

La opción de reforzar las piezas afectadas es conveniente cuando el objetivo de la reparación sea mejorar las prestaciones originales del pilar y su capacidad portante, absorber excesos de carga o de esfuerzo que podrían comprometer el correcto comportamiento de la estructura o prevenir colapsos. Básicamente, los sistemas de refuerzo se diferencian de los de sustitución por no necesitar una puesta en carga tan cuidadosa ni tener que dimensionar los métodos de apeo para toda la carga.

Finalmente, cuando el estado de deterioro de la estructura haga aconsejable trasladar las prestaciones del elemento original a uno nuevo, debemos recurrir a una sustitución del pilar. Esta puede ser física (extrayendo la pieza dañada y sustituyéndola por otra nueva) o funcional (añadiendo nuevos elementos estructurales con características equivalentes a los ya existentes, sustituyendo la contribución de aquéllos).

1. REFUERZO DE PILARES

El refuerzo debe llevarse a cabo cuando el pilar no tiene la sección necesaria para cumplir su misión, ya sea debido a deficiencias en el material o en la ejecución, a la corrosión de las armaduras o al cambio de uso de la estructura, que somete al pilar a cargas superiores a las inicialmente proyectadas. Las técnicas existentes se agrupan fundamentalmente en dos posibilidades: el uso de hormigón armado o el refuerzo mediante perfiles de acero.

Existen dos sistemas fundamentales de refuerzo de un pilar con hormigón armado: el refuerzo mediante el recrecido del pilar original con hormigón armado y el refuerzo mediante la técnica del zunchado.

REFUERZO DE UN PILAR MEDIANTE UN RECRECIDO DE HORMIGÓN ARMADO

Se trata de uno de los métodos más antiguos, económicos y eficaces que existen. Sin embargo, presenta varios inconvenientes:

- **EL ELEMENTO REPARADO NO PUEDE PONERSE EN CARGA HASTA PASADOS POR LO MENOS 28 DÍAS**, periodo mínimo para que el hormigón alcance sus resistencia de cálculo.

- **EL RECRECIDO PROVOCA UN AUMENTO SENSIBLE DE LAS DIMENSIONES DEL PILAR Y UN CONSECUENTE CAMBIO DE RIGIDEZ QUE PUEDE AFECTAR A PARTE DE LA ESTRUCTURA**. Es necesario estudiar minuciosamente el nuevo estado tensional de la estructura y la sustentación de las vigas, que descargan ahora en un elemento más ancho.

- **EL CAMBIO DE SECCIÓN DEL PILAR PUEDE CREAR ASIMISMO PROBLEMAS ESTÉTICOS Y DE ESPACIO.**

El refuerzo puede realizarse con hormigón colado o con hormigón proyectado, siendo los espesores mínimos los que se contemplan en la siguiente tabla. El espesor de la capa de hormigón es determinado según la sección requerida para resistir el esfuerzo a que va a estar sometido el pilar.

Tanto si el hormigón es proyectado como colado, el efecto zuncho provocado por la propia retracción de éste mejora la adherencia entre los dos materiales. Esta es la principal ventaja de este método.

Al entrar en carga el conjunto refuerzo-núcleo, el recrecido que envuelve al pilar inicial trabaja unido a éste por la adherencia que existe entre los dos hormigones.

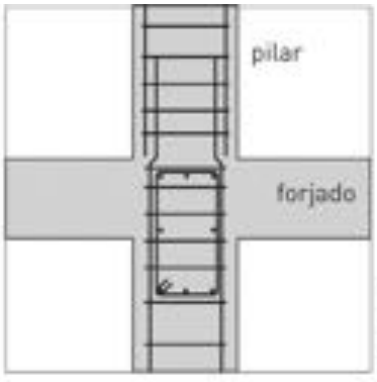
Las cargas se transmiten no sólo puntualmente en los extremos del pilar, sino también por fricción entre los dos hormigones.

De esta forma, se evita la creación de esfuerzos cortantes sobre las losas o los forjados, como ocurre en el caso de refuerzos proyectados con perfiles laminados.

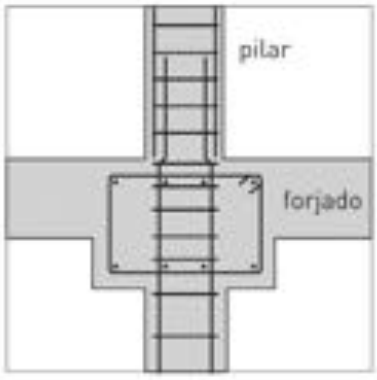
A fin de mejorar la adherencia y el trabajo conjunto de ambos hormigones, se debe eliminar la capa de lechada superficial del pilar original y aplicar una película de resina epoxi adecuada para la unión de hormigones.

Es común en el recrecido de pilares con hormigón armado calcular éste de modo que sea capaz de resistir, por sí solo, la carga vertical, prescindiendo de la contribución del núcleo. En este sentido, estaríamos hablando de una sustitución funcional del pilar.

Aunque la capacidad resistente del pilar original existe, lo cierto es que su cuantía es muy difícil de determinar y que puede llegar al agotamiento. Su desprecio a efectos de cálculo aporta, en todo caso, una seguridad añadida.



Solución óptima.
La viga es más estrecha que el canto del pilar



Solución intermedia.
La viga es más ancha que el pilar



Solución inadecuada.
Existen interferencias entre las armaduras ya que la viga y el pilar son de igual ancho

Esquemas de encuentro de viga y pilar de hormigón armado. Un diseño defectuoso o el desconocimiento de las técnicas constructivas conducen a fallos de difícil solución.

El recrecido o camisa está generalmente formado por un hormigón de resistencia adecuada, armado con una cuantía de acero similar a la del pilar original. Puede realizarse en toda la longitud a reforzar, con lo cual las barras de armado deben anclarse tanto en el hormigón de las placas inferior y superior de los pisos como en la cimentación, si se trata de un pilar de arranque de la estructura.

En caso contrario, cuando el elemento afectado está ubicado en plantas superiores, hay que darle continuidad al refuerzo extendiendo el recrecido a los pilares de todas las plantas situadas por debajo.

Si el elemento está dañado de modo ligero y sólo en una zona, puede proyectarse una reparación localizada, en la que el recrecido sobrepase el área dañada por encima y por debajo al menos en 1,5 b, siendo b la dimensión mayor de la sección del pilar.



La armadura en espera de estos pilares es demasiado corta para producir un empalme aceptable con el pilar superior.

En ocasiones, se precisa realizar el recrecido sólo en alguna de las caras del pilar y no en todo su contorno. Por ejemplo, cuando los pilares de una misma vertical no quedan alineados como consecuencia de un error en el replanteo de una planta con respecto a otra.

Para evitar daños en losas y forjados como consecuencia de los esfuerzos creados, puede hacerse un recrecido del pilar desplazado en una o dos de sus caras. Al no quedar el refuerzo envolviendo a todo el pilar, nos hallamos ante un caso en el que falla la unión de los dos hormigones y el trabajo conjunto de refuerzo y pilar.

Para compensarlo, se soldarán los estribos del refuerzo a los del pilar original, que previamente habrán sido descubiertos.

REFUERZO MEDIANTE HORMIGÓN ZUNCHADO

Contrariamente al refuerzo con hormigón armado, en que éste se calcula para que pueda absorber la totalidad de los esfuerzos que se producen sobre el pilar, en el refuerzo por efecto del zunchado no sólo se cuenta con la colaboración resistente del pilar inicial sino que ésta se aumenta por el postensado o compresión triaxial que produce el zuncho.

La principal ventaja es que la sección final del pilar será más pequeña que en el caso del refuerzo con hormigón armado.

El zunchado consiste en envolver un pilar de sección cuadrada con un cilindro, capaz de oponerse a las dilataciones transversales del hormigón, cuando éste se somete a un esfuerzo de compresión axial. La envolvente puede ser continua, formada por una hélice, o simplemente por cercos redondos.

En ambos casos, la separación entre cercos o espiras de la hélice será de dos cm como máximo y se colocarán como mínimo seis barras de armado. Los extremos de los redondos de los zunchos han de anclarse en la masa del hormigón.

El zunchado se manifiesta eficaz en pilares de esbeltez geométrica inferior a cinco y sólo debe emplearse en piezas cortas y sin posibilidad de pandeo.

Nunca deben colocarse en un mismo pórtico pilares normales y pilares zunchados, dado que cada uno se deforma de modo diferente, salvo que se haya realizado una comprobación de las losas y vigas afectadas por ellos, para ver si tienen suficiente armadura para absorber los momentos adicionales que pueden producirse.

El procedimiento consiste en descarnar el pilar en sus esquinas, hasta alcanzar las barras de armado principales, con el fin de reducir al mínimo el núcleo original y, por lo tanto, el diámetro de la nueva columna.

El hormigón se picará para eliminar la capa de lechada superficial, procediendo tras limpiar el polvo a aplicar una película de resina epoxi para la unión de hormigones, con un tiempo de endurecimiento largo.

Inmediatamente, se montan las nuevas armaduras y los encofrados, procediendo al hormigonado de la columna. El árido empleado tendrá un tamaño máximo de 20 mm para evitar que se creen huecos entre las armaduras.

En este tipo de refuerzos, el hormigón de recubrimiento tiene únicamente una misión de protección de las armaduras y de acabado estético de la columna.

Para el refuerzo de columnas afectadas por una resistencia insuficiente o que simplemente deban aumentar su capacidad para hacer frente a nuevas solicitaciones puede aplicarse un collarín metálico en todo su perímetro y altura y un capitel en la base y cabeza.

También pueden aumentarse sus dimensiones de origen y su rigidez, colocando alrededor la armadura necesaria. Debe tenerse en cuenta que esta solución provoca un aumento que de los momentos negativos en las vigas.



Armadura de pilar mal colocada. No sólo está girada sino que el exceso de recubrimiento provocará fisuras en el pilar cuando éste trabaje.

REFUERZO DE UN PILAR MEDIANTE PERFILES DE ACERO

Se practica en pilares a compresión, flexión o cortante y, en general, en elementos cuya capacidad resistente no sea la adecuada.

Su cálculo se realiza para resistir toda la carga que, originariamente, soportaba el pilar original, prescindiendo de la contribución de éste. Una serie de fracasos en este tipo de refuerzos, utilizados ampliamente desde hace décadas, ha provocado una cierta desacreditación del sistema.

Sin embargo, la mayoría de ellos han sido debidos a un mal diseño y ejecución.

El método se basa en disponer un angular metálico en cada una de las esquinas del pilar y una serie de presillas de acero que, soldadas a los angulares, los unen entre sí, impidiendo su pandeo.

Las presillas, que se calientan a temperaturas comprendidas entre 200 y 400 ºC y se sueldan en caliente, entran a trabajar a tracción al enfriarse y aprietan el refuerzo fuertemente contra el hormigón.

En la cabeza de pilar, se sitúa una ménsula de apoyo, formada por cuatro angulares rigidizados, cuyo objetivo es recoger y repartir las cargas procedentes de los elementos que descansan sobre él.

El contacto entre los angulares y el hormigón puede mejorarse rellenando el espacio que queda con un mortero de cemento de retracción compensada.

Por la parte posterior de los perfiles de la ménsula, pueden soldarse vástagos que se introducen en nichos creados a tal efecto, hasta las armaduras del pilar original, y se rellenan posteriormente desde arriba mediante un mortero de resina epoxi.

Es igualmente eficaz reforzar la cabeza de pilar atravesándola con un perfil de acero en doble T que descansa sobre el primer conjunto de presillas en ángulo.

Finalmente, se recubre el refuerzo con una capa de hormigón colado o proyectado, al cual se incorpora opcionalmente una armadura adicional o simplemente una tela de gallinero que sujete el recubrimiento.

La principal ventaja de este método es el zunchado que se produce en la sección del hormigón, debido a la compresión lateral que produce el refuerzo y que hace que la resistencia del pilar mejore de forma considerable, absorbiendo el propio refuerzo una parte importante de la carga de cortante en la zona dañada.

La fricción entre el acero del refuerzo y el hormigón del pilar es fuerte, especialmente en elementos dañados por cortante, de modo que una parte muy importante de la carga es transmitida por los angulares, una vez eliminados los puntales.

En casos de extrema gravedad, pueden emplearse perfiles de gran inercia y rigidez, que se colocan formando una nueva columna en contacto con las esquinas del pilar o a una cierta separación de éste. Este conjunto se enlaza, encofra y hormigona.

Otra alternativa es envolver o encamisar el pilar entero con chapas de acero de 4 a 6 mm, soldadas entre sí, rellenando el espacio libre entre chapas y hormigón con un mortero sin retracción o incluso ligeramente expansivo.

En estos dos últimos casos, el peso adicional del material de refuerzo y el cambio de rigidez del pilar reforzado deben ser tenidos en cuenta en el rediseño del resto de la estructura, ya que pueden afectar a la capacidad resistente de otros elementos y al reparto de los momentos que concurren en el nudo.

En pilares con fallo a cortante, son eficaces los refuerzos con perfiles laminados cuya sección sea como mínimo de 50x50x5 mm, apretados contra las esquinas del pilar por medio de presillas precalentadas o por pretensado. El refuerzo debe extenderse sobre un área no menor a 1,5 veces el lado mayor de la sección del pilar y siempre por encima y debajo de la zona donde se localiza el daño. Las presillas pueden estar formadas por pletinas de 25x4 mm o por redondos de ø10 mm.

El refuerzo termina revistiéndose de una capa, con un espesor mínimo de 40 mm si es de gunita o de 60 mm si es de hormigón tradicional colado, dentro de la cual se introduce una armadura de piel formada por una malla electrosoldada de 8ø a 100 mm.

2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS SUPERFICIES DE HORMIGÓN

Se trata de trabajos de protección que pueden ser ejecutados durante la construcción de la obra, recién acabada ésta o durante su mantenimiento posterior. Todos los sistemas protectores deben ser periódicamente inspeccionados durante el uso de la edificación, para verificar si necesitan ser renovados.

Los revestimientos superficiales de hormigón crean una barrera que no solamente impide el ingreso de agentes agresivos, sino que también mantiene el aspecto estético de la estructura, algo que resulta muy importante en construcciones arquitectónicas.

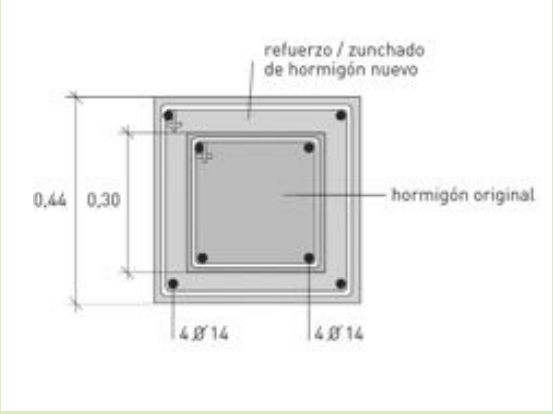
Se utilizan generalmente en atmósferas industriales, urbanas y marinas y, aunque son bastante eficaces, tienen el inconveniente de que su vida útil resulta relativamente corta. La oferta existente es bastante amplia, dependiendo su efectividad de la formulación y de la calidad de las resinas utilizadas y teniendo en cuenta que la eficacia aumenta siempre con el número de capas.

En general, todos los revestimientos deben poseer alta resistencia a la intemperie y a la fotodegradación provocada por los rayos ultravioletas.

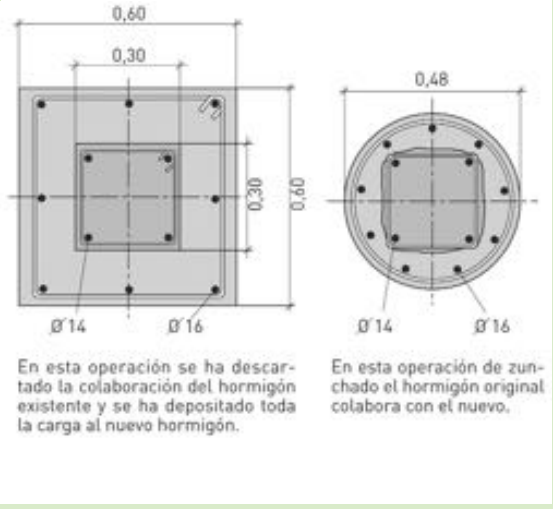
Además deben ser antifúngicos y bactericidas, poseer resistencia mecánica a pequeños impactos y arañazos y estabilidad química en relación al hormigón, de forma que eviten la aparición de eflorescencias, saponificación y otras anomalías debidas a la elevada alcalinidad del sustrato.

En cuanto a su mantenimiento, será necesario un repintado cada dos o tres años para sistemas hidrorepelentes y con base agua, cada cuatro años para sistemas de base solvente y cada seis o siete años para protecciones de tipo doble.

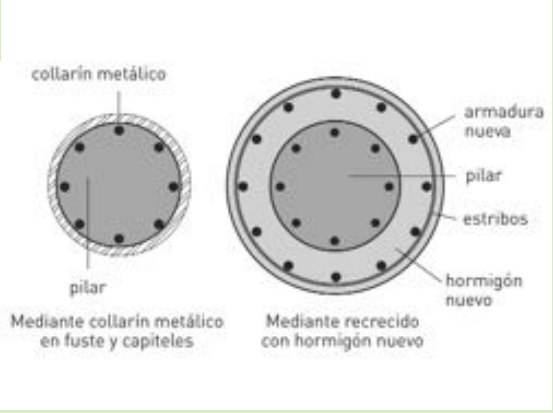
Se aconseja llevar a cabo previamente ensayos de evaluación del comportamiento del sistema de protección. La aplicación debe efectuarse con sumo cuidado, detectando si el hormigón contiene gran cantidad de agua interna, dado que el revestimiento da lugar a tensiones de vapor que anulan su eficacia. Los denominados ***TRATAMIENTOS VÁLVULA*** anulan este efecto, al dejar escapar el vapor hacia el exterior, impidiendo al mismo tiempo la entrada de agua hacia el interior.



Refuerzo de un pilar de HºAº mediante recrecido perimetral o zunchado de hormigón.



Refuerzo de pilares de HºAº mediante recrecido perimetral. Un pilar de 30 x 30 cm que soportaba 30 T debe ahorasoportar 140 t.



Técnicas actuales de refuerzo de pilares de hormigón armado.

Existen básicamente dos tipos de revestimientos de protección: los hidrófugos de poro abierto y los impermeabilizantes con formación de película.

Los primeros impregnan la superficie del hormigón, que es de naturaleza hidrófila (es decir, afín al agua y al vapor), tornándola repelente. Son aplicables sobre todo tipo de superficie, sea ésta lisa o porosa, en poros de hasta 3 mm de abertura superficial.

Además, reducen la permeabilidad a sales solubles, permitiendo en el proceso de secado del hormigón húmedo el paso del vapor de agua de los poros capilares hacia el exterior. El inconveniente de este tipo de tratamiento es que, aunque reducen la carbonatación y la lixiviación, no las impiden.

Las pinturas impermeabilizantes precisan para su aplicación de un sustrato liso, con poros de diámetro inferior a 1 mm, por lo cual será necesario estucar previamente las superficies, no pudiendo aplicarse en hormigón con encofrados rugosos.

Este tipo de revestimientos reduce significativamente la carbonatación y la lixiviación, así como la permeabilidad y difusividad a sales solubles y la aparición de moho, hongos y bacterias. Pero la película no es impregnante y, por lo tanto, no permite el secado del hormigón húmedo.

Además, altera el aspecto original de la superficie al conferirle brillo.

Es frecuente encontrar en el mercado productos de altas prestaciones que se aplican en dos etapas: una primera capa formada generalmente por un silano-siloxilano y una segunda capa de pintura acrílica disuelta en un disolvente que actúa como impermeabilizante, con capacidad de eliminación del vapor de agua. En superficies externas en atmósferas industriales, es también común aplicar sistemas dobles, formados por una primera capa de resina epoxídica y una segunda de poliuretano disperso en solvente.

En general, los tratamientos de base solvente y los productos bicomponentes suelen presentar mayor eficacia y durabilidad que los de base acuosa o los monocomponentes. Los de base poliuretánica oponen una fuerte barrera a la carbonatación del hormigón, mientras que los productos de base acrílica (barnices) son más resistentes a los rayos ultravioleta, alterando poco la tonalidad del hormigón.

Los que presentan una mayor adherencia al hormigón son los productos de base epoxídica, que aportan también una muy buena resistencia química y mecánica. Sin embargo, están sujetos a la fotodegradación y, por lo tanto, son sólo recomendables para interiores de edificios en atmósferas agresivas. Los revestimientos a base de resinas acrílicas, de silanos o siloxilanos, pueden reducir hasta un 3 % la penetración de agua salada.

Cerramos este apartado realizando un breve apunte acerca de lo que denominamos "patología de los sistema de protección" y que engloba todos aquellos errores de ejecución que acaban provocando la inutilidad del tratamiento aplicado.

3. INYECCIONES DE RESINA EPOXI

Las fisuras son una puerta de entrada de agentes agresivos que pueden atacar de forma notable al hormigón y dar lugar a la corrosión de las barras de acero.

Además, hay que considerar si la fisura es activa o está estabilizada. Se define como activa una fisura cuyas variaciones de longitud o anchura pueden apreciarse visiblemente mediante testigos, en un período de tiempo que va de seis meses a un año.

A este grupo pertenecen las fisuras de tipo térmico, las producidas por corrosión de armaduras, las de reacción árido-álcali, etc. Entre las fisuras muertas, es decir, que se encuentran estabilizadas, hallamos las debidas a retracción por secado y retracción plástica, afogarado, sobrecargas accidentales, heladas prematuras, asentamiento plástico y movimientos del encofrado o del terreno, siempre que estén estabilizados estos movimientos.

El enfoque de una reparación según se trate de uno u otro tipo de fisuras es totalmente distinto. La inyección de resinas sintéticas rígidas permite restablecer el monolitismo del hormigón si se trata de fisuras inactivas, pero si éstas están en movimiento no sirve de nada, ya que vuelven a abrir por el mismo sitio o por uno próximo o incluso alejado. Por ello, habrá que sellar con resinas sintéticas flexibles, que cuentan con una cierta capacidad de deformación.

En consecuencia, el relleno por inyección de resina epoxi únicamente se usará cuando se tenga la seguridad de que se trata de una fisura muerta o de que las actuaciones previas han conseguido estabilizarla.

Esta técnica de reparación puede buscar únicamente devolver su impermeabilidad al hormigón o también recuperar la continuidad mecánica para el trabajo a tracción o flexotracción, cortante o compresión.

En general, las resinas sintéticas de tipo rígido constan de dos productos base: uno reactivo (la resina) y otro endurecedor, normalmente amina.

En ocasiones, se incorpora un tercer producto, el diluyente, que rebaja la viscosidad de la resina; y un cuarto, las cargas, materiales inertes que modifican alguna de sus propiedades (densidad, solubilidad, reactividad, color,…).



Refuerzo de un pilar de hormigón armado mediante la adición de ángulos metálicos.

El proceso es el siguiente. En primer lugar, en grietas anchas o sobre hormigón que presente señales de deterioro, deben sellarse los labios de la fisura, mediante una masilla epoxídica, para evitar que la resina rebose durante el proceso de inyección. En hormigón poco sano, puede realizarse una abertura en “V” a lo largo de toda grieta, de unos 15 mm a cada lado de su eje, con una profundidad de unos 10 mm. Si las grietas son estrechas y el hormigón está sano, será suficiente sellar la superficie con un material termoplástico o incluso con cinta adhesiva.

La preparación y limpieza de la grieta a tratar y la exactitud en las dosificaciones son factores fundamentales para el éxito del tratamiento. Las grietas siempre deben estar secas para garantizar la máxima eficacia en la unión de la resina con el hormigón. Si no lo están, hay que proceder a su secado interior.

Seguidamente, se procede a colocar las boquillas, unos tubos metálicos de unos 10 mm de diámetro roscados en un extremo para acoplar a ellos el inyector por el que se efectuará el sellado. Las boquillas quedan incorporados a la masilla de cierre, a una distancia que varía entre 30 cm y 1 m, según sea el espesor de la grieta y la viscosidad de la resina. Si la grieta se bifurca, habrá que colocar una boquilla en cada punto de separación en el que nacen nuevas fisuras. Antes de proceder a la inyección, es preciso esperar hasta que la capa de sellado haya endurecido. En general, 24 horas.

Finalmente, la inyección se realiza introduciendo a presión por las boquillas la formulación epoxi, a través de algún sistema de bombeo (pistolas o gatos), sea éste manual, mecánico o mediante aire comprimido. La presión de inyección variará dependiendo de la anchura de la grieta y de la viscosidad de la formulación. Lo habitual es no exceder de 5 Kp/cm^2.

En hormigón poco sano donde se ha realizado un picado en "V", la presión introducida puede ser mayor, lo cual permitirá pegar también las paredes de la fisura. Es siempre conveniente mantener la presión durante algunos minutos para lograr que la resina llegue a las zonas más estrechas de las fisuras.

En los pilares y superficies verticales en general, la inyección se inicia por la boquilla más baja, hasta que la resina empieza a rebosar por la inmediatamente superior, que actúa como rebosadero o purgador de aire de la grieta. De este modo, cada perforación es testigo de la anterior. Tras desmontar el inyector de la boquilla inferior y taponar ésta, se inicia la inyección en la boquilla siguiente (por la que rebosó la resina), continuándose progresivamente de este modo hasta el llenado total de la grieta. Una vez finalizada la inyección y endurecida la resina, se puede quitar la capa de sellado si ésta es sólo superficial.

Si al inyectar la resina por un punto detectamos un consumo mayor del previsto, sin que la boquilla rebosadero muestre signos de que la resina empiece a salir, hay que interrumpir la inyección. Ello es indicio de algún error en el proceso (un fallo en el sellado superficial o en la colocación de las boquillas) o de la existencia de una coquera interna que no había sido detectada.

Una vez terminado el proceso, puede medirse la eficacia de la reparación mediante la extracción de testigos cilíndricos o por medio ensayos no destructivos, del tipo de la propagación de un ultrasonido, en el cual desplazando la fuente emisora y captadora a lo largo de la fisura se puede comprobar el grado de llenado que presenta ésta. Se considera satisfactoria una inyección que ha penetrado en por lo menos el 90 % de la profundidad de la grieta.

4. SELLADO DE JUNTAS CON MATERIAL ELÁSTICO

Ante la imposibilidad de devolver el monolitismo al hormigón con formulaciones rígidas en grietas vivas, se procederá a sellar éstas con compuestos flexibles cuando su anchura sea tal que aconseje cerrar la entrada al agua y a los agentes agresivos. Estas formulaciones, de compleja composición química, suelen tener carácter orgánico, por lo cual su vida media no supera generalmente los diez años.

Se procede cajeando el elemento sobre la junta y, previa limpieza, disponiendo una membrana que impida la adhesión del sellado y el hormigón. Por último, se dispone el material elástico. En ocasiones, para garantizar la estanqueidad suele completarse el sellado con una banda metálica, de chapa plegada de acero, o de latón.

Hay que señalar, no obstante, que existen grietas vivas cuyo movimiento es tan pequeño que pueden inyectarse exitosamente con resinas rígidas.

Hormigón proyectado	
Espesor mínimo del recrecido	50 mm
Nuevas barras principales soldadas	1ø14 cada 150 mm
Nuevos estribos	ø8 a 100 mm
Hormigón colado	
Espesor mínimo del recrecido	
para una capa de barras	70 a 100 mm
para dos capas de barras	100 a 150 mm
Nuevas barras principales soldadas	1ø14 cada 150 mm
Nuevos estribos	ø8 a 100 mm
Estribos adicionales en la parte dañada del pilar	ø8 a 50 mm

ESPESORES DE RECRECIDOS Y ARMADURAS PARA EL REFUERZO DE PILARES DE HORMIGÓN ARMADO

DENOMINACION	NATURALEZA DEL PRODUCTO	CARACTERISTICAS
Silicona de base agua (siliconatos)	Metilsiliconato Propisiliconato de potasio	Sensible a la alcalinidad Puede presentar manchas blancas, baja durabilidad Exigen sustrato seco Años 50
Silicona de base solvente (resina de silicona)	Alquilpolisiloxanos Solventes orgánicos	Mayor resistencia a la alcalinidad Exigen sustrato seco Años 60
Silano de base solvente	Alcoxisilanos	Elevada penetración, moléculas menores Exigen sustrato levemente húmedo o seco Muy volátiles, decuados a hormigones compactos. Años 70
Siloxano oligomérico de base solvente	Alquilalcoxisiloxanos oligoméricos Solventes orgánicos	Elevada penetración Exigen sustrato levemente húmedo Poco volátiles. Años 70
Siloxano polimérico de base solvente	Alquilalcoxisilano polimérico Solventes orgánicos	Pequeña penetración, moléculas grandes Exigen sustrato seco. Poco volátiles Años 80

PINTURAS HIDROFUGANTES PARA PROTECCIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN

NATURALEZA Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RESINA UTILIZADO	TIPO DE CURADO	CLASIFICACIÓN DE LA PINTURA SEGÚN EL VEHÍCULO	ESPESOR HABITUAL DE LA PELÍCULA SECA (mm)	EJEMPLOS DE APLICACIONES CONVENCIONALES
Epóxica bicomponente	Reacción con el componente endurecedor	Base solvente	0,020 a 0,250	Pavimentos industriales (buena resistencia a la abrasión), superficies inferiores (elevada resistencia química) y tanques de agua potable.
Epóxica bicomponente	Reacción con el componente endurecedor	Exenta de solvente	Encima de 1,5	Tanques para confinamiento de productos químicos, tuberías y superficies interiores sujetas a alto ataque químico.
Epóxica bicomponente	Reacción con el componente endurecedor	Emulsionada en agua	0,040 a 0,120	Pinturas de áreas internas en industrias alimenticias (no contamina alimentos ni exala olor), sellado de pavimentos industriales y superficies interiores.
Poliuretano alifático bicomponente	Reacción con el componente endurecedor	De base solvente	0,025 a 0,075	Pintura anticarbonatación y pinturas internas o externas de alta resistencia química.
Poliuretano alifático bicomponente	Reacción con la humedad atmosférica	Libre de solvente	0,500 a 2,000	Pintura de alta resistencia a la abrasión para pavimentos industriales.
Poliuretano alifático bicomponente	Simple evaporación del solvente	De base solvente	0,125 a 0,150	Pinturas de pisos industriales, acabado antideslizante y pintura de áreas interiores y exteriores.

PINTURAS PROTECTORAS DE LAS SUPERFICIES DE HORMIGÓN

NATURALEZA Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RESINA UTILIZADO	TIPO DE CURADO	CLASIFICACIÓN DE LA PINTURA SEGÚN EL VEHÍCULO	ESPESOR HABITUAL DE LA PELÍCULA SECA (mm)	EJEMPLOS DE APLICACIONES CONVENCIONALES
Vinílica	Simple evaporación del solvente	De base solvente	0,025 a 0,070	Pintura de alta resistencia química, pero con baja resistencia a disolventes.
Goma clorada	Simple evaporación del solvente	De base solvente	0,100 a 0,300	Pinturas anticarbonatación, buena resistencia a la abrasión, humedad y álcalis, pintura de pavimentos industriales, franjas demarcatorias y piscinas.
Acrílico	Simple evaporación del solvente	De base solvente	0,020 a 0,250	Pinturas anticarbonatación, pintura de superficies interiores y exteriores, con razonable estabilidad de color y de resistencia a la fotodegradación.
Acrílico	Simple evaporación del agua	Emulsionada en agua	0,040 a 0,700 (dependiendo de la fórmula y aplicación)	Pinturas anticarbonatación, para superficies interiores y exteriores, buena estabilidad de color y resistencia a la fotodegradación.
Estireno-acrílico	Simple evaporación del solvente	De base solvente	0,020 a 0,200	Pinturas anticarbonatación, poca resistencia a la intemperie y a la fotodegradación.
Sistema doble epoxi-poliuretano	Reacción con los componentes endurecedores	De base solvente	0,100 a 0,250	Pinturas de buen comportamiento frente a la carbonatación y pinturas exteriores o interiores de alta resistencia química.

PINTURAS PROTECTORAS DE LAS SUPERFICIES DE HORMIGÓN

5. REPARACIÓN DE ARMADURAS CON CORROSIÓN

Antes de proceder a reparar una estructura o un pilar de hormigón armado es necesario conocer en qué estado se encuentra éste y su superficie. El simple acto de pasar la mano posibilita detectar si se trata de un hormigón que se deshace en polvo o en arena.

Golpear la superficie con un martillo permite hacer apreciaciones acerca de su solidez. Rociando con agua, si ésta forma perlas o estrías, se detecta la presencia de restos de desencofrantes o de productos de curado que disminuyen la adherencia al soporte.

De modo esquemático, el proceso de reparación de un pilar de hormigón armado afectado por corrosión se resolvería en los siguientes pasos:

- **ANALIZAR LA SEGURIDAD DEL PILAR Y ASEGURAR LA ESTABILIDAD DEL MISMO**, apuntalando si es necesario las partes más débiles. Hay que tener en cuenta que picar las cuatro esquinas de un pilar con armaduras oxidadas puede reducir su resistencia entre un 20 y un 40 %.

- **DELIMITAR LA ZONA DAÑADA, SOBRE LA QUE HAY QUE PROCEDER AL PICADO**. Puede haber un margen de exceso de unos 10 ó 15 cm a ambos lados.

- **RETIRAR EL HORMIGÓN DAÑADO Y DESCUBRIR LAS BARRAS**, de modo que se pueda proceder a su limpieza y a la eliminación de todo el óxido.

- **ES MEJOR ELIMINAR SÓLO EL HORMIGÓN QUE ENVUELVE UNA PARTE DEL DIÁMETRO DE LAS BARRAS**, si, tras el análisis de la estabilidad del pilar, desechamos un descubrimiento total de las armaduras porque éste pueda ser peligroso para el pilar.

  Puede procederse a aplicar sobre éstas una protección anticorrosiva y una capa de epoxi-poliuretano elástico. Este absorberá futuras expansiones de las armaduras si suceden nuevas corrosiones, evitando de este modo que se rompan las esquinas reparadas.

  En casos como éste, resulta además conveniente realizar un refuerzo mecánico del pilar.

- **HA DE DESCUBRIRSE TODA LA SECCIÓN Y LONGITUD AFECTADA POR LA OXIDACIÓN**, si se decide dar un tratamiento de protección a las armaduras.

  En el caso de que quede una delgada capa de óxido que resulta imposible eliminar, el material de protección debe ser un estabilizante de este óxido, consiguiendo con ello que la parte no atacada de la barra permanezca pasiva.

- **LA REPARACIÓN DE LAS ZONAS PICADAS HA DE HACERSE EN SUCESIVAS CAPAS** con espesores de 2 ó 3 mm si la zona a reponer es muy amplia.

Selección inadecuada del producto	Uso de sistemas incompatibles con las solicitaciones a las que está expuesta la superficie.
Condiciones meteorológicas inadecuadas	Es necesario aplicar las protecciones en época seca, suspenderlas ante la inminencia de lluvia y reanudarlas tres días después del secado natural.
Tratamiento inadecuado del sustrato	Ocurre si el curado de la superficie no es adecuado o el barniz se aplica sobre superficies polvorientas o impregnadas con productos de desencofrado.
Dilución excesiva de la formulación	Provoca una reducción de la adherencia de la pintura al sustrato, un aumento de la porosidad y una menor protección contra agentes agresivos.
Insuficientes manos de pintura	Lo ideal es aplicar tres o más capas.
Mala calidad de la formulación	Para distinguir entre un buen producto y un mal producto no existe método más fiable que la propia realización de ensayos de comportamiento.

PATOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL HORMIGÓN A BASE DE PINTURAS

- **UNA SOLUCIÓN ALTERNATIVA CONSISTE EN ENCOFRAR EL PILAR Y PROCEDER A COLOCAR UN MICRO-HORMIGÓN AUTO-NIVELANTE**, modificado con polímeros y sin retracción. El módulo de deformación de estos morteros preparados varía de 20.000 a 30.000 MPa.

- **FINALMENTE, SE PROCEDE A ENLUCIR EL PILAR** con una capa fina de morteros especiales impermeables y transpirables.

6. TEMAS GENERALES DE LA REPARACIÓN

Si, como consecuencia de una avanzada corrosión, las armaduras han perdido entre un 15 y un 25 % de su sección eficaz, habrá que añadir una armadura nueva, incorporada por solape o por soldadura (cerciorándose previamente de la soldabilidad de los aceros). Ello permite además incrementar la capacidad portante.

El proceso de pasivado es cuestionado por algunos autores, que aconsejan el uso alternativo de las resinas epoxi para la protección de las armaduras frente a la corrosión, especialmente si el ataque es interno, es decir, procede de problemas localizados dentro del pilar (áridos contaminados de cloruro, sulfatos).

Las resinas epoxi no oponen una barrera de adherencia entre hormigón y armadura, no representando un peligro de disminución de resistencias finales al evitar deslizamientos entre armaduras y hormigón.

Los morteros de reparación deben presentar buena adherencia al soporte, baja retracción, parámetros de resistencia adecuados, módulo elástico y coeficiente de dilatación compatibles con el material de base y una buena respuesta a las condiciones del entorno.

Pueden usarse morteros convencionales, fabricados con cementos que pueden estar reforzados con polímeros y humo de sílice y que resultan muy cómodos de preparar y fáciles de colocar; o morteros hidráulicos poliméricos, modificados con la incorporación de polímeros en un porcentaje entre el 5 y el 20 %.

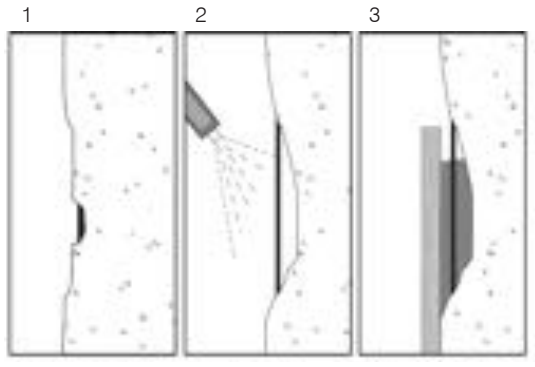
Con éstos últimos se consiguen mejores calidades en cuanto a adherencia, permeabilidad y resistencia. La principal diferencia entre productos recae en el ligante utilizado.

Los morteros a base de cemento son más ventajosos económicamente, aconsejables para remodelar grandes superficies, y además pueden soportar elevadas temperaturas.

La desventaja principal es que hay que esperar de dos a diez días hasta alcanzar la resistencia suficiente. Se ha de humedecer abundantemente el soporte para que los capilares estén saturados en el momento de la aplicación, presentado la superficie un aspecto mate.

De este modo, se consigue una absorción limitada del gel del cemento, sin provocar una desecación del mortero en la zona de adherencia.

En algunos productos, es necesario hacer una preparación especial de la superficie mediante la aplicación de una capa de adherencia. Pueden elaborarse en la propia obra u optar por el producto ya preparado.



1. Desconchado original
2. Arenado para eliminar el óxido
3. Relleno con un material lo más parecido al hormigón en módulo de elasticidad.

Reparación de un hormigón armado fisurado o desconchado por oxidación de la armadura.

Para elementos interiores en atmósfera normal	0,3 mm
Para elementos interiores en atmósfera húmeda y elementos exteriores expuestos a la intemperie	0,2 mm
Para elementos interiores o exteriores expuestos a un medio particularmente agresivo o que debe asegurar su estanqueidad	0,1 mm.

FISURAS EN EL EL HORMIGÓN: DIMENSIONES MÁXIMAS ADMITIDAS POR EL COMITÉ EUROPEO DEL HORMIGÓN. SI ESTAS DIMENSIONES SE SUPERAN LAS FISURAS DEBEN SELLARSE

La resistencia a compresión de estos morteros ronda los 40 ó 50 MPa (400 ó 500 Kp/cm^2). Para asegurar una buena adherencia, debe cepillarse el hormigón original creando una superficie rugosa, limpiarse de polvo y humedecerse hasta su saturación, de modo que se alcance una resistencia de adherencia en torno a los 20 Kp/cm^2 (2MPa).

Para pequeñas superficies y en reparaciones de poco espesor, cuando por cuestiones técnicas o de plazo se desecha el mortero de cemento, pueden utilizarse las preparaciones a base de resina epoxi o de poliéster. Resultan más caras y son prácticamente impermeables al vapor de agua, por lo cual no pueden aplicarse en grandes superficies al aire libre.

Se alcanza una resistencia suficiente y un endurecimiento total en un periodo que no excede los dos días.

La superficie de hormigón a reparar ha de estar completamente seca y, en algunos productos y casos, se necesitará una aplicación previa de imprimación.

En todos los supuestos, las operaciones descritas no devuelven su resistencia completa al pilar. Siempre hay que contar con una pérdida del 5 al 10 %.

Dependiendo del estado de la estructura y de la necesidad o no de esta contribución, puede proyectarse, una vez acabado el proceso de reparación, un refuerzo del pilar, por alguno de los tres métodos que veremos más adelante.

Una baja resistencia generalizada del hormigón puede llegar a afectar a toda una estructura, que precisará reforzar cada uno de sus elementos. Normalmente, esto resulta poco factible, ya que supone la realización de grandes destrozos en toda la obra.

Una solución posible o que, como mínimo, evita males mayores es construir pórticos intermedios que descarguen la estructura existente, de forma que ésta sólo soporte la mitad de la carga. Con esta solución, no necesita ser reforzado ningún elemento o, en todo caso, alguno aisladamente.

La introducción de los nuevos pórticos permite también descargar los existentes. Pueden construirse con vigas metálicas sobre las que apoyan viguetas o con vigas de hormigón, ejecutadas *in situ* en dos o tres calles de bovedillas que se eliminan para su colocación.

La segunda solución tiene el inconveniente de precisar mayor obra que la primera, pero por contra se obtiene una estructura más rígida y más solidaria con la existente.

Al quedar las viguetas apoyadas en el centro de su luz, el momento flector se reduce a una cuarta parte, limitándose la flecha y apareciendo momentos negativos que precisan armadura para absorberlos.

Con viguetas de luces pequeñas, el hormigón es capaz de soportar las tracciones que se producen y podría evitarse la armadura negativa de las viguetas. Sin embargo, la norma estipula que no se debe considerar en los cálculos la resistencia del hormigón a tracción.

7. MEDIDAS PREVENTIVAS

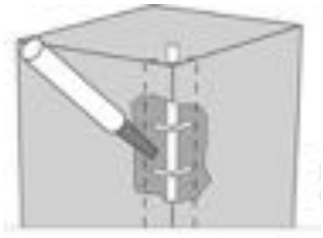
La prevención del deterioro de las estructuras de hormigón como consecuencia de la corrosión se juega en dos campos fundamentales: los materiales y la protección.

En el primer punto, resulta esencial utilizar hormigones de buena calidad, es decir, con resistencias a compresión altas y baja permeabilidad, así como emplear recubrimientos con espesores adecuados, en función de la agresividad del medio.

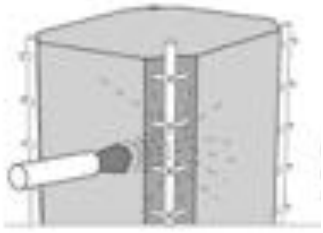
Además de estas medidas, es posible utilizar, en el caso del hormigón, ciertos aditivos que, en determinadas condiciones, pueden aportar nuevas prestaciones al compuesto:

- **SUPERFLUIDIFICANTES**. Se trata de aditivos que consiguen resistencias mecánicas muy elevadas y que facilitan la puesta en obra en hormigones en los que, por razones de durabilidad, se trabaja con relaciones agua-cemento bajas. Actúan durante un tiempo reducido que suele oscilar entre los 30 y los 60 minutos, aunque existen ya en el mercado aditivos reductores de agua con efectividad de hasta tres horas. Al permitir mezclas muy trabajables de hormigones, con menor cantidad de agua, se mejora la impermeabilidad del hormigón y, por tanto, su durabilidad.

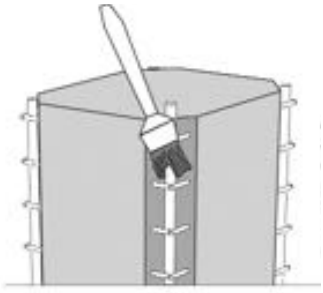
- **EN TODO CASO, HAY QUE TENER EN CUENTA EL EFECTO RETARDADOR DEL FRAGUADO DE ESTOS ADITIVOS Y LA RELACIÓN CEMENTO-ADITIVO**, ya que la efectividad del segundo puede variar mucho dependiendo de la composición del cemento utilizado.



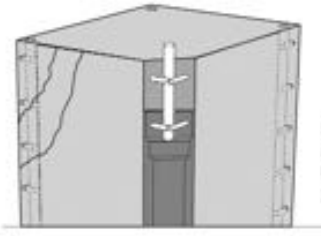
Remoción de partes sueltas o con poca adherencia



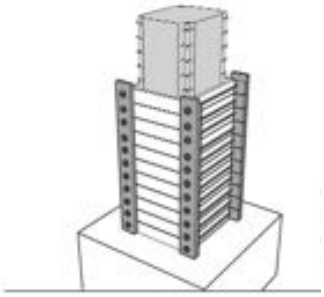
Limpieza de las barras oxidadas con pistola de arena u otro medio.



Aplicación de pintura antioxidante aunque no es recomendable si se pretende conseguir una buena adherencia entre las armaduras y los nuevos materiales.



Reposición de la esquina con mortero de reparación a la llana en capas sucesivas de 2 ó 3 cm.



Colocación de un microhormigón, mortero autonivelante y sin retracción (fc=40 ó 50 MPa).

Procedimiento de reparación de un pilar de hormigón armado con armaduras oxidadas y hormigón descascarado.

1. PROCESO DE SANEADO

Se trata de que el hormigón quede en perfectas condiciones, adecuadas para dar paso a la reparación propiamente dicha. Se usarán medios manuales o mecánicos que permitan eliminar las partes quebradizas o disgregadas, el material suelto o mal adherido, la suciedad, los aceites, grasas y restos de pinturas. Igualmente, se prescindirá de todas las zonas débiles que no resistan las tensiones debidas a la tracción del material de reparación previsto y se picará el hormigón carbonatado, con un porcentaje de cloruros superior al aceptado o que contenga una elevada concentración de productos nocivos para las armaduras. Estas quedarán accesibles en todo su perímetro, para que se pueda proceder a su protección. Es conveniente realizar un decapado del soporte, para aumentar la adherencia.

Cuando las áreas afectadas se extiendan por buena parte del elemento a reparar, un debilitamiento excesivo durante el proceso de trabajo puede llevar a algún elemento estructural al límite de su capacidad. Es recomendable apuntalar las zonas que lo requieran y organizar una reparación por etapas.

2. PROCESO DE LIMPIEZA DEL HORMIGÓN ARMADO Y DE LA ARMADURA.

El descubrimiento de las armaduras suele realizarse con un cincel o con un martillo eléctrico ligero. Para su limpieza, el método más empleado es el chorro de arena, que posibilita eliminar incluso delgadas capas de lechada de cemento, restos de pinturas e impurezas en la superficie. Este sistema permite alcanzar ángulos y rincones poco accesibles y resulta muy económico en el tratamiento de grandes superficies. Menos eficaces son el lijado o el cepillado mecánico o manual.

Para la limpieza del hormigón, el chorro de agua a alta presión (hasta 1.000 atm.) es uno de los más eficaces. Añadiéndole materiales en suspensión, tales como arena de cuarzo, se puede aumentar su potencia y eficacia.

Otra posibilidad es el chorro de llamas. Consiste en calentar la superficie del hormigón a temperatura elevada, mediante un quemador de llama ancha, hasta que ésta se disgregue y desprenda en capas hasta una profundidad de 5 mm. Indicado para bordes disgregados, este procedimiento elimina impurezas orgánicas, restos de aceite y de alquitrán, capas de pintura, etc. Tras su aplicación, es necesario proceder a un fresado de la superficie del hormigón o someter ésta a un chorro de arena. El chorro de llamas no es adecuado para hormigón armado con poco recubrimiento de las armaduras.

3. PROCESO DE PASIVADO.

Inmediatamente después de la limpieza, el proceso de pasivado se aplica en dos capas. La protección de la armadura puede hacerse con lechada cementosa, con inhibidores superficiales de corrosión, con polímeros o con resinas epoxídicas.

La instrucción EHE admite, para hormigón armado, hasta 0,4 mm. en ambiente no agresivo y entre 0,1 y 0,3 mm. en condiciones agresivas.

4. PROCESO DE REGENERACIÓN.

El relleno de todas las zonas saneadas se realizará hasta cubrir las dimensiones originales. Como mínimo, deberá aplicarse un mortero de reparación con un espesor de 1 cm. Previamente, hay que saturar el material de base y aplicar en toda la superficie de contacto una película de conexión de pasta de cemento, de adhesivo acrílico o de base epoxídica.

El relleno puede realizarse sin encofrar, con algún sistema de encofrado o gunitando. En todo caso, es importante que el proceso de ejecución se realice por capas sucesivas y de curado, que eviten cualquier coquera o retracción.

5. PROCESO DE REVESTIMIENTO.

Se procede a aplicar un revestimiento fino (entre 1,5 y 5 mm. de capa) a toda la superficie del hormigón reparado, con el objeto de preservar el pilar de futuros ataques exteriores. Dicha capa debe ser impermeable y, al mismo tiempo, transpirable.

6. PROCESO DE PROTECCIÓN.

Se aplica en toda la superficie una protección impermeable anticarbonatación, que no forme barrera de vapor y que proteja contra los cloruros.

PROPIEDADES	MORTEROS DE RESINAS	MORTEROS HIDRAULICOS
Resistencia compresión (N/mm^2)	55-110	20-70
Modulo elástico (N/cm^2)	500-25.000	20.000-30.000
Resistencia flexotracción (N/cm^2)	25-50	2-5
Resistencia tracción (N/cm^2)	9-20	1.5-3.5
Alargamiento a rotura (%)	0-15	0
Coeficiente dilatación térmica (mmºC)	25-30x10^{-6}	9-14x10^{-6}
Densidad (Kg/dm^3)	0,7-2,1	2-2,3
Temperatura máxima en servicio (ºC)	40-80	300
Tiempo para alcanzar 80% resistencia	48 h.	2-4 semanas

PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE REPARACIÓN DE HORMIGÓN

- **HUMO DE SÍLICE**. Denominado también microsílice, este aditivo incrementa de forma notable las resistencias y la durabilidad del hormigón. Su uso, no obstante, está limitado a hormigones de altas prestaciones.

- **INHIBIDORES DE CORROSIÓN A BASE DE NITRITO CÁLCICO**. Este tipo de compuestos son ampliamente usados como retrasadores del inicio de la corrosión y como ralentizadores de ésta. El nitrito cálcico puede llegar incluso a evitar completamente las oxidaciones producidas como consecuencia de la carbonatación, mientras que su efectividad es escasa cuando se combinan de forma simultánea los procesos de carbonatación y cloruros.

  Generalizar el empleo de barras de materiales no férreos o de acero inoxidable (cuya adherencia es muy similar a la de las barras tradicionales, por lo que no han de aumentarse las longitudes de anclaje o solapo) eliminaría definitivamente el problema de la corrosión.

En todo caso, en las armaduras de acero tradicional, la corrosión puede evitarse o al menos reducirse con la aplicación de recubrimientos especiales.

- **REVESTIMIENTOS DE RESINAS EPOXÍDICAS**. Se trata de limpiar las barras, antes de su colocación, con chorro de arena, con el objeto de eliminar las escamas de laminado y conseguir una superficie rugosa. Se calientan las barras a una temperatura de 160 ºC, para seguidamente introducirlas en una cámara, donde se les aplica durante unos segundos una lluvia de polvo epoxi.

Tras el curado de la resina, se ha obtenido una capa de espesor uniforme que asegura una buena adherencia con el hormigón y una adecuada protección. Durante la manipulación en obra y doblado de las barras pueden producirse deterioros superficiales del revestimiento epoxi.

Para compensar esta pérdida, es necesario que la armadura completa del pilar haya sido sometida al tratamiento. Con la aplicación de esta técnica, una de las más eficaces que existen, hay que tener en cuenta que las longitudes de solapo y anclaje se han de incrementar en aproximadamente un 20 %. Y hasta un 50 % cuando el recubrimiento epoxídico es menor a tres diámetros y el espacio libre entre barras es inferior a seis diámetros.

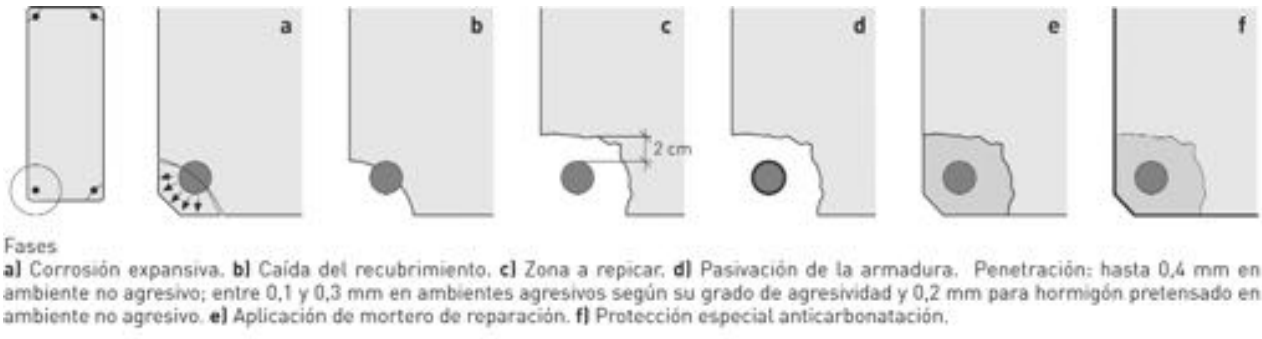
- **BARRAS DE ACERO GALVANIZADO**. Consiste en someter a las barras de acero a una inmersión en un baño de cinc fundido. La resistencia a la corrosión que se obtiene es muy buena en hormigones afectados por carbonatación y con bajo contenidos en cloruros. Por encima de un 5 % de cloruros sobre el peso del cemento, la corrosión aparece, aunque de modo atenuado.

La corrosión, una vez iniciada, no se puede detener por ningún método, a excepción de la protección catódica. Este tratamiento consiste en llevar a la armadura a un potencial de valor tal que no se pueda producir la oxidación, por medio de dos sistemas fundamentales: el de ánodo de sacrificio y el de circuito impreso.

Se ha utilizado en la reparación de estructuras de hormigón armado próximas al mar, llegando a salvar de la demolición a ciertas construcciones muy afectadas.

El inconveniente es el elevado coste y la necesidad de un mantenimiento continuo con personal muy cualificado.

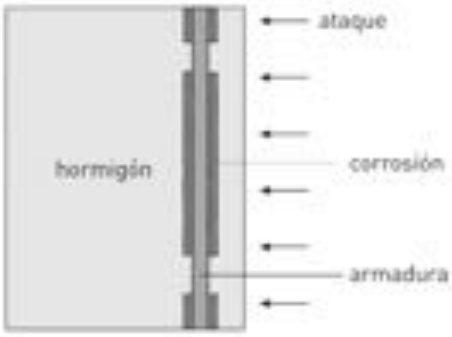
Los otros dos métodos existentes son utilizados con mayor asiduidad y permiten, sin llegar a parar la corrosión, que la velocidad con que ésta se extiende sea tan baja que prácticamente no influya en la vida útil de la armadura. La extracción de cloruros consiste en crear un campo eléctrico entre la armadura y una malla metálica sumergida en un depósito electrolítico que se coloca en la superficie del hormigón.



Fases
a) Corrosión expansiva. **b)** Caída del recubrimiento. **c)** Zona a repicar. **d)** Pasivación de la armadura. Penetración: hasta 0,4 mm en ambiente no agresivo; entre 0,1 y 0,3 mm en ambientes agresivos según su grado de agresividad y 0,2 mm para hormigón pretensado en ambiente no agresivo. **e)** Aplicación de mortero de reparación. **f)** Protección especial anticarbonatación.

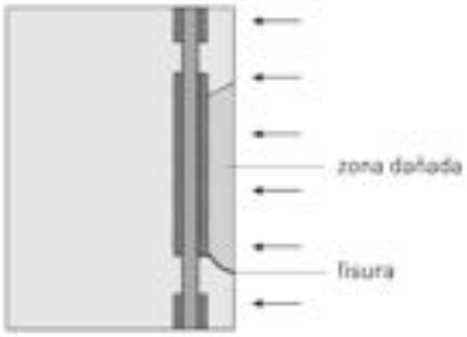
Esquema del proceso de reparación del hormigón.

A



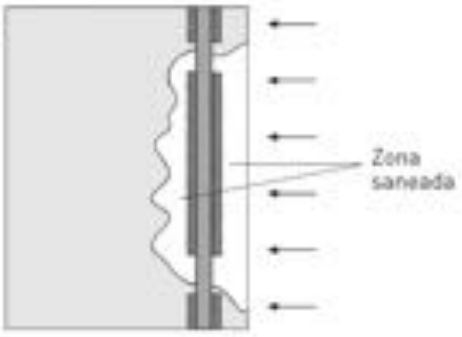
Proceso de corrosión
La existencia de un proceso de corrosión sobre la armadura no presenta ningún síntoma indicativo de su existencia en el exterior

B



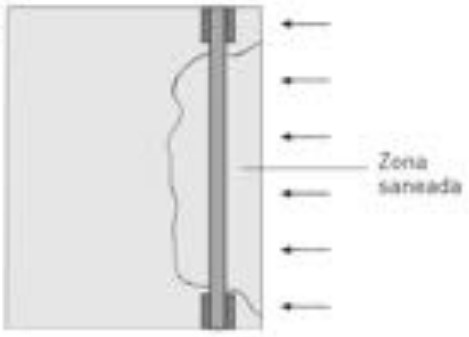
Manifestación del proceso de corrosión
Aparición de una zona fisurada e incluso despegada de la armadura por efecto de las tensiones originadas por el aumento de diámetro de la armadura

C



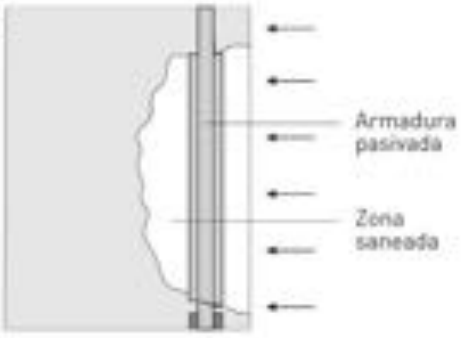
Proceso de saneado
Se sanea toda la zona afectada mediante medios manuales o mecánicos hasta que el hormigón quede en perfectas condiciones
La zona a sanear deberá buscar en la armadura zonas donde no exista el proceso de corrosión

D



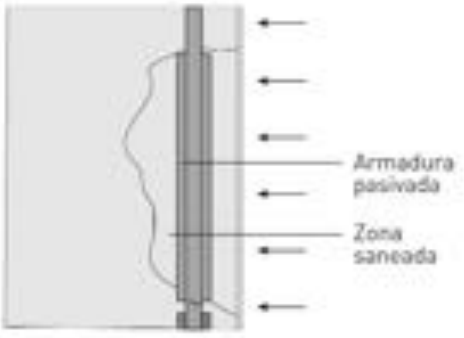
Proceso de limpieza
Se procederá a la limpieza de la armadura y el hormigón
La limpieza de las armaduras puede realizarse, por ejemplo, con chorro de arena
En el caso de la superficie del hormigón la limpieza puede realizarse con agua a presión

E



Proceso de pasivado
Se realiza mediante los denominados productos pasivantes
Se aplicarán en dos capas, aplicando la segunda capa cuando la primera esté endurecida
La fase de pasivado deberá realizarse lo más cercana posible a la fase de limpieza

F



Proceso de revestimiento
Se trata de aplicar un revestimiento fino (espesor entre 1,5 y 5 mm por capa) a toda la superficie del hormigón reparado

Proceso de protección
Se aplica a toda la superficie una protección anti-carbonatación
Esta protección deberá ser impermeable y al mismo tiempo no formar barrera de vapor

Procedimiento para el saneado, limpieza y protección de un elemento de hormigón armado atacado por corrosión.

La realcalinización se basa en la movilidad de los álcalis (iones OH), que se pueden desplazar desde zonas con un pH elevado a otras con un pH más bajo.

Ello se consigue, por ejemplo, con la aplicación de morteros muy ricos en cemento en la superficie del hormigón, manteniendo la zona en un elevado grado de humedad. Por este método, se puede conseguir una penetración de álcalis muy ligera, hasta uno o dos centímetros de profundidad.

Los tres sistemas que permiten reducir la velocidad de corrosión de las armaduras tienen en común un elevado coste y una complicada y delicada aplicación en el caso de estructuras ya construidas.

Además, no se ha experimentado suficientemente ninguno de ellos y se desconocen los efectos que a largo plazo pueden tener sobre el hormigón. En algunos casos, como el de la extracción de cloruros, no están claras sus consecuencias negativas a nivel de adherencia o de reacción árido/álcalis.

MÉNSULAS Y ELEMENTOS EN VOLADIZO

La humedad y la temperatura, dos parámetros en constante variación, son responsables de muchas de las lesiones y patologías frecuentes en estructuras o secciones en voladizo, elementos fácilmente afectados por estos fenómenos de carácter extrínseco que se acercan a menudo a valores considerados de riesgo.

Por ejemplo, los balcones, elementos en voladizo generalmente sin impermeabilizar, suelen ser la parte de los forjados que se degrada con mayor rapidez.

Todo tipo de agresión externa o interna sobre el hormigón (proceso de conversión del cemento aluminoso, corrosión de las armaduras, carbonatación del hormigón, etc.) se acelera con el aumento de las condiciones de humedad y de temperatura.

En cerramientos semivolados, son el agrietamiento, la deformación y, posteriormente, el desplazamiento de la fachada hacia el exterior, las lesiones que se presentan de manera más frecuente.

Estos cerramientos, semiempotrados en la estructura y típicos de las construcciones españolas de los años 90, acumulan las cargas de las distintas plantas en el nivel del voladizo de la primera, como efecto de un exceso de carga excéntrica que puede incluso llegar a provocar el desplome de la estructura.

Los cerramientos volados o semivolados se realizan por simple prolongación de las viguetas de los forjados. El equilibrio se obtiene a partir de un cálculo "teórico", que puede distar mucho de la práctica constructiva real debido a la acumulación de gran cantidad de variables. Los supuestos sobre los que se ha basado el cálculo pueden quedar igualmente invalidados al cabo de un tiempo, como consecuencia de los propios movimientos del edificio.

El movimiento de las ménsulas, por ejemplo, puede ser debido a un asiento del terreno. Si los trabajos en el apoyo se desarrollan de manera inadecuada, ello puede provocar un cambio de los esfuerzos en el elemento que apoya sobre la ménsula.

LESIONES MECÁNICAS

El comportamiento mecánico de las ménsulas cortas merece un tratamiento singular, dado que, debido a su geometría, este tipo de elemento constructivo no sigue la ley de conservación de secciones planas en la fase de carga. Esta circunstancia es causante de numerosas fisuraciones e incluso colapsos, como consecuencia de planteamientos incorrectos en las hipótesis de cálculo.

Lesión no estructural



Fisuras coincidentes con la armadura, desconchado del hormigón y manchas de óxido en la zona baja del pilar.
Se deben a la corrosión de la armadura y corte del hormigón de recubrimiento.
La corrosión puede ser consecuencia de: **a)** cloruros u otras sales corrosivas aportadas por la humedad de capilaridad; **b)** carbonatación del hormigón por filtraciones o salpicaduras o **c)** orín de gatos y perros.
No son fisuras graves salvo cuando la pérdida de sección de la armadura es importante.

Lesión no estructural



Exfoliación superficial del hormigón que puede manifestar manchas de óxido en las zonas bajas o altas del pilar.
Se deben al ataque de sulfatos disueltos en agua de filtraciones o capilaridad.
Al evaporarse el agua, los sulfatos quedan depositados cerca de la superficie y forman cristales expansivos que descascaran el hormigón. Si todo esto evoluciona puede provocar el óxido de las armaduras.
Se debe eliminar el aporte de sulfatos atacando el origen o el medio de transporte. Si la erosión es considerable y se aprecian efectos en la armadura se clasifica como **lesión no estructural grave**.

Lesión no estructural



Fisuraciones con posibles manchas de óxido en la parte inferior de los estribos.
Se deben a la retracción hidráulica del hormigón fresco.
No se debe considerar como una lesión en sí misma aunque puede facilitar procesos de corrosión de los estribos.
Es una **lesión no estructural leve** o síntoma.

Lesión no estructural



Fisuras en la parte superior del pilar coincidentes con el último estribo.
Se deben al asentamiento plástico del hormigón.
No se debe considerar como una lesión en sí misma aunque puede facilitar procesos de corrosión.
Es una **lesión no estructural leve**.

Lesión no estructural



Fisuras y descascaramientos diversos y generalizados. Posibles manchas de óxido no coincidentes necesariamente con la armadura f.
Se deben a la degradación del hormigón por la formación de compuestos expansivos asociados a la presencia de sulfuros y/o sulfatos en la masa del hormigón.
La formación de compuestos expansivos desagrega el hormigón en distintas medidas. Puede provocar importantes descensos en la resistencia, aumentos de volumen y el derrumbe del hormigón.
Es una lesión **no estructural grave**.

Lesión no estructural



Fisuras, descascaramientos y/o manchas de óxido en las zonas correspondientes a las armaduras (barras y estribos).
Se deben a la corrosión expansiva de la armadura por: **a)** carbonatación del hormigón y presencia de humedad; **b)** picaduras de cloruros y posterior carbonatación del hormigón y presencia de humedad.
El proceso se acelera por falta de recubrimiento de las armaduras.
Se trata de **lesiones no estructurales**. Según la extensión se considerará síntoma o lesión leve. Si la corrosión ha disminuido considerablemente la armadura se considera grave.

Lesión no estructural



Fisuras muy finas, verticales y paralelas, no coincidentes con la armadura.
Aparecen como agotamiento de la resistencia a compresión del hormigón.
Se trata de una situación previa a la ruptura general. Puede ir acompañada de una fisura principal inclinada en hormigones de baja resistencia.
Es una **lesión estructural muy grave**.

Lesión estructural



Fisuras muy finas, verticales y paralelas en la zona de la cabeza del pilar.
Se deben a la rotura por compresión como consecuencia de la baja resistencia del hormigón.
Esta baja resistencia local puede deberse a problemas en el vertido del hormigón. La fisuración denota un problema estructural que puede ser muy antiguo y puede estar estabilizado. Es necesario investigar la importancia de la lesión.
Es una **lesión estructural muy grave**.

Esquemas de fisuración característicos de los pilares de hormigón armado.

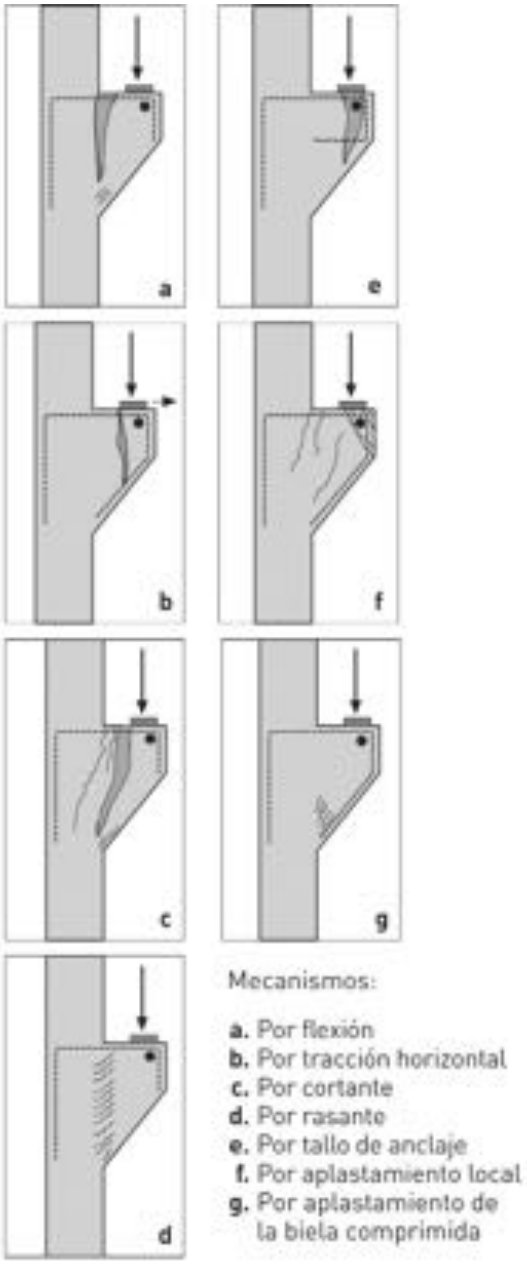
Se define como ménsula corta aquélla en la que la distancia entre la línea de acción de la carga principal y el paramento del soporte es menor o igual al canto útil de la ménsula en la sección adyacente al soporte.

En este tipo de elementos, los estribos verticales resultan totalmente inoperantes. El buen funcionamiento exige que su canto útil, medido en el borde exterior del área sobre la que actúa la carga, sea al menos igual a la mitad del canto útil en la sección adyacente al soporte (sección crítica).

En caso contrario, pueden formarse fisuras oblicuas entre el punto de aplicación de la carga y la cara exterior inclinada de la ménsula, con grave riesgo de fallo repentino de la misma por degollamiento.

A diferencia de los elementos a flexión, con relaciones canto-luz habituales, las tracciones principales se producen en las ménsulas cortas en direcciones paralelas al plano horizontal del apoyo, lo cual conlleva que dichas tensiones deban ser absorbidas por estribos horizontales.

Los mecanismos de fractura son diversos, respondiendo por ejemplo a la formación espontánea de bielas de compresión o siguiendo los modelos de flexión típicos de vigas esbeltas.



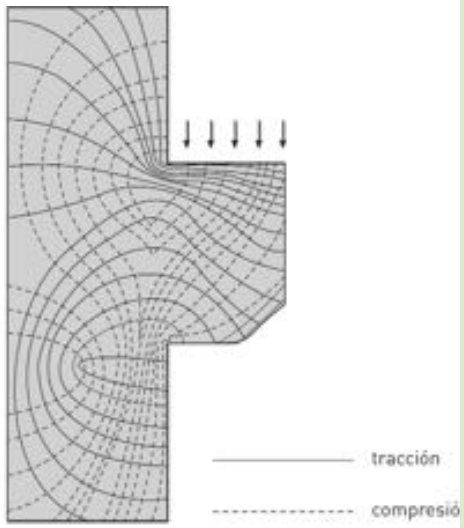
Mecanismos de fallo que pueden presentarse en ménsulas de hormigón armado y las distintas tipologías de grietas y fisuras.

El agotamiento del hormigón puede producir fisuras separando las bielas y, en una fase más avanzada, el aplastamiento. El aplastamiento del hormigón comprimido provoca asimismo fisuras en la parte inferior de la cara inclinada.

ROTURA POR FLEXIÓN Y TORSIÓN

En ménsulas, una fisura frecuente en el extremo superior es la producida por la tendencia al giro del elemento apoyado, produciendo una situación poco ajustada a la arista superior de la armadura de tracción de la ménsula.

Esta misma fisura es producida por el giro a flexión de la propia ménsula al entrar en deformación plástica la armadura y mantenerse inmóvil el pilar o el muro de soporte.



Esquema de direcciones de las tensiones principales en una ménsula corta.

ROTURA POR FLEXIÓN

La insuficiencia de armadura principal provoca, en ménsulas cortas, un fallo por flexión que se manifiesta a través de una fisura en la parte interna del área sobre la que actúa la carga.

En los voladizos en los que, durante el procese de hormigonado, se ha producido un desplazamiento hacia abajo de las armaduras s uperiores, suele aparecer fisuras de flexión en la parte superior.

FLECHAS DE VIGAS EN VOLADIZO

El agrietamiento de la albañilería aparece con rapidez en los paños de fábrica perpendiculares a los forjados o en el encuentro de los paños laterales con los frontales si el voladizo flecha excesivamente.



Estado de pudrición avanzado en la cabeza de una viga de madera. El control periódico de este tipo de estructuras es imprescindible.

A pesar de situarse la flecha admisible dentro de unos baremos tolerados por la estructura, puede que éstos no sean aceptados por el cerramiento y que lleguen a provocar deformaciones tan importantes que acaben produciendo la rotura.

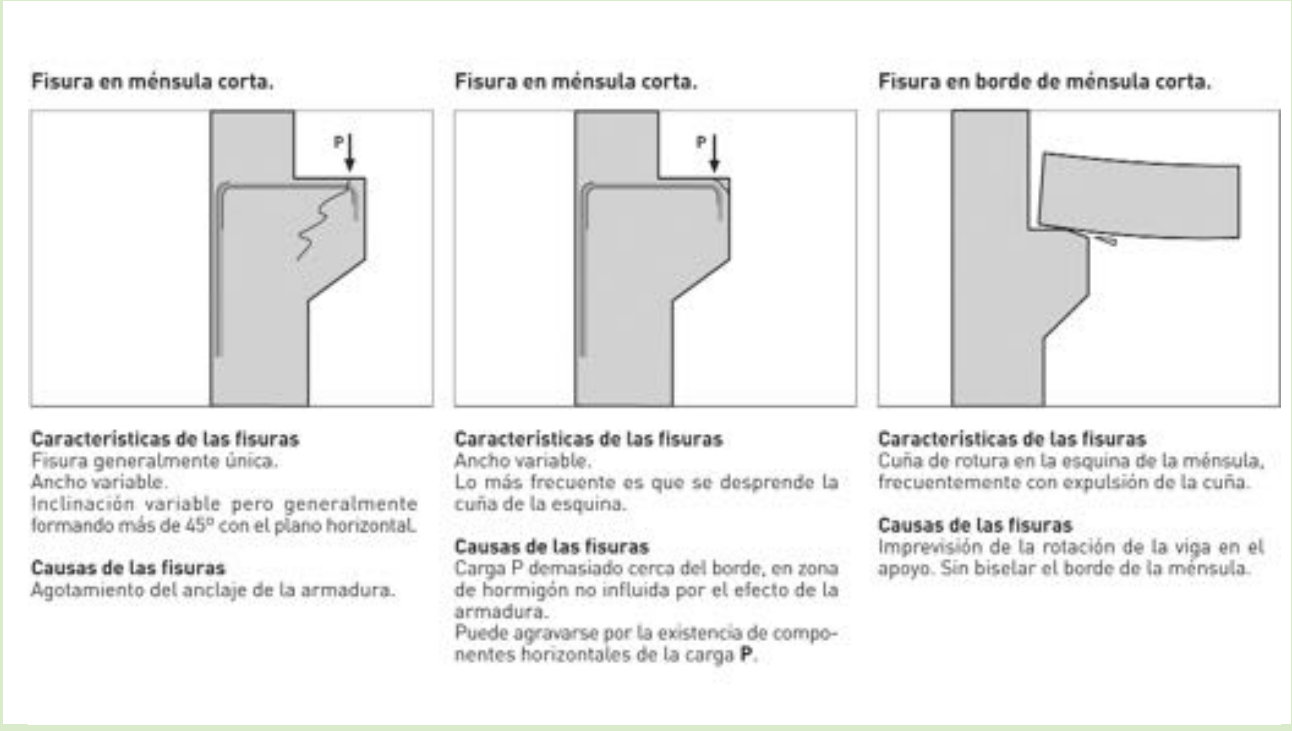
Habitualmente, tal como se realiza en todo tipo de edificio y sin excepción en las estructuras en voladizo, se comienza a cerrar la estructura por sus plantas inferiores, continuando en sentido ascendente.

De este modo, la flecha que debería producirse se ve coartada por la fábrica o cerramiento inferior, el cual está soportando el peso que en cálculo estaba previsto que soportara el vuelo del hormigón. En esta situación, si el vuelo está cerrado, aunque sea muy resistente, es frecuente la aparición de problemas de aplastamiento y pandeo de las esquinas del cerramiento.

El vuelo sobre planta baja desarrolla toda su flecha y es, en el cerramiento de la primera planta, donde aparecen las fisuras parabólicas más violentas o expresivas.

Por ello, aunque el cerramiento del edificio se realice de abajo a arriba, es conveniente invertir el de los vuelos, ejecutándolo al final y comenzando por la última planta.

Es conveniente dejar las dos últimas hiladas de cada planta sin realizar, de modo que la flecha instantánea y una parte de la diferida tengan tiempo de producirse. De esta forma, cada forjado recibirá el peso de su cerramiento.



Esquemas de fisuración en elementos salientes de hormigón armado.

Además, resulta aconsejable calcular el primer voladizo con mayor rigidez que los demás, para soportar mayor carga, en prevención de la que le puedan transmitir los voladizos superiores. También conviene colocar en primer lugar la solería y después el cerramiento, con el fin de disminuir la fisuración por deformación del forjado, sobre todo si el voladizo es de grandes dimensiones.

Otro problema frecuente relacionado con las flechas de los voladizos se presenta en balcones que se han resuelto por medio del propio vuelo de la estructura y que se dividen por un muro de ladrillo.

Si no se ha previsto una viga volada en el centro de dicho vuelo para descargar en ella la carga continua de la pared divisoria, es posible que aparezca una fisura diagonal en la división vertical, síntoma apreciable del descenso del filo del balcón.

En la ejecución del encofrado de voladizos es importante realizar siempre la contraflecha y recordar que retirar los puntales antes de 28 días origina flechas instantáneas y diferidas mayores. Si se acumulan varias anomalías, los daños son mas acentuados.

Para reforzar un voladizo, sostenga éste o no un cerramiento, puede procederse a colocar placas de acero sujetas con pernos en la viga y el pilar perpendicular a ésta, a las cuales se anclará mediante soldadura un perfil doble T, a modo de tirante, que quedará en el interior del cerramiento, si lo hay.

Este sistema, cómodo de ejecutar y prácticamente invisible una vez terminado el refuerzo, tiene la ventaja de evitar romper el cerramiento exterior.

Hay que comprobar que el pilar sea capaz de resistir las nuevas solicitaciones a que es sometido, sujetándose el perfil en la cabeza, para no inducir en él una flexión y cortante adicionales.

Cuando sobre la viga del voladizo no existe cerramiento y éste flecta por falta de rigidez, puede solucionarse rompiendo las bovedillas en contacto con la viga, previo apuntalado y picado de la parte superior de ésta, colocando la armadura necesaria y sobre ésta, a lo largo de toda la viga, estribos en horquilla.

ROTURA POR CORTANTE

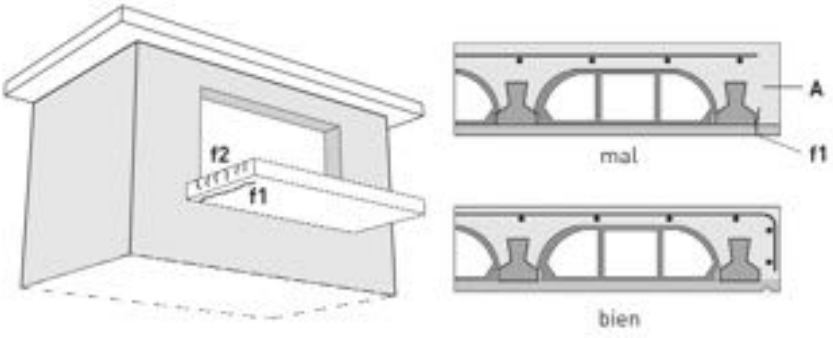
La clásica rotura por cortante en ménsulas cortas, provocada por insuficiencia de armadura transversal, se caracteriza por una fisura que va desde el punto de aplicación de la carga al extremo inferior de la ménsula.

La carencia absoluta de armadura a cortante puede producir el colapso inmediato de la ménsula en voladizo.

ROTURA POR TRACCIÓN

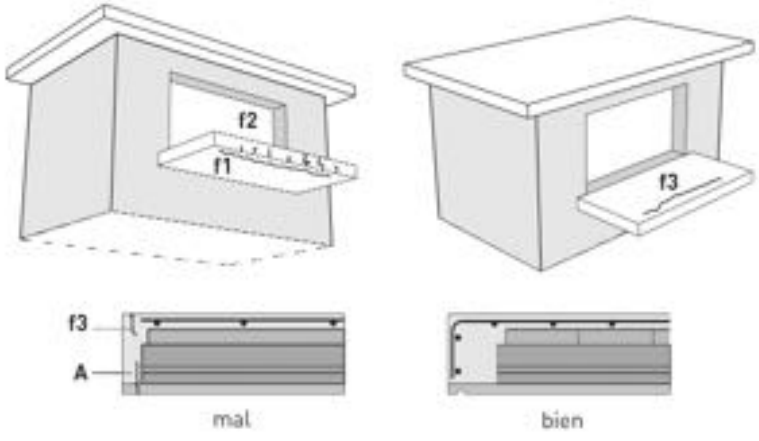
Este tipo de rotura es ocasionada por insuficiencia de armadura principal. La fisura se genera, en ménsulas cortas, en la zona de aplicación de la carga, bajando, de forma neta y rectilínea, hacia la cara inferior inclinada de ésta.

En borde lateral.



Características de las fisuras
La fisura **f1** generalmente es única
Muy próxima al borde del voladizo
Las fisuras **f2** son varias verticales
Ancho de **f1** entre 0,15 a 0,4 mm
Ancho de **f2** 0,05 a 0,15 mm.
Causas de las fisuras
No disponer de zuncho de borde con armadura que cosa la zona **A** y evite la fisura **f1**
Falta armadura longitudinal de retracción que evite las fisuras **f2**

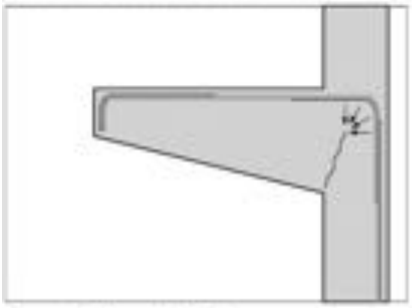
En borde de frente.



Características de las fisuras
Fisura **f1**, generalmente única
Muy próxima al borde del voladizo
Fisuras **f3**, varias verticales
Ancho **f1**, 0,15 a 0,15 mm
Ancho **f2**, 0,05 a 0,15 mm
Causas de las fisuras
No disponer de zuncho de borde con armaduras que cosan la zona **A** y evite las fisuras **f1** y **f3**
Puede agravarse por esfuerzos en la barandilla.
Falta de armadura longitudinal de retracción que evite las fisuras **f2**

Esquemas de fisuras en forjados de viguetas en voladizo.

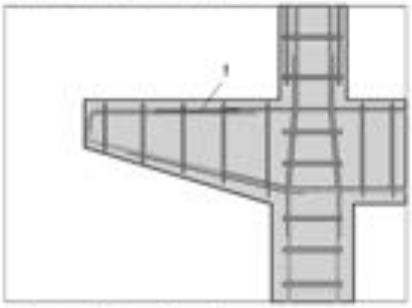
Fisuras en nudos por compresión localizada en los doblados de armadura.



Características de las fisuras
Ancho muy variable.
En dirección de la bisectriz de ángulo de armaduras.
Puede haber una o varias fisuras pero siempre paralelas.

Causas de las fisuras
En caso de grandes concentraciones de barras gruesas, las compresiones sobre el hormigón en la zona de doblado producen fisuras de compresión.
Los radios de doblado especificados en las normas pueden no ser suficientes en estos casos extremos.

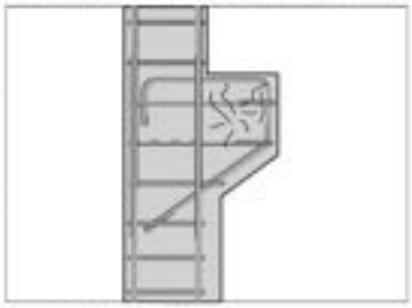
Fisuración de adherencia.



Características de las fisuras
Fisura paralela y superpuesta con la armadura de tracción.
Ancho generalmente de medio a grande (0,15 a 0,4 mm).
Se presenta en zona de esfuerzos cortantes grandes.
Con barras corrugadas, este tipo de fisuración es infrecuente y sólo ocurre con barras gruesas ($\emptyset \geq 25$ mm) o grupos de barras.

Causas de las fisuras
La causa es la excesiva velocidad de crecimiento de la tensión a lo largo de la barra.
Se agrava con el empleo de grupos de barras.

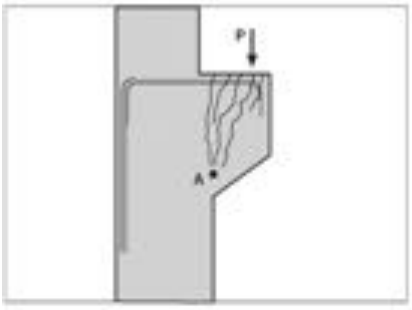
Fisura por corrosión de armaduras.



Características de las fisuras
Fisuras variadas y dispersas en zonas de alta densidad de armaduras superficiales.
El ancho evoluciona hasta valores muy altos (hasta 0,5 - 1 mm).

Causas de las fisuras
Corrosión de la armadura, bien por escasez de recubrimiento, bien por falta de capacidad de protección del hormigón.
La formación de óxido ejerce presión sobre el recubrimiento provocando su estallido.

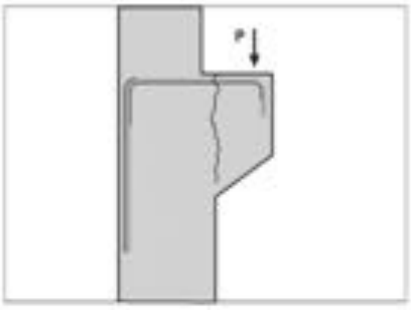
Fisura en ménsula corta.



Características de las fisuras
Ancho variable.
Si son varias, tienen tendencia a converger en un punto **A**.

Causas de las fisuras
Son debidas a la tracción excesiva de la armadura motivada por el momento debido a la carga **P**.

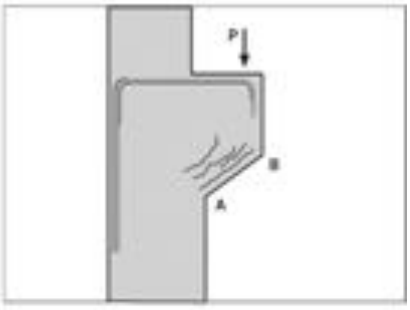
Fisura en ménsula corta.



Características de las fisuras
Ancho variable.
Fisura única.
Prácticamente vertical.

Causas de las fisuras
Motivada por tracción excesiva de la armadura debido al momento originado por la carga **P**.
Existencia de una componente horizontal de la carga **P** no correctamente prevista.
No disponer los estribos necesarios horizontales. (Los verticales no son útiles en ménsulas).

Fisura en ménsula corta.



Características de las fisuras
Fisuras finas (0,05 a 0,10mm).
Varias fisuras paralelas.
Sensiblemente paralelas al plano **A-B**.

Causas de las fisuras
Son fisuras debidas a compresión excesiva del hormigón.

Esquemas de fisuración en elementos salientes de hormigón armado.

DEFECTOS DE PROYECTO Y DE EJECUCIÓN

Entre los errores de proyecto y de ejecución más frecuentes en elementos en voladizo y ménsulas, hallamos los defectos de anclaje o de disposición de las armaduras, que pueden derivar en numerosas roturas y fisuras. En el caso de las ménsulas cortas, éstas aparecen en la parte inferior del punto de aplicación de la carga o entre éste y la cara exterior inclinada de la ménsula.

En ménsulas mal proyectadas o ejecutadas, en las que el apoyo no funciona adecuadamente, se obtiene un empotramiento que da lugar a un momento cuyo brazo es muy corto y, por lo tanto, produce grandes esfuerzos que pueden provocar una fisuración de la ménsula o de la viga que descarga en ella.

Finalmente, la caída o el desplazamiento de la armadura principal durante el proceso de hormigonado puede provocar la aparición de fisuras en voladizos.

VIGAS Y FORJADOS

El proceso patológico de un forjado, mediante el cual este elemento estructural manifiesta a través de síntomas la existencia de una lesión, suele comenzar con la aparición de fisuras o de deformaciones.

En otras ocasiones, menos frecuentes, el deterioro se manifiesta a través de los materiales empleados en la construcción del forjado. Es el caso de la pudrición de las viguetas de madera, de la oxidación de las vigas metálicas o de la degradación de la capa de compresión.

En cuanto a las causas de las lesiones, si buscamos el origen primero daremos prácticamente siempre con algún defecto intrínseco, del tipo de los producidos por fallos durante el proyecto o el proceso de ejecución de la obra.

Sin embargo, la causa directa del fallo será, en la mayoría de los casos, un fenómeno extrínseco, como es un incremento de las solicitaciones que soporta el forjado o la existencia de un ataque químico sobre el hormigón.

Los problemas de un forjado que se ha de reforzar o reparar son muchos y muy complejos. Así como existen defectos estructurales muy localizados y de poca importancia, que no afectan al resto de la estructura, podemos encontrar también lesiones de una complejidad tal que exijan un estudio preliminar de los más mínimos detalles de la estructura.

En los primeros, la reparación no implica mayores problemas y puede realizarse de forma inmediata.

En los segundos, por el contrario, será necesario conocer las causas que han motivado el problema, el historial del edificio, las sobrecargas que ha soportado, el tipo de material empleado, etc.

Siempre es una gran ayuda disponer del proyecto original. En muchos casos, se habrá de recurrir a la realización de análisis y ensayos, destructivos y no destructivos, para estudiar a fondo el estado de los materiales y de la estructura.

La aparición de los primeros síntomas es motivo suficiente para la realización inmediata de un reconocimiento del forjado.

No hay que olvidar que este elemento estructural resulta esencial para la seguridad del edificio. Una vez tomadas las medidas de seguridad pertinentes, es necesario conocer la causa del deterioro.

Deben realizarse con urgencia las comprobaciones necesarias acerca de la resistencia de la sección, a fin de poder evaluar la extensión y la gravedad de la lesión y de tomar las medidas convenientes.

Realizar la comprobación de la sección, es decir, determinar la gravedad de la lesión, permitirá llevar a cabo las acciones consecuentes, que pueden llegar a aconsejar el desalojo del edificio si existe peligro inminente de hundimiento.

En otros casos menos extremos, puede ser aconsejable realizar el apuntalamiento del forjado o proceder a reducir la sobrecarga proporcional a la disminución de su resistencia.

Las degradaciones de la estructura pueden estar estabilizadas o, por el contrario, avanzar progresivamente. Ello determinará la velocidad de las intervenciones.

La observación del cuadro de fisuración en un forjado de hormigón, de madera o de cerámica armada puede aportar información muy valiosa. En ocasiones, es suficiente el análisis de esta sintomatología para llegar a conclusiones bastante exactas.



Típico caso de un forjado apuntalado previo a las tareas de refuerzo y sustitución de la estructura en déficit.

Afortunadamente, la gran superficie de exposición de los forjados facilita el proceso de diagnosis, algo que no sucede con otros elementos estructurales, en los que a menudo pasan desapercibidas las lesiones hasta que éstas se hallan en un estado avanzado. Pero la presencia de falsos techos y solados puede oponer una barrera importante, ya que a menudo ocultan lesiones que, en su ausencia, hubiesen sido fáciles de detectar.

No obstante, las fisuras que aparecen en los primeros días de vida de la losa de hormigón o al desapuntalar el forjado pueden ser observadas antes de la construcción del falso techo. El deterioro de la cara superior se manifiesta también en el solado en la mayor parte de los casos.

Algunas lesiones importantes pueden resultar difíciles de detectar, como es el caso de la pudrición de cabezas de vigas de madera encastradas en el muro, de la oxidación del alma de los perfiles metálicos, cuando éstos se revisten con carbonilla u otros materiales inertes, de la falta de hormigón en el interior de los nervios de los forjados o de la formación de oquedades dentro de los pilares de hormigón.

La fisuración por cortante en nervios de hormigón tampoco es visible. No obstante, los nervios suelen estar sobredimensionados frente a esta solicitación, por lo cual la aparición de fisuras es poco frecuente.

Detectada la presencia de fisuras, la primera medida a tomar es conocer la actividad o inactividad de éstas, es decir, si se trata de fisuras vivas, en movimiento; o de fisuras muertas, estabilizadas.

Se considera activa una fisura cuyas variaciones de desplazamiento, longitud o anchura pueden determinarse visiblemente mediante testigos, en un periodo de tiempo no superior a un año. Las fisuras muertas o pasivas son aquéllas que estabilizan su crecimiento al cesar la causa que las produjo.

Existen además dos grados de fisuración: una microfisuración inicial, no apreciable dado que en general no es exteriormente aparente; y una macrofisuración posterior, que es en realidad la que acapara nuestra atención.

Las fisuras vivas son producidas por acciones de magnitud variable, que provocarán deformaciones también variables. Pertenecen a este grupo, en el caso del hormigón, las fisuras de origen térmico y las de flexión provocadas por acciones dinámicas.

En todas las construcciones en que interviene el hormigón, algunas fisuras se manifiestan muy tempranamente, incluso durante el periodo de fraguado.

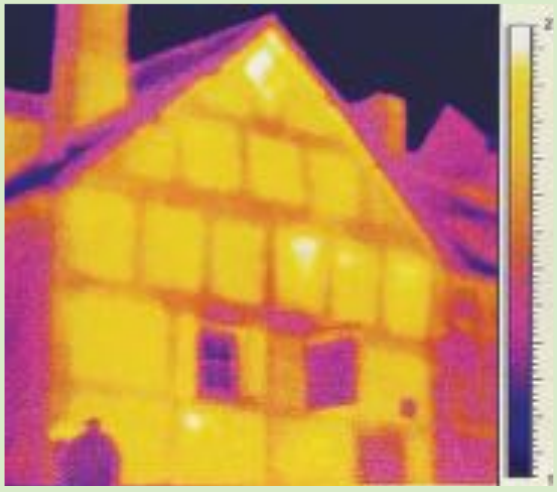
La actividad o inactividad de la grieta es un factor que condiciona el tratamiento que se ha de dar para su reparación.



Viga de madera exterior comprometida en sus propiedades mecánicas por la acción de los factores climáticos y el envejecimiento natural.



Ataque xilófago en una viga de madera interior.





Realización de termografía de una casa para conocer su estructura oculta. Es un método de diagnosis sencillo y muy útil.

Para detectarlo, será suficiente el uso de alguno de los métodos clásicos, como la colocación de testigos, el marcaje con un lápiz de los límites de la fisura, la colocación de un palillo de dientes encajado en la fisura para determinar variaciones de amplitud, etc.

En el hormigón, como en la madera, las causas de la fisuración son más variadas y su diagnóstico no siempre resulta fácil.

Hay que observar la ubicación de la lesión, su amplitud, su trayectoria, su cadencia, etc. para poder llegar a la causa que la ha motivado, esencial a la hora de proyectar la reparación o los refuerzos necesarios.

En ocasiones pueden confluir varios defectos en un mismo deterioro o pueden haberse ido encadenando cronológicamente diversas causas no solucionadas en su momento.

La estimación de la capacidad resistente de la estructura puede realizarse por varios métodos, dependiendo de la magnitud de los daños.

El análisis de las sobrecargas que en el tiempo ha soportado el forjado contribuye a dar una idea bastante aproximada de su capacidad resistente.

En ausencia de indicios de pérdida de resistencia, siempre es posible esperar que se comporte correctamente con cargas menores. Un forjado previsto para vivienda tiene una sobrecarga mayor que la normal de cálculo cuando se utiliza para escuela o almacén y menor en el caso contrario.

Un método simple consiste en estudiar la resistencia de los elementos, fijando un tope máximo en la disminución de ésta con respecto a la inicial. Aquellos elementos que no se sitúen por debajo de este límite se considerarán suficientes desde el punto de vista resistente, mientras que los que lo sobrepasen serán objeto de un posible refuerzo.

La fijación de este límite, potestativa del ingeniero encargado del refuerzo, se decidirá teniendo en cuenta la concepción del edificio, su uso, el método de cálculo seguido en el proyecto, las cargas que actúan sobre el forjado, etc.

De manera general, en los forjados de hormigón es bastante empleado el coeficiente del 15 por 100, aunque éste puede aumentarse sensiblemente si el elemento considerado no es crítico, es decir, no puede provocar el colapso del forjado.

En el caso de los forjados de madera, éstos acostumbran a estar sobredimensionados, por lo que tienen gran capacidad portante residual. Incluso en condiciones de degradación importantes, la estructura sigue manteniendo su misión estática.

Una prueba que puede eliminar toda duda sobre el estado actual de la estructura es la prueba de carga a cuasirotura. Este método, utilizado sobre todo en forjados de hormigón y metálicos, solamente se realizará en estructuras sometidas a flexión y cuando los resultados de un cálculo previo nos indiquen que el coeficiente de seguridad es suficiente para que no se produzca el colapso de la misma durante el ensayo.

Los resultados obtenidos ofrecen una información extremamente fiable acerca del estado del forjado. Los denominados ensayos de carga a servicio, en los cuales la aplicación de carga es menor, generan una información de más fácil tratamiento en las estructuras metálicas que en las de hormigón.

Si tras el reconocimiento y la diagnosis del forjado, se extrae que la resistencia de éste no es suficiente para soportar las solicitaciones que produce su uso normal, se considerará alguna de las siguientes medidas de intervención:

EL REFUERZO DE LA ESTRUCTURA O DE ALGUNAS DE SUS PARTES. Un método estandarizado es el incremento de la sección resistente del elemento y, en hormigón armado, la integración de nueva barras de acero para absorber esfuerzos descompensados. Existen muchas otras posibilidades, como son la aplicación de pletinas, viguetas y perfiles metálicos, que pueden conseguir mejoras notables de la capacidad resistente en prácticamente todo tipo de forjados. El inconveniente de algunas de estas soluciones es la pérdida de altura del elemento, que provoca problemas estéticos y de espacio. Las resinas sintéticas y epoxi, los morteros de baja retracción y otros compuestos de última generación están consiguiendo notables avances y éxitos en la aplicación de refuerzos.

LA SUSTITUCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES AFECTADOS. Bien sea a través de una sustitución física (extrayendo los elementos dañados y colocando otros nuevos) o de una sustitución funcional (añadiendo a los ya existentes nuevos elementos estructurales con características equivalentes, que sustituyen la función de aquéllos sin necesidad de realizar destrozos para extraerlos).

Cuando se trata de una sustitución física general, hablamos de derribo total del forjado y construcción de uno nuevo. Estas sustituciones son más recomendables, incluso económicamente, cuando se trata de forjados bajo cubierta, dada la posibilidad de salvar los cielos rasos, las instalaciones y los acabados interiores. En forjados de madera, considerada la carga histórica y artística de este tipo de estructuras, se aconseja siempre agotar el resto de posibilidades antes de proceder a su demolición.

Si resulta imprescindible una sustitución física, es preferible realizarla por medio de materiales afines, que no supongan una discontinuidad estética con el resto del edificio.

La sustitución funcional resulta sobre todo recomendable en forjados entre pisos, ya que evita el derribo del forjado existente y, a menudo, el tener que reponer los pavimentos y las instalaciones.

Dado que se trata de suplir las funciones resistentes, que se encomiendan a un nuevo montaje estructural, ello equivale a un apeo general del forjado. Si la altura es muy limitada y no permite la construcción de una nueva estructura en su cara inferior o si la estructura portante (paredes o jácenas) está al límite de su capacidad, puede considerarse la posibilidad de emprender una sustitución física, incluso en el interior del edificio.

Ambos tipos de sustitución pueden afectar a un solo elemento del forjado (una vigueta), a varios (un conjunto de viguetas que presentan el mismo problema o problemas distintos) o al forjado en su conjunto.

Dependiendo de la extensión de la patología, puede llevarse a cabo una reparación viga a viga, clasificándolas según el grado y tipo de sus deficiencias; o una reparación conjunta que afecte a todo el forjado.

Cuando la capacidad resistente del forjado haya resultado muy afectada, puede suceder que la reparación del mismo sea tan costosa y complicada que no compense el esfuerzo. Factores económicos y otros condicionantes diversos determinará la conveniencia de actuar o no.

En ocasiones, el análisis del estado del forjado nos indica un estado de seguridad aceptable, pero los daños detectados pueden favorecer el deterioro progresivo del forjado o, por otra parte, conviene mejorar el aspecto estético de la estructura. En estos casos, no será necesario reforzarla, pero sí proceder a su reparación, devolviéndole su aspecto original mediante el saneado y la restauración de sus zonas disgregadas, fisuradas o que presenten grandes oquedades.

Muchas reparaciones y refuerzos son obras fáciles de realizar e incluso están tipificadas como casos concretos. Otras, por el contrario, son muy singulares y resulta complejo aplicarles un patrón determinado.

En todo caso, se trata de operaciones delicadas, en las cuales deben realizarse cada uno de los pasos con sumo cuidado, a riesgo de restarles eficacia o de provocar efectos indeseables que obliguen a tratar posteriormente las patologías ocasionadas por la reparación o el refuerzo.

FORJADOS CON VIGAS DE MADERA

En todo elemento constructivo, estructural o no, que utilice como materia principal la madera, a la hora de hablar de las patologías y su tratamiento nos referimos no solamente a la necesidad de dar o devolver a la estructura una respuesta correcta ante las solicitaciones que ésta soporta.

Nos referimos además al compromiso de mantener la estructura original, que sigue viva y, por lo tanto, en servicio, con el mínimo de modificaciones, de tal forma que la madera siga cumpliendo sus funciones resistentes del mismo modo en que éstas fueron concebidas en su principio.

El valor histórico y tecnológico de la estructura prevalecerá, en muchas ocasiones, sobre otros factores tan importantes como el económico.

Hay que tener en cuenta que las estructuras antiguas son, en general, de excelente madera y la degradación suele ser sólo puntual. Muchas utilizan duramen, sólo atacable por termitas. Y avisan siempre antes del colapso, puesto que los haces de fibras no se rompen todos a la vez, no produciendo derrumbes repentinos.

Además, los forjados de madera acostumbran a estar sobredimensionados, por lo que tienen gran capacidad portante residual.

No es raro que, al estudiar sus condiciones estáticas, nos encontremos con coeficientes de seguridad 10. Por ello, incluso en condiciones de degradación importantes, el forjado sigue manteniendo su misión estática.

En general, como en todo tipo de actuación frente a problemas estructurales, pero en particular en el caso de los forjados de madera, no es posible ofrecer un catálogo de soluciones estandarizadas, sino que se deben buscar soluciones singulares para cada caso, según el resultado de la diagnosis y la realidad histórica y física del elemento.

A. ALTERACIONES DE LA MADERA

En los forjados con viguería de madera, el lugar más expuesto a la degradación por humedades es siempre la cabeza de la viga, sobre todo si el muro de apoyo es de cerramiento o bien existen canalizaciones de agua próximas.

En el caso de las termitas, el mayor daño se sitúa asimismo en las cabezas, lugar por donde inician su ataque estos insectos que acceden a la viga a través del muro. La humedad permite la actuación de los hongos de pudrición y, al mismo tiempo, favorece el desarrollo de las termitas, por lo cual es normal encontrar ambos fenómenos a la vez. Las zonas próximas a áreas húmedas (baños, cocinas, bajantes, etc) serán por lo general las más afectadas.

Frente a estos fenómenos, además de los sistemas de protección que se tratarán en el capítulo correspondiente, hay que considerar la importancia de la prevención constructiva, sobre todo en lo que se refiere al apoyo de los elementos en los muros de soporte.

Este punto tan delicado generalmente se resuelve con el encastre directo de la pieza en el muro. La consecuente falta de impermeabilización y la ausencia de ventilación exponen a la viga a las humedades que pueden penetrar.

A posteriori, es posible aislar los cabezales abriendo la zona de muro en que éstos se alojan y colocando algún método impermeabilizante y separadores que aíslen la pieza de madera. También puede abrirse un hueco de ventilación en la parte posterior del muro.

B. FALLOS DEBIDOS A LESIONES MECÁNICAS

Cuando la sección de la viga es insuficiente para las condiciones de carga y deformación exigidas, puede aumentarse el canto de la misma con un suplemento de madera unida con epoxi y, adicionalmente, con tornillos. Previamente, se estudiará el diagrama de momentos de la viga y se calcularán las secciones de madera que es necesario añadir lateralmente, de manera que el momento de inercia y el módulo resistente resultante sean suficientes. Este método tiene el inconveniente de elevar el nivel del suelo y de modificar la apariencia exterior de la viga.

En lugar de aumentar la capacidad portante de la viga, podemos, en sentido contrario, disminuir las solicitaciones a las que ésta es sometida. Para ello, se modifica el sistema estructural, colocando una viga perpendicular al sentido del forjado, partiendo en dos la luz. Si la luz del envigado es muy grande (más de seis metros), es conveniente colocar dos refuerzos, el primero a 1/3 y el segundo a 2/3 de la luz.

El aspecto más delicado de esta actuación es el punto sobre el que se apoyarán las nuevas vigas, que ha de ser suficientemente sólido para admitir las tensiones creadas sin causar problemas en la estructura vertical. La puesta en carga se realiza mediante dos cuñas entre la viga original y la nueva, evitando deformaciones excesivas en techo y muros.

En esta operación, históricamente una de las más usadas para mejorar el comportamiento de los forjados de madera, se están sustituyendo actualmente las vigas de madera por los perfiles de acero.

C. CONSOLIDACIÓN Y REFUERZO

Tras el proceso de diagnosis y la evaluación real del estado de la estructura y de las patologías que la afectan caben tres actuaciones posibles:

- **LA CONSERVACIÓN TOTAL DE LA ESTRUCTURA**, es decir, su rehabilitación, mediante técnicas de recuperación y refuerzo del elemento estructural y de reparación y consolidación de partes del mismo.

- **LA SUSTITUCIÓN FUNCIONAL O ELIMINACIÓN DEL VALOR ESTRUCTURAL DE LA MADERA**, para lo cual la parte resistente es sustituida por otro material que asume todas las cargas, quedando la madera solamente con su valor decorativo e histórico.

- **LA SUSTITUCIÓN FÍSICA POR OTRA ESTRUCTURA**, de madera o de otros materiales, como el acero o el hormigón.

Trataremos, en primer lugar, algunos aspectos generales acerca de los procesos de consolidación y reparación en las cabezas de vigas. Antes de proceder a realizar cualquier actuación, debemos conocer cuál es el estado real de las vigas, revisándolas una por una y, por lo tanto, abriendo la zona del muro que rodea cada cabeza, que posteriormente cegaremos, o perforando con un taladro y comprobando las virutas que saltan. Además, habrá que realizar los trabajos de apeo necesarios, después de calcular las cargas residuales.

A la hora de plantearnos la reparación de una estructura de forjado con vigas de madera, pueden surgir dos posibilidades claras y excluyentes:

- **SI EL DEBILITAMIENTO DE LA SECCIÓN NO ES TAN EXTREMO** como para afectar a la seguridad de la estructura, puede reconstruirse la zona dañada mediante un mortero epoxi, conectándose a la madera sana con algún elemento embebido en resina.

- **SI LA CABEZA DE VIGA APARECE MUY DEBILITADA**, hasta el extremo de poner en peligro la estructura, como consecuencia de pudriciones, ataque de insectos o falta de superficie de apoyo, se debe proceder a la recuperación de la resistencia necesaria.

A veces será necesario llevar a cabo actuaciones en tramos de vigas, que presentan discontinuidades en cuanto a su conservación: vigas partidas o cedidas, pudriciones en el vano de la viga, ensambles defectuosos, etc. En intervenciones puntuales y reconstrucción de pequeñas zonas o secciones perdidas, es posible rellenar la zona degradada, previamente retirada y encofrada, con mortero epoxi y serrín (técnica de estucado).

En los trabajos de saneamiento, será necesario eliminar la totalidad de la zona atacada cuando el ataque sea muy intenso o provocado por pudrición. Si la zona es pequeña y no se trata de pudrición, puede optarse por inyectar resinas que consoliden la madera.

Tras la reparación o el refuerzo, debe efectuarse siempre un tratamiento curativo y preventivo de la madera en cabeza de viga, que elimine los focos del ataque biológico o físico y la proteja en el futuro contra ellos.

REFUERZO Y REPARACIÓN POR MEDIO DE RESINAS SINTÉTICAS

El gran desarrollo de las resinas sintéticas, que permiten la unión de piezas de madera con resistencias iguales o superiores a las de la propia madera, ha generado el nacimiento una serie de nuevas técnicas de recuperación que, desde el punto de vista estructural, no suponen discontinuidades en la unión de piezas mediante encolado. Insensibles al agua, duraderas e inalterables, las resinas sintéticas son además muy resistentes mecánicamente ante cargas estáticas y dinámicas, así como ante temperaturas extremas (de -50 a +50 ºC) y frente a la oxidación, los rayos ultravioletas y la polución.

No obstante y tal como señalan algunos autores, la consolidación de zonas dañadas mediante la inyección de resinas de baja viscosidad plantea aún en estos momentos ciertas incertidumbres acerca de la mejora obtenida después de su aplicación y de su futuro comportamiento, por lo cual la escasa experiencia acumulada en el tema aconseja prudencia.

Los sistemas de recuperación de estructuras de madera derivados del uso de resinas sintéticas suelen denominarse técnicas actuales de recuperación. Señalamos aquí algunos de sus usos posibles en la recuperación de forjados de vigas de madera.

IMPREGNACIONES CONSOLIDANTES. El objetivo es incrementar la capacidad mecánica de la viga por medio de la penetración profunda de un ligante (generalmente, resina acrílica o incluso resina natural) y un disolvente.

Los poliuretanos y los epoxi, de bajo peso molecular (muy fluidos), están mejorando la capacidad de penetración de estos preparados. Se puede llegar a alcanzar una mejora de la resistencia mecánica de hasta el 30 %.

PRÓTESIS DE LA MADERA POR MEDIO DE RESINAS EPOXI. Las resinas epoxi tienen una gran cantidad de aplicaciones en los trabajos de restauración y rehabilitación de estructuras de madera.





Dos ejemplos de vigas de madera que han perdido parte de su capacidad portante. Es importante observar que la madera es el único material que deforma de esta manera sin colapsar en el plazo inmediato.

Una gran resistencia en la unión de materiales y una muy baja retracción son las características principales de estas formulaciones, que en realidad son una combinación de ingredientes entre los que figuran, necesariamente, la resina epoxi y el endurecedor.

En algunos ocasiones, se añaden cargas o materiales inertes y flexibilizadores que disminuyen las tensiones debidas a los diferentes coeficientes de dilatación térmica del compuesto epoxi y los materiales en contacto.

Uno de los métodos más eficaces en la rehabilitación estructural de la madera se basa en la aplicación de elementos de refuerzo dentro de la pieza (resinas reforzadas con fibra de vidrio, barras o placas metálicas), embebidos en formulaciones de resina epoxi.

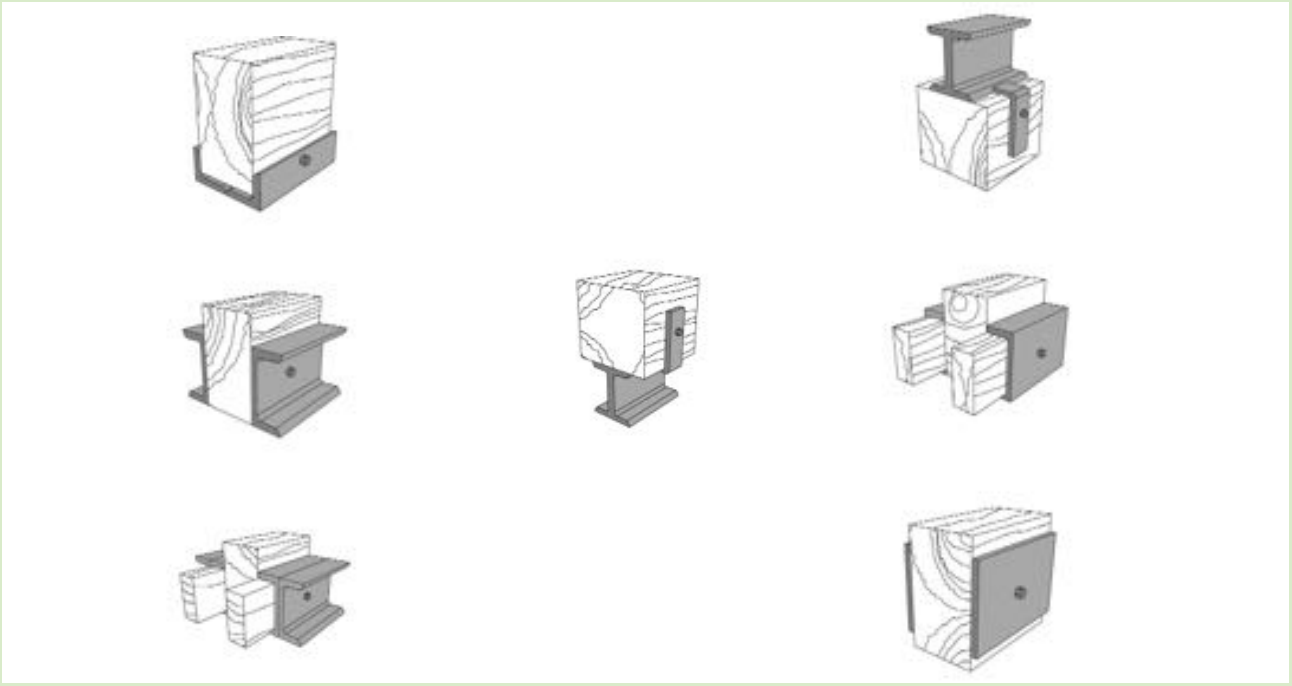
Desde el punto de vista del comportamiento mecánico, la unión entre la madera y el elemento de refuerzo es más efectiva que otras soluciones a base de elementos metálicos atornillados o pernos, donde la unión es menos rígida y exige una mayor deformación para entrar en carga.

Un procedimiento de nueva generación es la inserción de varillas o barras como elemento de refuerzo. Se realiza cortando la parte degradada hasta llegar a la madera sana, sustituyéndola por un mortero epoxi.

La conexión entre madera y mortero se efectúa mediante varillas o armaduras (fibra de vidrio con resinas) ancladas en la madera sana y colocadas en dirección al punto de apoyo, a través de una serie de agujeros perforados previamente.

Para el vertido del mortero, se efectuará un encofrado (perdido o no). Esta técnica, denominada con el nombre de su patente, Beta, es más recomendable para grandes vigas, debido a su alto coste.

En ocasiones, será necesario actuar en toda la longitud de la viga mediante la introducción de varillas inclinadas dentro de los agujeros taladrados con este fin y rellenando la holgura entre varilla y agujero con resina.



Técnicas tradicionales de recuperación de vigas de madera con sus propiedades mecánicas disminuidas o inexistentes.

En esta técnica y en general en todas las que incluyen elementos de refuerzo, la instalación oculta de éstos es esencial para asegurar su comportamiento en caso de incendio: la madera que los recubre aumentará siempre el tiempo de resistencia al fuego.

ARMADOS. La inserción de varillas de vitrorresina embutidas o de barras y chapas de acero cosidas entre sí produce un incremento de la resistencia a flexión y/o a cortante. Estos refuerzos pueden calcularse para resistir por sí solos las solicitaciones de la pieza en una sección concreta y anclarse a la madera sana en una longitud determinada.

Si las varillas se colocan inclinadas se absorben los esfuerzos a cortante. Las varillas pueden disponerse también en malla diagonal, simple o cruzada, e incluso anclarlas al exterior del muro para ofrecer un refuerzo suplementario.

En el caso del uso de chapas, sistema de armado denominado *de sandwich*, se consigue un notable incremento de la resistencia a flexión. Las chapas se alternan entre las piezas de madera (por ejemplo, dos chapas embutidas entre tres piezas) y se sujetan con pasadores, completándose el proceso con la inyección de resinas consolidantes.

El refuerzo combinado de barras y chapa de acero se realiza colocando las barras con una inclinación de 45º, para absorber cortantes, y adosando las chapas a la pieza, por intradós, unidas con resina epoxi, para absorber tracciones.

Asimismo, pueden utilizarse las resinas epoxi como el propio material de armado, mediante su inyección en conductos previamente taladrados, paralelos a la fibra o con pequeña inclinación, en función de la viscosidad requerida.

La absorción y difusión se produce, por capilaridad, a través de los conductos celulares de la madera. Para conseguir resultados correctos, es necesario evitar burbujas de aire que supongan una discontinuidad en el ligante.

Se puede también conseguir modestos refuerzos a flexión por pretensado de una barra de acero. Para ello, se dispone un armado convencional, semejante al de las vigas de hormigón, entrando la barra por la parte alta de la cabeza de viga, bajando a 45º adoptando la horizontal en la zona de momentos positivos, para subir de nuevo, también a 45º y salir por la parte superior del otro extremo.



Operación de refuerzo de una viga de madera mediante la adición de un perfil metálico en todo su largo.



Refuerzo parcial de una viga de madera interior que perdió parte de su capacidad portante debido a una pudrición.

Como en el caso de las barras de vitrorresina, se rellenan holguras y se obturan orificios con lechada de epoxi y se termina la operación con la inyección de resinas consolidantes y posterior tesado.

Puesto que los resultados en todas estas operaciones descritas no siempre son los esperados, es conveniente realizar ensayos de puesta en carga con flexímetros, extensómetros, etc. para comprobar su efectividad. Asimismo, es aconsejable emplear manómetros para controlar el nivel de saturación de la inyección de resina.

RECONSTRUCCIÓN DE SECCIONES CON MADERA LAMINADA POR ENCOLADO

La madera laminada encolada permite reconstruir secciones de piezas o reforzar las ya existentes. Gracias a su tecnología de fabricación, es posible obtener, a través de pequeñas piezas, elementos de grandes dimensiones sin fendas ni rajas, así como fabricar diferentes escuadrías y formas. En cada zona de la viga de madera a restaurar, puede adecuarse la calidad de la lámina a la carga de trabajo a que se encuentra sometida y fabricar piezas de la curvatura necesaria, con la simple disminución del espesor de la lámina, sin rotura.

Este método, que permite una restauración *in situ*, se aplica en vigas en las que el ataque es muy extenso. Es preciso previamente eliminar las zonas degradadas y rebajar la altura de la pieza para proceder al laminado. Eligiendo adecuadamente el número y distribución de las láminas, puede mejorarse sensiblemente la capacidad de carga.

El encolado se realiza con resinas de urea en los laminados interiores y en aquellas estructuras en que no sea previsible una humedad de la madera inferior al 18 %. Cuando ésta sea superior al 18 %, deberán emplearse adhesivos de resorcinol-formaldehido. Ambos compuestos son de fraguado en frío, por lo cual su aplicación puede realizarse sin necesidad de desmontar la viga que trata de laminarse.

REFUERZOS METÁLICOS

Existen muchas variantes de este tipo de refuerzo tradicional. En general, se consiguen recuperaciones modestas de flecha, hacer frente a una falta de capacidad a flexión, compensar aumentos en las sobrecargas de uso, corregir un dimensionamiento inicial insuficiente, resolver problemas de pudrición de las cabezas de vigas, proceder al refuerzo de secciones y absorber empujes excesivos. Los elementos básicos de este tipo de refuerzo son las perfilerías, los cables y las chapas y los auxiliares son los bellotes, tornillos, clavos, pernos, pletinas, etc.

En casi todas estas soluciones, se trata de aportar un material de elevada capacidad a tracción en la zona donde los momentos positivos son mayores. Por ello, no es necesario colocar el refuerzo en toda la longitud de la viga, hecho que facilita notablemente los trabajos.

Para reforzar una viga con perfiles de acero laminado, se apuntalarán el forjado y la viga misma antes de proceder a picar la pared en la que encaja la cabeza y construir un dado de hormigón para repartir las cargas del refuerzo.

Se colocará el perfil de refuerzo bajo la viga (previa protección de su cabeza con pinturas antioxidantes) y se rellenará el espacio entre viga y refuerzo con mortero o bien se calzará.

También se puede reforzar la viga con dos perfiles colocados lateralmente. El procedimiento es similar.

Se picarán dos agujeros en los lados, para encajar en ellos los perfiles, previa construcción de dos dados de hormigón para repartir las cargas de las vigas de refuerzo. Los perfiles, en forma de U, se fijarán con tornillos que pasarán entre las dos nuevas vigas y la de madera ya existente, con el objeto de que trabajen unitariamente. Se colocarán cuñas entre las nuevas vigas metálicas y el forjado.

Otra técnica tradicional de recuperación de forjados con viguería de madera consiste en el atirantado con acero redondo o cable, que puede realizarse en la parte superior o inferior de la viga y en las dos caras laterales. Aunque el sistema es complejo, se consigue un incremento notable de la capacidad a flexión y permite, en algunos casos, el postesado.

RECUPERACIÓN DE FLECHA EN UNA VIGA DEFORMADA

Una técnica tradicional que permite recuperar la flecha de una viga deformada consiste en añadir un perfil de refuerzo en su cara inferior o por intradós, adaptado él mismo a la curvatura de deformación de la viga, por medio de la adición de un peso en el centro de su luz.

La viga metálica es elevada en sus dos extremos por medio de gatos hidráulicos, ajustada a la viga de madera a corregir y cosida a ella. Al eliminar el peso, el perfil recobra su directriz primitiva, obligando a la viga, a su vez, a corregir su deformación.

USO DE PLETINAS EN EL REFUERZO DE FORJADOS

Dentro de las técnicas tradicionales de recuperación, la aplicación de dos pletinas en forma de "V" y a 30º se utiliza como refuerzo frente a empujes producidos por sismos y/o cargas concéntricas. Suelen aplicarse por la parte superior del forjado, cuando esto es posible, y partiendo de los muros paralelos al envigado.

Ambas pletinas se unen en "V" en la parte exterior del muro por medio de un tornillo y de una tercera pletina perpendicular al refuerzo y adosada al propio muro por su cara externa, que evita el desplazamiento.

Otro uso consiste en clavar y encolar con epoxi una pletina helicoidal a lo largo de la sección de la viga a reforzar. Posteriormente, se procede al contrapeado de tejidos de fibra de vidrio impregnados en epoxi.

D. SUSTITUCIÓN DEL FORJADO

Cuando el elemento estructural se halla en muy mal estado y con una incapacidad manifiesta para soportar las cargas previstas, la solución más sencilla es renovar los elementos dañados. Se intentará siempre, por motivos artísticos e históricos, evitar la sustitución física, práctica en realidad poco habitual.

SUSTITUCIÓN PARCIAL DE UNA VIGA

Esta técnica tradicional, de aplicación en pequeñas reparaciones o estructuras modestas, consiste en preparar una prótesis con madera análoga a la existente, con las mismas características de antigüedad y grado de humedad. A menudo, se usan maderas extraídas de otros elementos del edificio. Una vez eliminada la parte insana, se labra la sana (tradicionalmente, en forma de ***DIENTE DE PERRO***), en ensamble a tracción o compresión, según el esfuerzo que solicite a la pieza, y se le acopla la prótesis de sustitución, con ensamble negativo del anterior.

La unión queda asegurada por elementos auxiliares metálicos y, si se considera necesario, pueden encolarse las superficies en contacto. La prótesis es aplicable tanto en zona de cabezales como en zona de vano.

SUSTITUCIÓN FUNCIONAL

Cuando el refuerzo es imposible a causa del mal estado de conservación, se procede a construir un nuevo elemento resistente que soporte las solicitaciones de aquél que queremos sustituir, con la consecuente anulación de su misión estructural. Ello se realiza por medio de la colocación de nuevas vigas o de un nuevo forjado encima o debajo (según sea más importante conservar el pavimento superior o mantener la estética del forjado inferior).

En cuanto a los materiales utilizados, el elenco es amplio: desde la misma madera a las vigas o losas de hormigón, pasando por los materiales metálicos. El punto débil de todos estos sistemas se halla en el apoyo sobre el muro, la puesta en carga del nuevo sistema y el incremento de peso que los nuevos elementos comportan.

SUSTITUCIÓN FÍSICA

La opción de sustituir el forjado de vigas de madera por otra estructura existe y debe ser valorada. Pero no hay que olvidar gastos fundamentales como el desmontado del forjado existente y su apeo, el desescombro, el coste de la nueva estructura y la reposición total de los solados, además del coste del mantenimiento posterior del nuevo forjado.

Es necesario también valorar como afectará éste al edificio, en cuanto a la variación y redistribución de cargas, a veces discordantes con la estructura; los empujes; el aumento del peso propio (para mantener la misma capacidad de carga habrá de incrementarse el peso entre un 400 y un 500 %); y el peligro que puede suponer para la supervivencia de otros elementos valiosos (artesonados, solados, etc.).

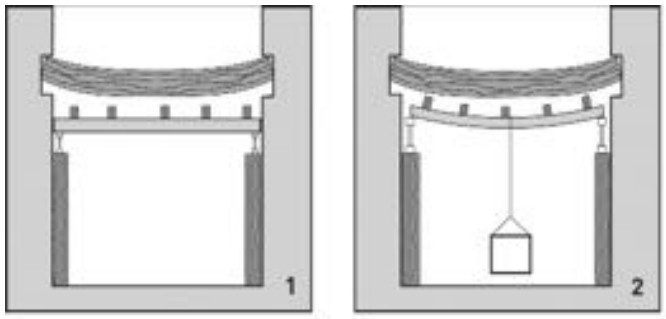
En la práctica, la sustitución física suele aplicarse sólo en elementos puntuales y, como ya hemos comentado, es la solución a la que se debe llegar en último término. Se puede llevar a cabo con el material original, para conservar la imagen del conjunto; algún material afín y actual, como la madera laminada-encolada, preferible a las soluciones de pura imitación *(pastiche)*; o con otros materiales, como el hormigón o el acero.

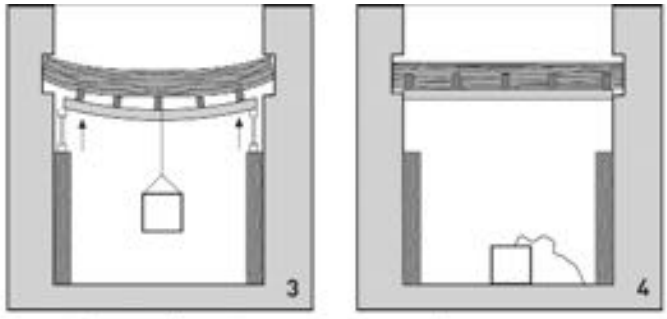
Sustituir un solo elemento en un forjado no es tarea sencilla. Requiere un cuidado apuntalamiento que evite dañar los elementos que lo rodean, extraer la viga degradada de manera cuidadosa y colocar la nueva viga en su lugar. El trabajo de sustitución de un forjado entero no resulta más fácil.

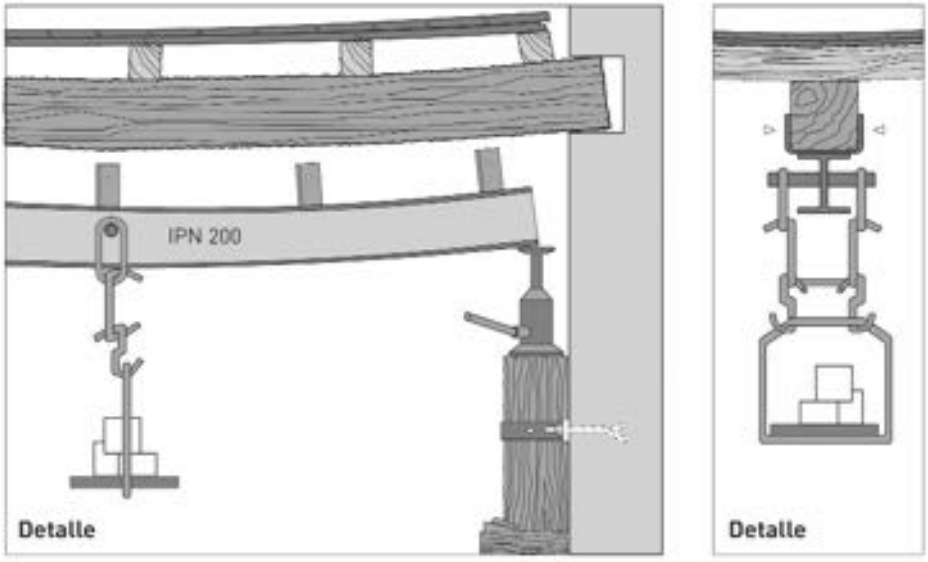
E. OTRAS ACTUACIONES

Un alternativa a los sistemas de refuerzo y sustitución hasta ahora vistos es la modificación del sistema de apoyo, que permite aprovechar la parte de la pieza en buen estado. Recogemos aquí algunos de los elementos posibles:

- **MODILLÓN**. Se trata de un elemento de piedra, madera o hierro, con un extremo encastrado en el muro y otro en voladizo sobre el que se asienta la viga.







1. Se coloca el perfil debajo de la viga a recuperar.
2. Se deforma el perfil controladamente mediante la adición de peso.
3. Se eleva el perfil deformado con gatos mecánicos o hidráulicos y se "cose" a la pieza de madera mediante uniones regulares.
4. Se libera de peso el perfil y éste recupera su forma arrastrando a la viga de madera flechada. Nótese que el perfil no colabora en la descarga de esfuerzos de la viga a menos que se le provea un apoyo.

Técnica tradicional de recuperación de flecha de una viga de madera mediante la adición de un perfil metálico. Como muchas técnicas tradicionales los resultados nunca alcanzan el 100% de eficacia.

- **TORNAPUNTA**. Pieza de madera o de metal que soporta la viga a una determinada distancia del apoyo y transmite la carga oblicuamente a la pared.

- **VIGA PAREDERA.** Es una viga adosada al muro sobre la cual se sustentan las vigas del forjado. Si es de madera, se apoya generalmente sobre modillones y si es metálica mediante tacos químicos.

- **FLEJE ENCASTRADO**. Se trata de un fleje de acero que se coloca bajo la viga, sujeto al muro de apoyo y conectado en su parte exterior a la viga mediante tornillos. Existen diversas variantes, como son los angulares de acero, el perfil en U a cada lado de la viga o las pletinas verticales fijadas con pasadores o con resinas epoxi.

INCREMENTO DEL GRADO DE ENCASTRAMIENTO

El grado de encastramiento de las piezas de madera en el muro acostumbra a ser pequeño. Incrementarlo, es decir, forzar a la viga a trabajar en negativos, permite reducir los momentos positivos y, por lo tanto, aumentar la capacidad portante. La técnica consiste en dar continuidad a las vigas enfrentadas a través de los muros interiores y convertir las cabezas de viga de los muros de fachada en tirantes. Ello produce una mejora en el comportamiento del sistema estructural, sobre todo a efectos de posibles solicitaciones horizontales. Con el incremento de la capacidad de carga, se reduce también la flecha. Antes de realizar este tipo de operaciones, es necesario realizar la descarga del forjado, apuntalar y recuperar la deformación a flexión existente.

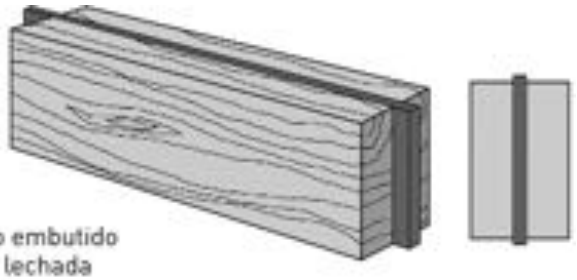
REPARACIÓN DE GRIETAS

La madera casi siempre presenta grietas de mayor o menor profundidad. En algunas ocasiones, su situación y magnitud produce una reducción significativa de la capacidad portante del elemento y exige un trabajo de recuperación de las características de origen:

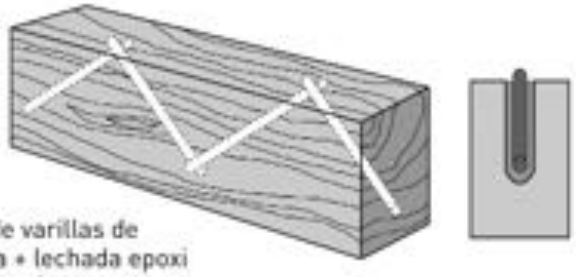
- **MEDIANTE ABRAZADERAS**. Técnica sencilla y bastante efectiva que devuelve la unidad de trabajo a la pieza y que consiste en distribuir varios collares de acero o hierro forjado a lo largo de la viga, unidos mediante un sistema de roscado que permita presionar las dos caras. Existen varias versiones de este mismo sistema.

- **PASADORES ROSCADOS.** Variante de la anterior, en la cual se sitúan dos flejes paralelos a la dirección de la grieta, en ambas caras opuestas de la viga, unidos entre sí por medio de unos pasadores que se perforan en la viga. Se pueden distribuir varios pasadores a lo largo de la viga agrietada.

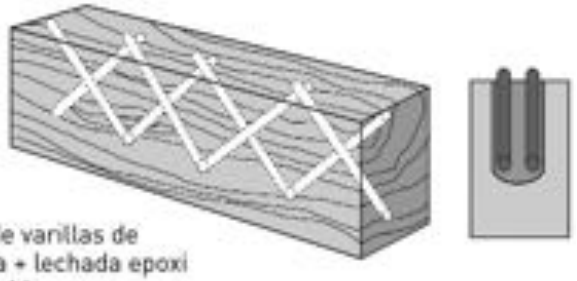
- **COSIDO CON BARRAS**. Consiste en realizar diversas perforaciones en la viga, que atraviesen la grieta envarios sentidos, introduciendo unas barras de acero inoxidable o de poliéster en las perforaciones e inyectando resinas que, en su fase de endurecimiento, unen las barras a la madera.



Sándwich o embutido de chapa + lechada fluida epoxi.



Inserción de varillas de vitrorresina + lechada epoxi en malla simple.



Inserción de varillas de vitrorresina + lechada epoxi en malla doble.

Técnicas actuales de recuperación de elementos estructurales de madera con insuficiencia mecánica.

FORJADOS CON VIGAS METÁLICAS

El uso de estructuras de acero tiene, en España, un carácter casi tradicional. Excluyendo los materiales clásicos, como la madera, la piedra o el ladrillo, podría decirse que el acero es el material más veterano.

En un proceso patológico, el acero ofrece, frente al hormigón, un refuerzo más fácil y rápido. Pero, por contra, se corroe con mayor facilidad y es también más frecuente que aparezcan cantos en vigas.

En general, al tratarse de estructuras menos rígidas que las de hormigón, la aparición de fisuras en tabiquería y cerramientos es más acusada.

También su comportamiento frente el fuego es peor que el del hormigón, pudiendo llevar a la estructura hasta el colapso si resulta afectado un soporte de planta baja.

Las normativas actuales exigen que se protejan con materiales ignífugos los elementos estructurales de acero, lo cual encarece notablemente este tipo de construcciones.

A la hora de plantear una actuación en forjados de acero, será necesaria, como en cualquier otro caso, una inspección preliminar de la estructura, que dé paso a un plan de actuación detallado.

Este proceso comporta una primera inspección visual de los sistemas de unión (para determinar si se trata de soldaduras, uniones roblonadas o atornilladas), del esquema estructural y de sus posibles defectos.

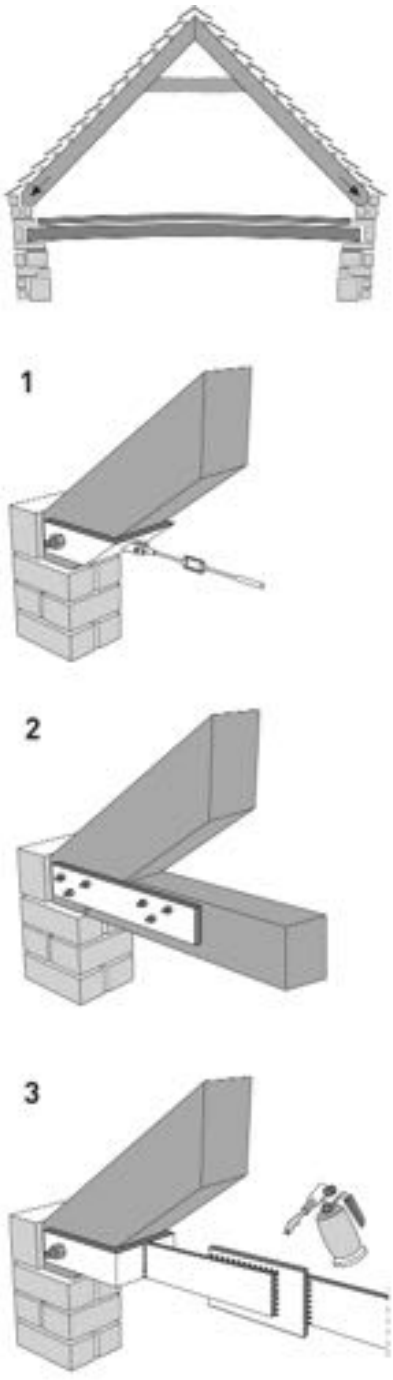
Se prestará atención a las deformaciones que presenten los elementos que componen la estructura: flechas, desplomes, daños en los cerramientos y en los acabados. En estructuras horizontales de edificación, construidas como vigas continuas, las máximas flechas se manifiestan siempre en los vanos extremos.

En general, una cinta métrica y un nivel de burbuja son suficientes para detectar defectos graves.

Puede considerarse la conveniencia de efectuar una toma de muestras y de realizar diferentes tipos de ensayos, ya se trate de ensayos no destructivos (de soldaduras, comprobación de pérdidas de espesor, ensayos de carga, etc.) o de ensayos destructivos.

Las pruebas de carga a rotura pueden ser necesarias en este tipo de forjados, ya que permiten esclarecer cuáles son sus condiciones reales de resistencia. De todos modos, pueden evitarse los destrozos que produce una prueba de este tipo si existe la posibilidad de desarrollar teóricamente el cálculo, a condición de que se conozcan tres datos básicos: el material, su resistencia y la sección portante del elemento.

Si tras el recálculo se extrae la conclusión de que el forjado puede soportar con seguridad los esfuerzos a que está sometido, es conveniente desechar cualquier tipo de actuación.



Soluciones constructivas para contrarrestar el empuje horizontal de las vigas en una cubierta inclinada. Ł
1. tirante de varilla o cable
2. tirante de madera
3. tirante de planchuelas metálicas.

En general, hacer una reparación antes de que sea necesaria aún acorta más la vida útil general del edificio. Deberán tomarse una serie de medidas preventivas, como el sometimiento periódico de la estructura a controles o bien la limitación de las condiciones de uso si el forjado se halla en el límite de la resistencia a las solicitaciones normales.

En todo caso, se han de reparar las deficiencias observadas, para evitar que los procesos de degradación se agraven en el futuro. Y se ha de impedir forzar la estructura más de lo admisible:

- **EVITAR LOS EXCESOS DE CARGA**, sobre todo de tipo puntual.

- **EVITAR LAS VIBRACIONES.**

- **VIGILAR LA SITUACIÓN DE CARGAS IMPORTANTES EN LOS FORJADOS** en lo que respecta al sentido del envigado. No es lo mismo una carga encima de una sola vigueta que repartida entre unas cuantas.

- **EVITAR HUMEDADES EN LAS CABEZAS DE VIGAS** y, por lo tanto, vigilar posibles filtraciones en fachadas, así como las humedades producidas por falta de estanquidad de las cubiertas.

En edificaciones de gran altura de reciente construcción, los forjados, donde existe una capa de compresión con armadura continua, son generalmente suficientes para el arriostramiento en planos horizontales. Sin embargo, debe prestarse atención a los edificios antiguos o a las cubiertas ligeras o de naves industriales.

Si, tras el plan de inspección, se decide llevar a cabo actuaciones sobre el forjado, estaremos habitualmente ante uno de estos casos, que repasaremos con detenimiento más adelante:

- **SUSTITUCIÓN FÍSICA DEL ELEMENTO.**
- **REFUERZO DEL ELEMENTO O SUSTITUCIÓN FUNCIONAL.**
- **TRATAMIENTO DEL ELEMENTO.**

A. FALLOS DEBIDOS A LA CORROSIÓN DEL MATERIAL

La corrosión que afecta al acero ocasiona una destrucción o deterioro de sus propiedades, bien como consecuencia de una reacción química (debida a un ataque producido por reacciones química en el medio ambiente); bien como efecto de una corrosión electroquímica (provocada por la aparición de corrientes eléctricas entre dos zonas del metal que tienen potenciales diferentes).

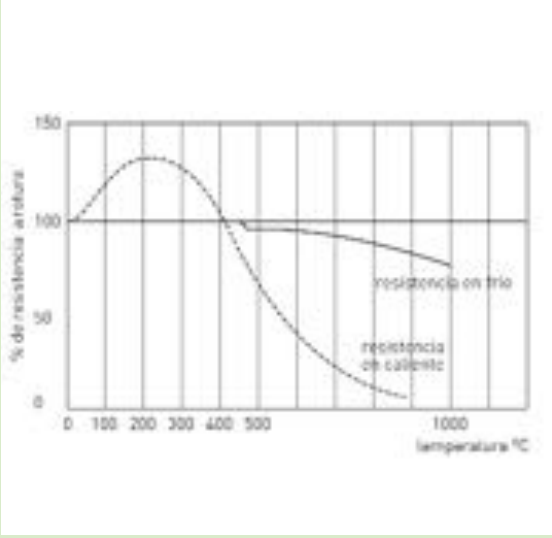
El proceso se acelera en ambientes agresivos, dado que la humedad depositada en las superficies metálicas es electrolíticamente más potente.

Sea cual sea el proceso de corrosión, ésta se convierte siempre en una disminución progresiva de la sección resistente de los elementos estructurales, que puede llegar hasta la perforación o la rotura de las viguetas, en el caso de los forjados.

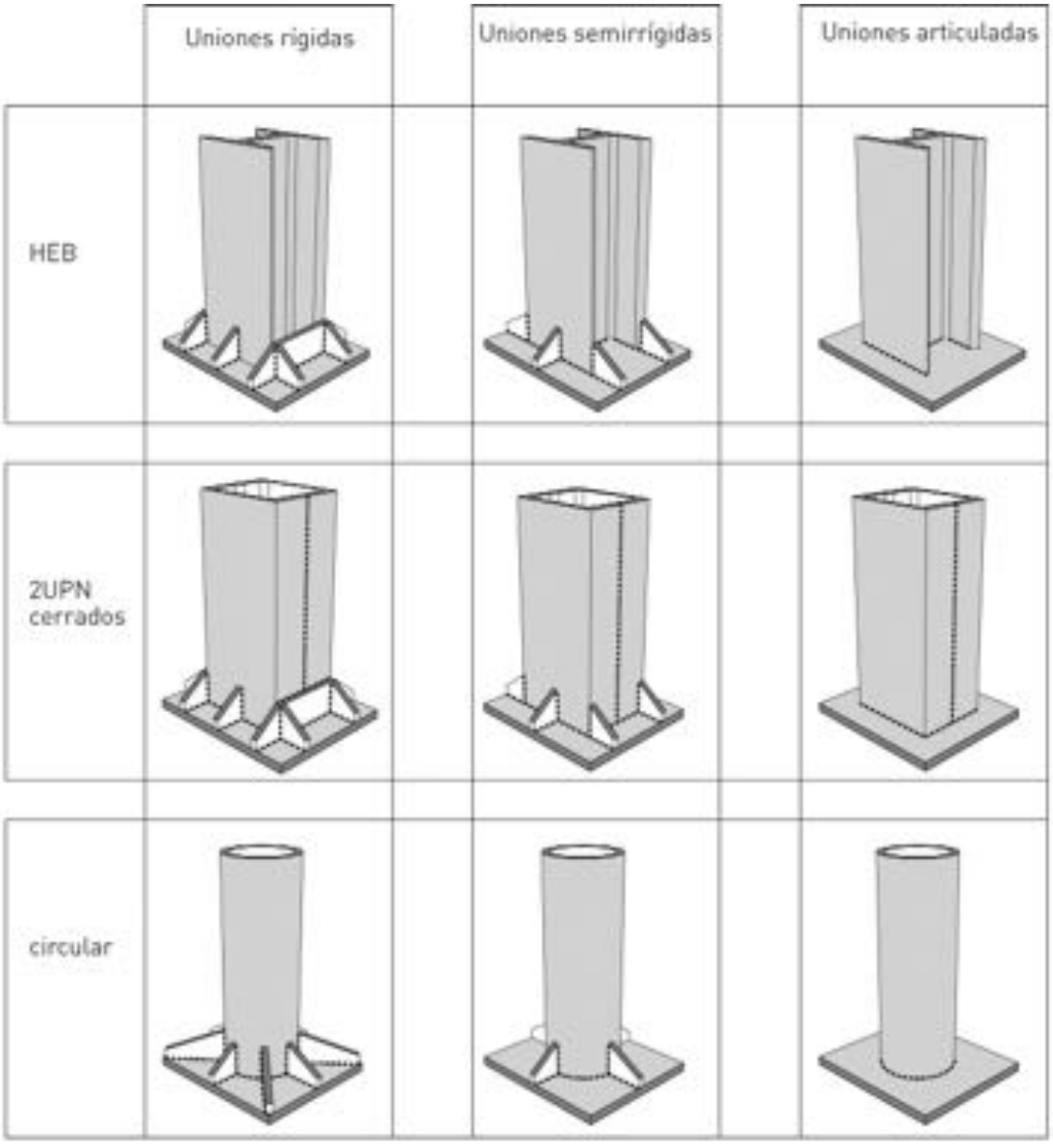
Los óxidos ocupan un volumen hasta diez veces superior al del material sano inicial a partir del cual se forman. Ello puede provocar el abombamiento de las piezas e incluso la rotura de las uniones. Afortunadamente, al ser la corrosión del acero un fenómeno superficial, tenemos la certeza de que el resto del material se encuentra en perfectas condiciones.

La primera acción que debe llevarse a cabo ante un problema de corrosión en forjados es la búsqueda de la causa de ésta, generalmente en zonas cercanas a baños, cocinas, bajantes, etc. Y la eliminación de tal causa, impidiendo que la corrosión siga atacando a la pieza dañada. Para ello, habrá que sellar las posibles vías de entrada de agua o de humedad con algún material idóneo, como es la silicona.

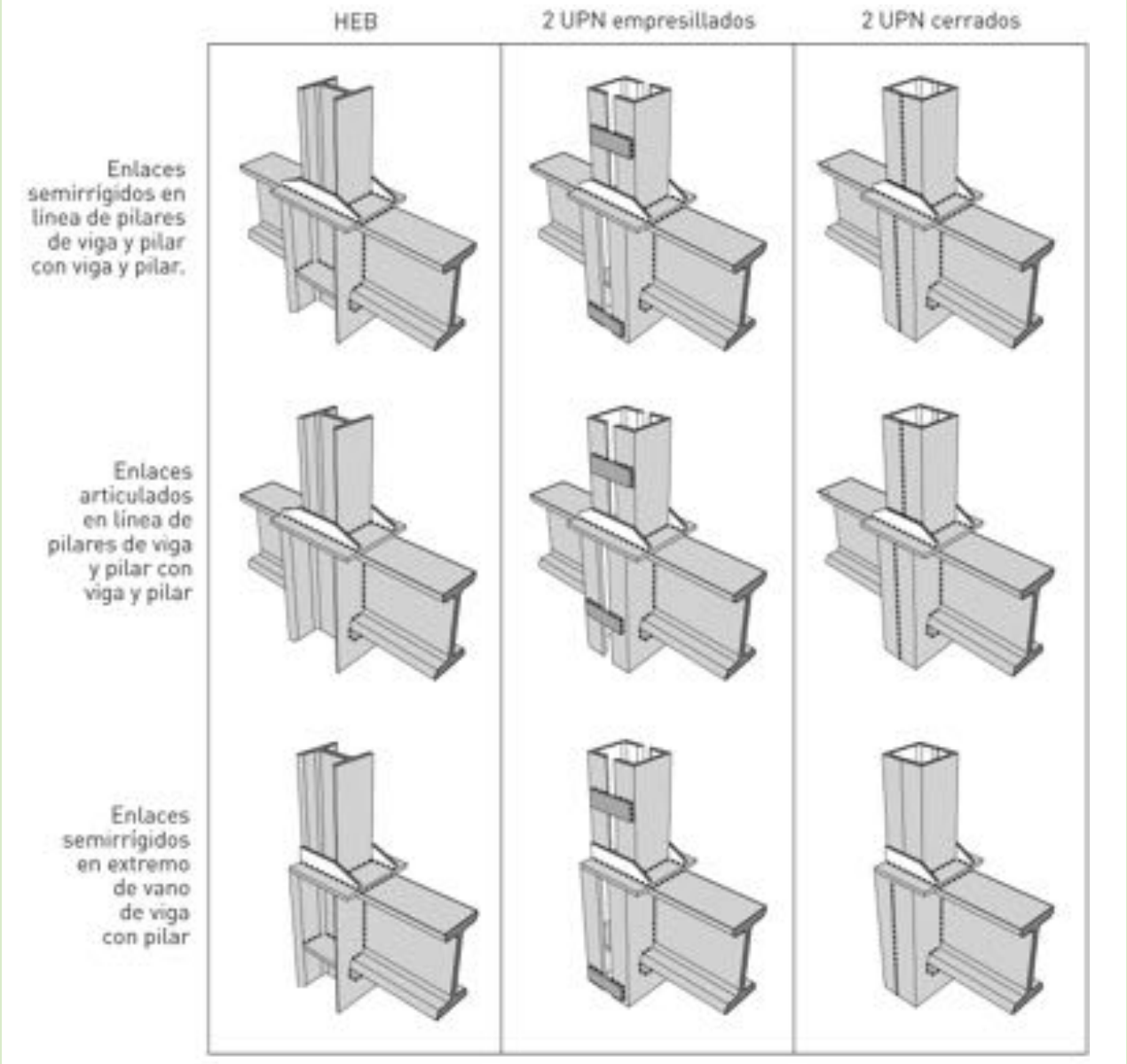
Seguidamente, se debe proceder a la limpieza de la zona corroída, mediante chorro de arena o un cepillado eficaz y la aplicación de un decapante común. Ello permitirá conocer el alcance del problema y cuál es el grado de pérdida de sección del elemento afectado, dado que el enorme aumento de volumen que produce la corrosión puede hacer esperar daños mayores.



Influencia de la temperatura sobre la resistencia a rotura del acero.



Detalles constructivos para el arranque de pilares metálicos según el grado de rigidez de la unión.



Nudos de encuentro entre pilares y vigas metálicos de distintos tipos y grados de rigidez.

El siguiente paso es restaurar la primitiva capacidad portante del forjado, disminuida en mayor o menor grado, reconstituyendo la sección dañada con el mismo tipo de acero. En casos leves, bastará con soldar chapas de refuerzo a las alas deterioradas, estudiando antes la soldabilidad del material a reforzar.

Al terminar la operación, se protegerá el elemento con pintura anticorrosiva, evitando que las superficies que queden pueden favorecer la condensación y disponiendo las superficies de modo que éstas queden accesibles, para facilitar el mantenimiento posterior.

También es conveniente prever una ventilación para evitar humedades permanentes.

Más difícil de detectar y corregir son las corrosiones de las almas, ocultas por las bovedillas. Un lugar en donde aparecen con cierta frecuencia es en los extremos de las piezas, precisamente la zona más solicitada a cortante.

Si este caso se presenta en muchas de las viguetas, puede ser conveniente por más económico pensar en una sustitución total del forjado, bien eliminando el existente o bien construyendo otro nuevo sobre él que lo libere totalmente de su función resistente, solución obligatoria cuando el valor artístico del antiguo es apreciable.





Dos casos de arriostramiento metálico de fachadas. Los forjados y muros interiores han sido quitados por una operación de reciclado del edificio y, por lo tanto, el muro portante exterior ha perdido paret de su rigidez.

En uniones roblonadas con grandes separaciones entre roblones, es frecuente que se presenten problemas de corrosión, con la formación de gruesas capas de óxido entre los diferentes palastros o piezas que componen una sección.

El aumento de volumen de los óxidos separa los palastros o piezas, rompiendo por tracción los roblones.

Ante una patología de estas características, es necesario sustituir los roblones rotos o que hayan sufrido un alargamiento excesivo por tornillos de alta resistencia. En general, si el óxido formado no está suelto, no será imprescindible eliminarlo.

Hay que tener en cuenta que si se elimina habrá de someterse a las piezas a fuertes deformaciones locales para poderlas volver a poner en contacto.



Las cruces que se ven en esta medianera corresponden a tensores metálicos insertos en los forjados para aumentar la rigidez del conjunto edilicio. Esta operación denota la fatiga de la estructura original.

En todas estas actuaciones de saneamiento de elementos dañados por la corrosión, es preciso extremar la prudencia, no dudando en apear cualquiera de ellos si su resistencia ofrece dudas.

B. FALLOS DEBIDOS A LESIONES MECÁNICAS

Los forjados de tipo metálico presentan comúnmente dos tipos de lesiones de origen mecánico: de flecha o de tensión excesiva.

Ambos proceden, en realidad, de un solo problema: la inadecuación de la estructura frente a un estado límite. En esencia, también las soluciones son dos: aumentar la capacidad resistente del forjado o disminuir la magnitud de las solicitaciones a las que éste se ve sometido.

El proyecto de refuerzo de un forjado metálico viene generalmente determinado por una de estas dos causas:

- **AUMENTO DE LOS VALORES DE LAS CARGAS A LAS QUE PUEDE ESTAR SOMETIDA LA ESTRUCTURA**, debido a una variación en el uso del edificio.

- **DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA** por degradación de ésta con el paso de los años, accidentes, o existencia de defectos de proyecto o ejecución.

Si se opta por una disminución de la magnitud de las solicitaciones para hacer frente al problema, de modo provisional y para hacer frente a una intervención de urgencia, puede llevarse a cabo un apuntalamiento de la viga, aplicable a todas las piezas solicitadas a flexión.

En general, ante un aumento de sobrecarga, se procederá bien incrementando las dimensiones resistente de la viga, bien disminuyendo la magnitud de los esfuerzos que la solicitan.

Por ejemplo, si hay un elemento en que la sección más desfavorable se encuentra en el límite de su capacidad resistente, se puede a proceder a aumentar el área de la sección, o sea, sus características geométricas (inercia, módulo resistente de la pieza, radio de giro, etc). O bien a reducir la luz de la pieza y la magnitud de las solicitaciones.

No obstante, ha de considerarse esta segunda solución con reservas, ya que en el caso de esfuerzo axial de tracción la luz no influye y, en el caso de esfuerzo cortante producido por una fuerza puntual, la reducción de la luz puede llegar a producir incluso un aumento del mismo esfuerzo.

En general, si la estructura lo permite, el procedimiento más recomendable económicamente es la reducción de la luz de los elementos. La colocación de vigas transversales es una intervención factible y económica en el caso del refuerzo de grandes superficies donde la altura de la planta lo permite. En naves industriales, almacenes y locales en planta baja se trata de una de las soluciones más utilizadas.

De todos modos, la reducción de la luz de los forjados es en muchas ocasiones difícil de aplicar, porque en los proyectos originales ya se ha adoptó la luz más pequeña posible.

En los edificios construidos a principios de siglo, los forjados de viguetas metálicas se apoyaban directamente sobre los muros. Por ello, es necesario comprobar que las tensiones transmitidas a la obra son admisibles.

La limitación de la flecha admisible en un forjado responde a dos razones: evitar fallos en elementos no resistentes (puertas, ventanas, tabiques, etc) y amortiguar el efecto de vibración o ***CIMBREO*** que se produce al caminar sobre forjados poco rígidos.

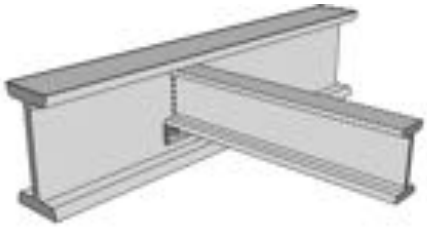
En España, la norma española MV 103 es, en este aspecto, bastante restrictiva, al disponer el cálculo de las flechas a partir de las cargas características totales, incluyendo concarga más sobrecargas.

No obstante, el estado límite de servicio sigue estando poco definido, porque afecta a criterios como el confort de los usuarios o la duración del edificio y puede variar entre amplios límites.

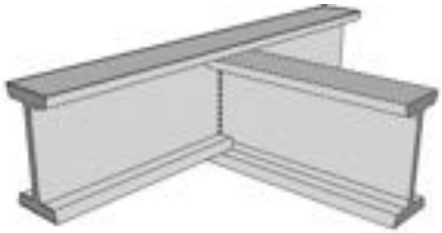
Las normas vigentes prescriben que se debe comprobar el forjado para los estados límites últimos. Esta comprobación no debe limitarse a los valores numéricos, sino que debe abarcar también las disposiciones constructivas y demás recomendaciones.



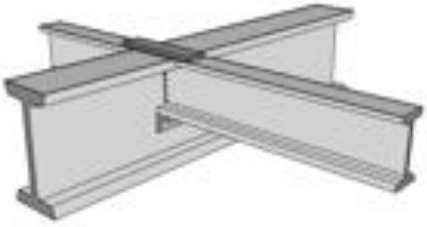
Viguetas metálicas corroidas junto a escape de humos de la cocina.



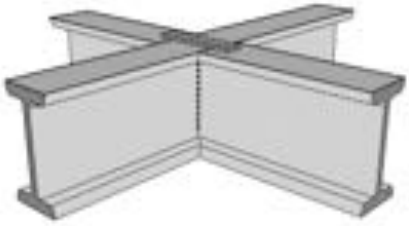
Entre vigas metálicas de distinto canto



Entre vigas metálicas del mismo canto



Continuidad entre vigas metálicas de distinto canto



Continuidad entre vigas metálicas de distinto canto con torsión



Empalme a tope de vigas metálicas



Empalme a tope de pilares metálicos

Uniones típicas de piezas metálicas. El tipo y la calidad de las soldaduras son fundamentales para evitar futuros fallos del conjunto estructural.

$$p = \frac{R}{a.b} \leq t\ adm$$

$$t\ adm = \frac{tc}{c}$$

p = tensión al muro, que ha de ser menor o igual que la admisible

R = reacción de la vigueta sobre la pared en kp

a = dimensión de la longitud de apoyo en cm.

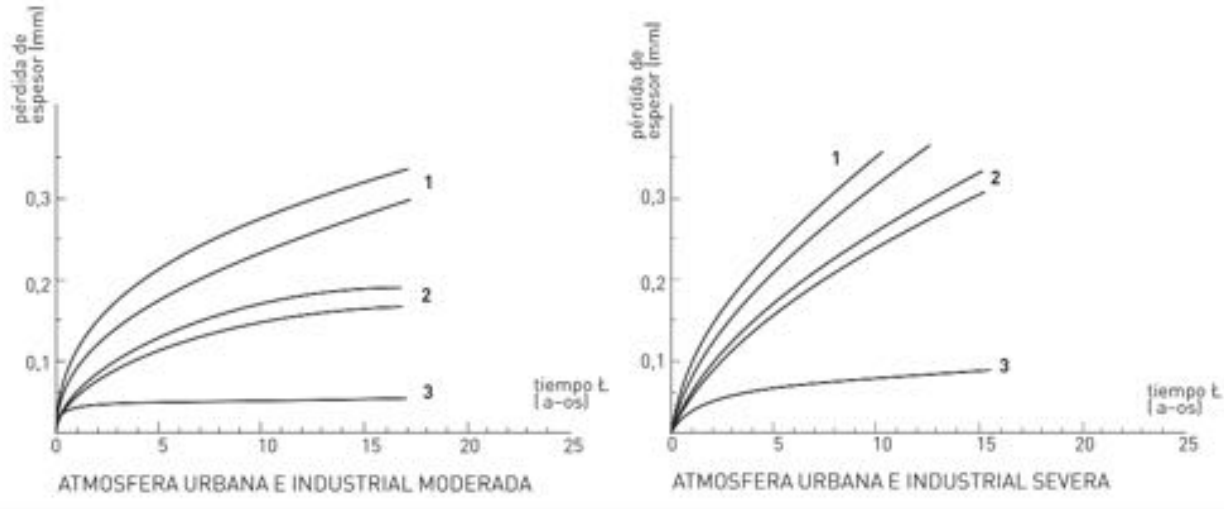
b = dimensión de la anchura de apoyo en cm.

t adm = tensión admisible

tc = tensión de cálculo de la obra de fábrica

c = coeficiente de seguridad (1,65)

CÁLCULO DE LA PRESIÓN SOBRE LA OBRA DE FÁBRICA



1. Aceros estructurales al carbono. **2.** Aceros estructurales de baja aleación Cu **3.** Acero resistente a la corrosión.

Diagramas de curvas de comportamiento de diferentes aceros a la corrosión.

Dentro del estado límite de estabilidad, no es preciso efectuar la comprobación de pandeo lateral en las estructuras de edificios, porque la cabeza comprimida suele estar arriostrada por el forjado. No obstante, puede darse el caso de que el forjado no sujete adecuadamente el ala comprimida.

En los edificios construidos en España entre principios del siglo XX y los años sesenta se emplearon aceros con límites elásticos relativamente bajos, del orden de 2.400 kp/cm^2, calculado habitualmente de forma que la tensión normal bajo cargas de servicio fuese siempre inferior a 1.200 kp/cm^2.

Las cargas que deben soportar estas estructuras tras su rehabilitación son actuales. Y, por lo tanto, deben ser evaluadas y mayoradas de acuerdo a las normas vigentes (MV 101 y MV 103). No lo son, en cambio, los aceros, por lo que parece prudente emplear un grado de seguridad al menos equivalente en el proyecto original del edificio.

C. DEFECTOS EN LAS UNIONES

En la mayor parte de los forjados de vigas metálicas, éstas se apoyan en muros de obra de fábrica. Cuando ello no es así, las uniones se convierten en uno de los puntos más delicados en el proyecto y ejecución de la estructura. Dado que su misión es dar continuidad al elemento estructural que no puede ser construido en una pieza o frente al cual no caben otras soluciones, los enlaces son fundamentales para la estabilidad y la seguridad de la estructura, materializando las hipótesis efectuadas en los cálculos.

Una inspección detallada será necesaria ante cualquier tipo de inspección que se lleve a cabo. Ello puede suponer la necesidad de efectuar demoliciones locales de elementos de albañilería y acabado.

Distinguiremos tres tipos de defectos atribuibles a los enlaces, según el tipo de unión.

EN UNIONES SOLDADAS, es preciso obtener datos sobre la calidad de la soldadura, teniendo en cuenta criterios como las uniones sometidas a fatiga; uniones a tope en vigas; y uniones de chapas gruesas (g>30 mm).

La norma NBE-MV-104-1996 clasifica del siguiente modo los posibles defectos consecuentes de una soldadura:

- **DEFECTOS INTERNOS**: falta de penetración, grietas, inclusiones, poros.
- **DEFECTOS SUPERFICIALES**: mordeduras, desbordamientos, picaduras, cráteres.

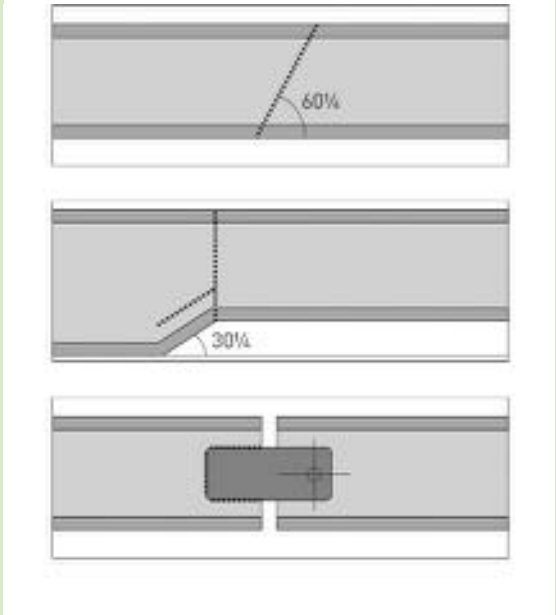
A la hora de interpretar los resultados de una inspección de la soldadura se ha de disponer de criterios acerca de su aceptabilidad, teniendo en cuenta el tipo de lesión y cómo ésta puede afectar a la seguridad de la estructura.

En general, si la soldadura presenta una forma regular en cada una de sus tres dimensiones y es esférica o redondeada, con cierta porosidad y permitiendo inclusiones gaseosas, es aceptable siempre que su dimensión no sea muy grande ni que su presencia no sea muy numerosa.

Si se trata de una soldadura de forma irregular en una de sus tres dimensiones, con inclusiones de escoria, sólo es aceptable en algunos casos.

Si la forma es irregular en dos de sus dimensiones, con presencia de grietas y faltas de fusión y de penetración, la soldadura no es aceptable en ningún caso.

En el caso de que se hayan de reforzar uniones soldadas, lo habitual es aumentar la longitud del cordón o el grosor del cuello de soldadura, teniendo en cuenta las limitaciones que establecen las normas MV 103-72 y MV 104-66.



Detalles de unión entre parteluces metálicos.

En cuanto al uso de la soldadura en actuaciones de refuerzo, en el caso de uniones de viguetas con un soporte también metálico en los extremos se puede efectuar el refuerzo aumentando el canto del alma por debajo del ala inferior y uniéndola al soporte mediante una ménsula.

Es posible también aumentar el cordón de soldadura, variando el comportamiento de la unión (de articulación a semiencastramiento), siempre que el elemento de soporte lo permita.

En los cordones de soldadura a tope, de penetración total, el refuerzo no tiene sentido, ya que el problema recae en la incapacidad de la propia pieza donde está el cordón.

En algunos casos, cuando las uniones son muy accesibles, puede tener alguna ventaja realizar el refuerzo del nudo mediante tornillos de alta resistencia y evitar de este modo el uso aparatoso de los instrumentos necesarios para hacer la soldadura a la obra.

EN UNIONES ROBLONADAS, el ensayo acústico, que consiste en golpear la cabeza del roblón con un pequeño martillo de bola, permite detectar por el sonido defectos de ajuste.

Si se concluye la necesidad de efectuar un refuerzo de las uniones, un método simple es sustituir los roblones por tornillos de alta resistencia con el mismo diámetro (si el aumento de carga puede ser absorbido por el material base y por los tornillos de alta resistencia) o de diámetro superior (si esta carga es superior a la admisible). En este segundo caso, puede también aumentarse el número de tornillos, siempre que se cumplan las normas referentes a separación entre agujeros.

Si no se apea la estructura para descargar la unión mientras duran las operaciones de refuerzo, por lo menos ha de tomarse la precaución de efectuarlo de manera escalonada, de modo que en todo momento la unión pueda transmitir los esfuerzos existentes.

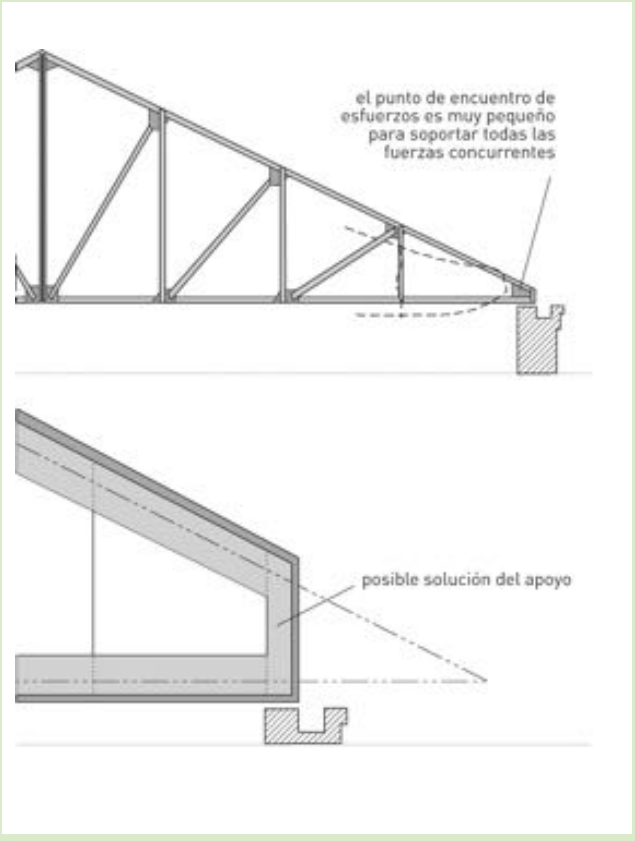
EN UNIONES ATORNILLADAS, es fundamental comprobar que todos los tornillos están correctamente ajustados. Para los de alta resistencia, la comprobación puede hacerse con una llave dinamométrica, igual a la que se usa en el momento de colocarlos y que mide el esfuerzo a torsión aplicado a la hembra.

En este caso, ajustando el dinamómetro para un esfuerzo inferior al de proyecto e intentando apretar de nuevo los tornillos, la llave no debería ser capaz de apretarlos.

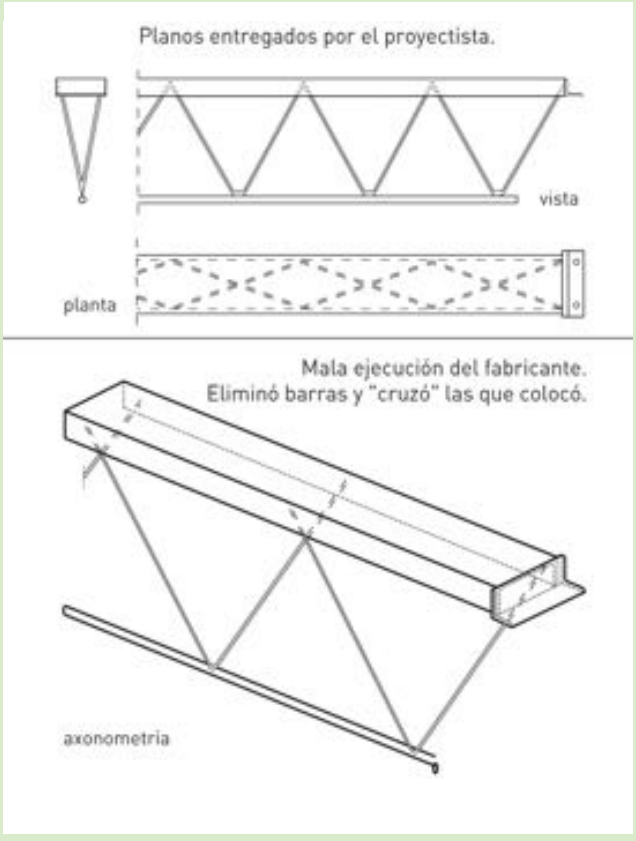
Como en el caso de uniones roblonadas, puede procederse a sustituir los tornillos ordinarios por modelos de alta resistencia, siendo aplicables las mismas consideraciones que en el caso anterior.

Se puede también reforzar la unión roblonada o atornillada mediante cordones de soldadura, siempre que se trata de acero soldable.

En este caso, los enlaces originales resisten las cargas aplicadas en el momento del refuerzo, mientras que las cargas posteriores se transmiten a la unión mediante la soldadura.



La concentración de esfuerzos en la punta es muy grande y causa de la deformación indicada. Esto produce un momento flector que las pequeñas piezas angulares no son capaces de resistir.



Mala ejecución de una correa reticulada por mala interpretación de los planos constructivos.

D. REFUERZO DEL FORJADO

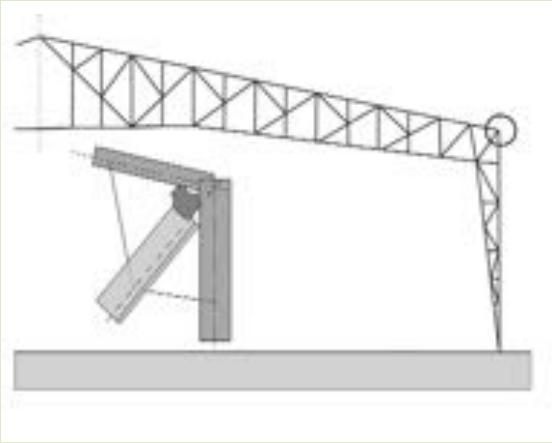
El acero, ampliamente utilizado en el refuerzo de todo tipo de forjados, ya sean éstos de hormigón, cerámicos o de madera, es evidentemente el material más usado en el refuerzo de forjados metálicos

Aparte de su gran versatilidad y su elevada resistencia, la posibilidad de reforzar con el mismo material constituye sin duda una ventaja adicional.

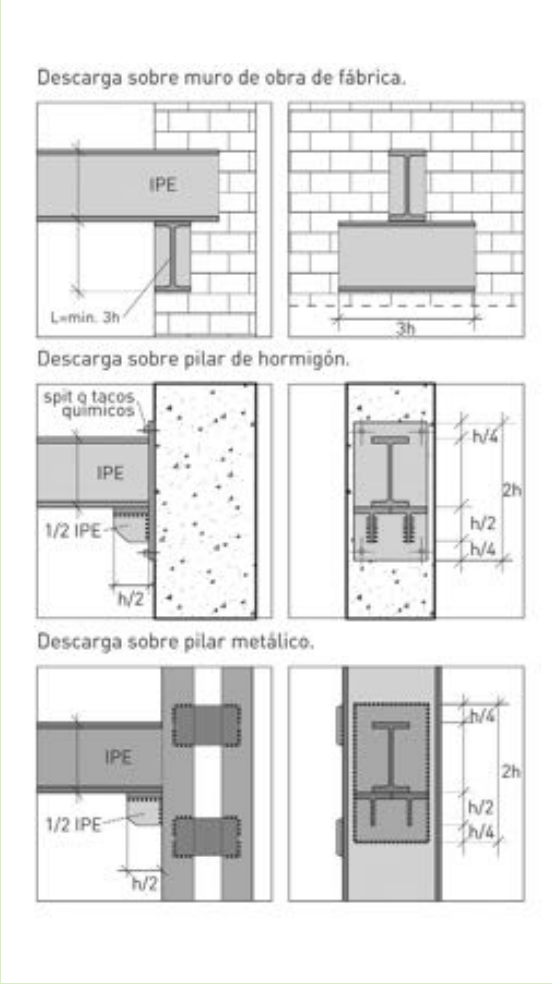
Durante la ejecución del refuerzo se tendrá un cuidado especial de no producir en la estructura o en sus elementos debilitamientos que puedan conducir a su rotura, como puede ser la retirada de roblones o tornillos de una unión y la de platabandas de una viga.

En el caso de emplear soldadura hay que tener un cuidado especial de no calentar excesivamente las piezas, ya que la resistencia del acero disminuye con la temperatura y, si la carga permanente es suficientemente elevada, se puede producir el colapso de la pieza.

Las vigas constan de un elemento solicitado predominantemente a momentos flectores, las alas; y de un elemento que resiste el esfuerzo cortante, las almas. En caso de refuerzo y dependiendo de la importancia del incremento de uno u otro esfuerzo, será preciso aumentar la sección de las alas, la de las almas o ambas.



Detalle de una mala ejecución del nudo de una cercha metálica.

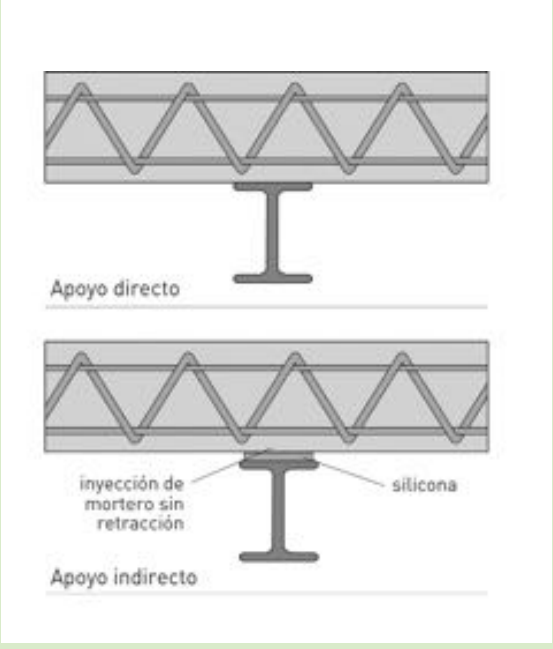


Detalles constructivos de un correcto apoyo de cargaderos metálicos. Una buena solución constructiva es primordial para evitar futuros problemas.

REFUERZO DE LAS ALAS

Para el refuerzo de alas en vigas de forjados, se procede a colocar una platabanda soldada en ambas alas, calculando su longitud teórica "L" según el esfuerzo más una longitud a cada lado, del orden de la anchura de la chapa, que tendrá como misión el anclaje con el perfil existente.

En caso necesario, puede sustituirse esta platabanda por medio perfil en H o I. Si en la parte superior del forjado existen pavimentos o cualquier otro elemento que haga inaccesible la vigueta por su ala superior, frecuente en edificación, se puede proceder a colocar una platabanda a cada lado de las alas, por su parte inferior, bien paralelamente horizontalmente a éstas, bien en ángulo de 45º, apoyadas sobre el alma de la viga. Si el aumento de carga es pequeño o el deterioro de la pieza por corrosión no es muy acusado, puede bastar con la colocación de la platabanda inferior.



Detalle constructivo de apoyo entre forjado y viga metálica. Abajo se muestra la solución preferible ya que la silicona preserva el metal de la humedad del mortero.

Con este método, se aumenta la inercia en la cantidad necesaria para resolver problemas de flecha o vibración y se incrementa a la vez la resistencia en la zona de momentos positivos. Si la pieza es biapoyada o si, siendo continua, el problema es de flechas y no de tensiones, no es preciso que el refuerzo llegue hasta los apoyos. En general, bastará con que su longitud sea igual a los 3/4 de la luz del tramo correspondiente.

En piezas continuas con problemas de tensiones, los puntos más desfavorables serán, con casi total seguridad, los apoyos. En este caso, deberemos reforzar precisamente la zona contigua a los mismos (1/5 de la luz a cada lado del apoyo).

Debe tenerse en cuenta que es difícil aumentar el módulo resistente mínimo del perfil en más de un 20 % si se refuerza mediante chapas dispuestas en un sólo lado del mismo. Este tipo de aumenta con facilidad la inercia, pero sólo en bastante menor proporción el módulo resistente correspondiente a la zona no reforzada. En caso necesario, habrá que recurrir al refuerzo con perfiles o cartabones.

Si el refuerzo se realiza por deformación de la pieza, la solución es añadir un perfil, generalmente en T, para aumentar la rigidez.

Otra posibilidad es la sustitución de alguno de los elementos de la sección por otro de mayor área, siempre que la sección restante sea capaz de resistir las cargas existentes en el momento de efectuar esta operación o se haya apeado previamente la viga.

En cualquier caso, deberá estudiarse la soldabilidad del acero que constituye la pieza a reforzar. Un análisis químico y un ensayo de dureza son imprescindibles para evaluarla. Si el acero no es soldable, el refuerzo se solidarizará a la pieza mediante tornillos, lo que complica el refuerzo del ala superior.

CONVERSIÓN DEL FORJADO METÁLICO EN MIXTO

Otro procedimiento para reforzar forjados con viguetas de acero, aplicables cuando no hay inconveniente en actuar en la cara superior del mismo, consiste en convertir el forjado en mixto mediante la adición de una losa de hormigón conectada a dicha cara.

Esta operación precisa eliminar las bovedillas, colocando los conectores entre las viguetas de forjado y hormigonando el conjunto. La mejora en las características mecánicas que se consigue es considerable, por lo que se recomienda especialmente cuando ha habido un aumento en la sobrecarga de uso.

REFUERZO DE LAS ALMAS

En el caso de que lo que se haya de reforzar sean las almas a esfuerzo cortante, el medio más común es el de adosar chapas del espesor necesario. Lo ideal es disponer dos chapas, una a cada lado del alma, de forma que se siga conservando el plano de simetría. Pero es más cómodo colocar un sola chapa de espesor doble porque, de esta forma, sólo hay que acceder a la viga por un solo lado, lo que puede ser fundamental en muchos casos y además reduce a la mitad la longitud de los cordones de soldadura.

En el caso de que el material no sea soldable, es preciso que las dos caras del alma sean accesibles para introducir los tornillos, por lo que ya no hay ningún motivo para preferir el refuerzo con una sola chapa.

Otra solución es convertir la viga de doble T, en una cajón con dos o tres almas, según se coloque una o dos chapas a cada lado. Esta solución tiene el inconveniente de que las uniones de apoyos pueden ser difíciles, ya que tapa las almas de los perfiles originales. Si las almas resisten el esfuerzo cortante, pero su esbeltez es excesiva, el refuerzo se puede efectuar aumentando su espesor o colocando rigidizadores, preferentemente por un solo lado.

La combinación de algunos de los métodos citados permite reforzar simultáneamente las alas y el alma de la viga.

REFUERZO DE LA SECCIÓN POR MEDIO DE OTRO PERFIL

Se trata de un refuerzo económico y muy eficaz, si la funcionalidad de la estructura lo permite. Consiste en aumentar el canto de la viga mediante un perfil T obtenido a partir de otro perfil en doble T. Si no fuese soldable, se ha de utilizar perfiles en doble T para poder realizar la unión atornillada.

Si el perfil no se puede colocar en el canto, puede situarse otra vigueta al lado de la ya existente, o bien una a cada lado, a fin de conservar el plan de actuación de la carga, que sustituya funcionalmente todas o parte de las prestaciones de la vigueta existente. En este caso, se ha de comprobar que el conjunto sea capaz de resistir el incremento de la carga y que las viguetas tengan una rigidez similar entre ellas y suficiente entre todas para absorber la flecha.

FORJADOS CON VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO

Las estructuras de hormigón, armado y pretensado, y las estructuras reticulares han sido y son ampliamente utilizadas en la construcción de forjados. Su ventajoso costo de ejecución y de conservación frente a las estructuras metálicas no es la única ventaja.

Además, este tipo de forjados ofrece más monolitismo y mayor rigidez al elemento, reduciéndose con ello el número de fisuras por flechas. Al poder quedar embebidas las vigas en el forjado, se consigue un efecto más estético y un trabajo más solidario de éste con el resto de la estructura, algo que resulta esencial frente a empujes horizontales en sentido transversal al pórtico.

Por último, pese a que la corrosión es una patología habitual en los forjados de hormigón, lo cierto es que su frecuencia de aparición es mayor en los metálicos.

El principal inconveniente de los forjados de hormigón es el empleo de grandes medios auxiliares para la ejecución, que hace más lenta la construcción de este tipo de estructuras y que dificulta, del mismo modo, las posteriores actuaciones de refuerzo.

Además, el material puede causar graves problemas, al obtenerse de menor resistencia.

Cronológicamente, las lesiones en este tipo de forjados pueden manifestarse durante el hormigonado de la losa, en la fase de fraguado, en la fase de endurecimiento, en la puesta en carga o en periodos posteriores.

El principal síntoma es la fisuración, aunque también aparecen con frecuencia deformaciones excesivas, oxidación en las armaduras y roturas localizadas, sobre todo en estructuras de hormigón pretensado.

Mientras que la fisuración es un síntoma de rápida aparición, la corrosión de las armaduras y los ataques al hormigón empiezan a manifestarse a partir de dos primeros años de vida del edificio, aunque no es hasta los 5 años cuando los síntomas se dejan sentir claramente.

Ante la detección de la existencia de una lesión, el primer paso debe ser el análisis de las causas, a través de la valiosa información que proporcionan las señales externas. La cuantificación de los deterioros debe referirse al conjunto de las lesiones y características del forjado: fisuras, desplomes, cambios de ángulos, fallos de nivelación, flechas, geometría básica de la estructura, etc.

Resulta necesario conocer las características del hormigón, en particular las mecánicas. Para ello, se habrán de realizar una serie de ensayos, que pueden ser destructivos (extracción y ensayos de probetas) o no destructivos (ondas electromagnéticas, técnicas de ultrasonidos y sonidos, esclerómetros, potenciostatos, medidores de pH).

Algunos autores recomiendan el empleo simultáneo de ambos y nunca el uso aislado de los no destructivos.

El acero de las armaduras también debe ser ensayado, al menos para conocer su límite elástico. En función de las circunstancias, puede considerarse la necesidad de realizar análisis químicos de los materiales y medir potenciales eléctricos.

Una estimación de la resistencia residual del forjado es un factor imprescindible para tomar decisiones respecto no sólo a la necesidad de intervenir sino a la urgencia con que debe hacerse.

No se trata, sin embargo, de un cálculo fácil. Una aproximación a la valoración real de la resistencia residual necesita tener en cuenta factores tales como el tipo de solicitación a que ha estado sometido el elemento estructural; las características del hormigón armado antes de su puesta en servicio y sus características actuales; la porosidad del hormigón; el grado de conversión de su componentes primarios; la corrosión de las armaduras; la presencia de carbonatación o de hidrólisis álcali-carbónica.

La resistencia residual del hormigón, tanto de cemento Pórtland como de cemento de alúmina (aluminoso), es el resultado de la suma escalar de varias de estas magnitudes, incluyendo la energía ultrasónica residual que le queda a la vigueta, la velocidad de propagación residual y la resistencia residual a compresión o flexión.

Existen básicamente tres sistemas de medida. Los procedimientos analíticos se basan en la aplicación de los métodos de cálculo normales, introduciendo las variaciones producidas por la patología (dimensionales, resistentes, de carga, etc). Los métodos empíricos, cuyo grado de precisión es inferior, se emplean en caso de que no sean posibles o recomendables los anteriores.

Por último, las pruebas de carga a cuasi rotura permiten analizar la seguridad de la estructura en elementos sometidos básicamente a flexión, cuando se desechan los demás métodos. La prueba de carga es un ensayo destinado a determinar la seguridad, aplicando al forjado unas cantidades y situaciones de carga que permitan reproducir las solicitaciones deseadas (momento flector, cortante, etc.).

Pueden seguirse los criterios establecidos por la norma ACI 318-77, según la cual “la parte de estructura seleccionada para el ensayo se someterá a una carga total, incluido el peso propio de los elementos existentes sobre la misma, equivalente a 0,85 (1,4D + 1,7L)”. Siendo “D” las cargas muertas y “L” las de utilización. Esto equivale a la materialización del 85 % de la carga mayorada.

Una alternativa son los denominados ensayos hasta la situación de servicio, que suelen aplicar una carga menor a los ensayos a cuasi rotura, con relaciones que pueden ir de 250 Kp/m^2 a 437 Kp/m^2.

En ambos casos, deben extremarse las medidas de seguridad mediante el apeo de la estructura, con el requerimiento de que éste no afecte a los resultados.

El parámetro fundamental a tener en cuenta en los resultados de estas pruebas es la flecha vertical residual y su relación con la flecha máxima alcanzada. Las deformaciones son medidas en diversos puntos, antes de proceder a la descarga y, nuevamente, a la medida de las deformaciones.

La prueba se considera satisfactoria si el elemento ensayado ha soportado las acciones sin fisuraciones inadmisibles, con flechas máximas admisibles y recuperando sensiblemente la situación inicial.

A. FALLOS DEBIDOS A ALTERACIONES DEL MATERIAL

Las alteraciones del material provocan lesiones que aparecen a corto o largo plazo y que se manifiestan fundamentalmente por fisuras, desprendimientos y desagregaciones en la losa.

1. Eliminación del solado existente, dejando al descubierto el ala superior de las viguetas. El forjado (bovedillas, capa de compresión y relleno de senos) debe dejarse en su lugar para servir de encofrado a la nueva losa. La capa de hormigón ha de tener el mismo grosor que el techo.

2. Soldadura de los conectores a dicha ala superior y colocación de la armadura necesaria. Dado que la separación entre viguetas es pequeña (de 50 a 80 cm), no es necesario colocar mucha armadura. Los conectores pueden ser pernos tipo Nelson solados a pistola o trozos cortos de UPN80 ó L80.8, soldados manualmente.

3. Sopandado de las viguetas, no obligatorio pero sí conveniente. Evita que las viguetas tengan que soportar todas las cargas permanentes, con lo que seguramente no se conseguiría ninguna ventaja con el refuerzo. Con dos apoyos intermedios a los tercios de la luz de cada vigueta es más que suficiente para eliminar este problema . Debe estudiarse con detalle el efectos que estas sopandas pueden causar en el forjado sobre el que se apoyen.

4. Extendido de la losa de hormigón y curado de la misma. Puede aprovecharse parte del tiempo de curado para colocar el nuevo solado. El espesor recomendado de la losa es de 10 a 15 cm. No se requiere un hormigón de alta resistencia. Es suficiente 200 kp/cm^2.

5. Retirada de las sopandas.

REFUERZO DE UN FORJADO MEDIANTE ADICIÓN DE UNA LOSA DE HORMIGÓN. PROCESO

LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

Es difícil encontrar en España estructuras de hormigón armado con más de 30 años de exposición a la intemperie que no hayan iniciado en algún grado un proceso de degradación de la armadura.

Nos hallamos pues ante una de las lesiones más comunes en este tipo de forjados, sobre todo si se trata de obras situadas en la proximidad del mar o en atmósferas salinas.

El proceso se presenta cuando el recubrimiento de las armaduras es insuficiente para protegerlas de las agresiones exteriores.

El acero se ve expuesto a un ambiente ácido que provoca la corrosión y la creación de óxido expansivo y que genera un incremento del volumen de la armadura que puede ser de hasta diez veces su diámetro original. Ello provoca tracciones internas que, inicialmente, se manifiestan en una fisuración del hormigón, siguiendo las líneas de las armaduras principales e incluso de los cercos o estribos, frecuentemente con proximidad a los vértices y con los labios de la fisura en distintos planos.

En ocasiones, aparecen manchas de óxido en los bordes de las fisuras que ayudan a identificar el fenómeno causante. Las nuevas fisuras facilitan la entrada de los agentes agresivos presentes en la atmósfera (anhídridos sulfurosos, vapores de la combustión de carburantes, etc.), acelerando el proceso y provocando finalmente el desprendimiento de los recubrimientos de hormigón, la disgregación del material y la disminución de la sección de las armaduras.

Cuando la corrosión surge a lo largo de toda la barra, se producirá una rotura por falta de adherencia. Normalmente, aunque la armadura llegase a quedar totalmente descubierta, siempre estaría anclada en sus extremos a los pilares.

Sin embargo, en viguetas, al no disponer de anclaje la armadura, la rotura es más rápida. La corrosión a lo largo de todo el elemento se produce en vigas en las que se ha prescindido de los separadores, que permiten un adecuado recubrimiento de las barras.

En ausencia de protección, los estribos se sitúan muy cerca de la superficie y el enyesado de los techos favorece la corrosión de las barras. Si la corrosión se produce en un fragmento corto de la armadura, la rotura se produce a tracción y de forma instantánea, como consecuencia de la falta de sección.

Los daños producidos en un forjado que ha sido atacado por agentes corrosivos son siempre progresivos y, en ocasiones, difíciles de cortar. Su grado de avance puede determinarse en función de la extensión en el área afectada: corrosión por picaduras, corrosión localizada o corrosión generalizada.

Tan importante como actuar rápidamente en caso de detectar este fallo es intentar limitar su aparición y progresión. La presencia elevada de poros en el hormigón y de fisuras que no se han sellado o rellenado convenientemente, así como el poco espesor en el recubrimiento de las armaduras son defectos que aceleran el proceso de oxidación.

Según el Comité Europeo del Hormigón, en atmósferas no agresivas y siempre que el recubrimiento de hormigón de la armadura supere el espesor carbonatado, no hay riesgos de oxidación para anchos de fisuras inferiores a 0,2 mm. En atmósferas marinas o industriales, bastan anchos de 0,1 mm para que se inicie el proceso de oxidación. El espesor de recubrimiento de las barras de armado ha de superar siempre los 2 mm.

El empleo de cementos de bajo contenido en cal y de cementos puzolánicos y siderúrgicos, así como los recubrimientos gruesos y el hormigón compacto, son las mejores protecciones contra la corrosión. Los procesos de carbonatación, producidos como consecuencia de la penetración del anhídrido carbónico contenido en el aire a través de las aberturas capilares del hormigón, avanzan con tanta mayor rapidez cuanto menor sea la densidad del hormigón y la agresividad exterior del medio ambiente más alta.

En condiciones favorables, la carbonatación sólo alcanza una profundidad de 3 mm al cabo de 30 años. En cambio, en condiciones adversas puede llegar a 20 mm o más en tan sólo diez años.

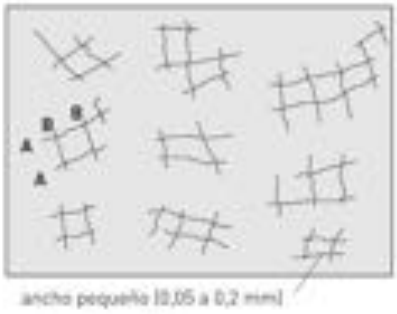
En el capítulo correspondiente a los pilares de hormigón armado, hemos tratado ampliamente los temas de protección de las armaduras, así como los procesos de relleno de fisuras mediante inyección de resina epoxi y de saneado de un hormigón ampliamente afectado. Trataremos aquí más brevemente algunos procedimientos referidos de forma específica a los forjados. En todo caso, debe procederse a la eliminación de la causa que provoca la corrosión y, dependiendo del avance de la lesión, a la amputación de los miembros dañados y la sustitución de éstos por otros resistentes al medio.

Fisuración de una losa por retracción plástica del material.



Características de las fisuras
Aparición desde una a seis horas de vertido el hormigón.
Con frecuencia, las direcciones predominantes coinciden con la menor cuantía de armadura, dirección del viento durante la puesta en obra, variación del espesor, etc.ª.
Causas de las fisuras
Evaporación muy rápida del agua en la superficie.
Velocidad lenta de exudación.
Exceso de relación **A/C**.
Exceso de finos en la arena.
Cemento inadecuado.
Empleo incorrecto de retardadores.
Hormigonado con altas temperaturas ambientes y/o viento.
Curado incorrecto.

Fisuración de una losa por retracción hidráulica.



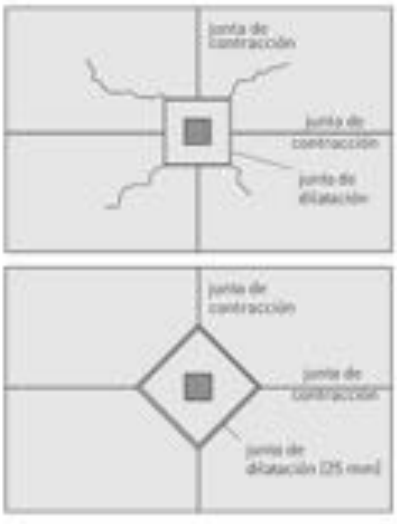
Características de las fisuras
Aparición algunas semanas o meses después del endurecimiento del hormigón.
Si no hay una orientación preferente por cuantía alta de armaduras, su presencia es anárquica.
Una vez aparecida una fisura como **A**, las tensiones en esa dirección en esa zona quedan liberados y las de la dirección ortogonal tienen tendencia a producir otra perpendicular como **B**.
Por eso, esta fisuración recuerda la piel de cocodrilo.
Causas de las fisuras
Exceso de finos en la arena.
Cuantías mínimas insuficientes.
Curado escaso.

Fisuración por ataque de sulfatos.



Características de las fisuras
Fisuras de distribución aleatoria.
Frecuentemente aparecen depósitos blancos en los bordes de la fisura.ª.
Causas de las fisuras
Son debidas a la reacción del ión sulfato con algunos componentes del cemento (aluminatos, calcio, etc.)

Fisuraciones próximas a un pilar.



Características de las fisuras
Fisuras diagonales arrancando de las zonas de esquina del pilar.
Longitud 0,3 a 1m.
Ancho variable.ª.
Causas de las fisuras
La causa es la disposición errónea de la junta, que deja al pavimento con ángulos entrantes. La solución correcta se indica en la figura inferior.

Esquemas de fisuración de losas de hormigón armado.

Ante una corrosión muy avanzada, en la que el daño procede del interior, es decir, de la propia deficiencia del material, y en la que resulta imposible la demolición, es aconsejable prescindir de la resistencia de la viga, creando vigas laterales de hormigón.

Se procede rompiendo las bovedillas en contacto con las vigas para ampliar sus dimensiones, colocando la armadura y los estribos necesarios y hormigonando posteriormente. Este sistema, que puede realizarse en el interior de edificaciones, tiene la ventaja de aumentar la rigidez y resistencia a cortante de la viga.

Por supuesto, siempre habrá que apuntalar los elementos necesarios y tratar de frenar la agresión en la viga original por medio de tratamientos.

Una alternativa, en el caso de no tener acceso a la viga por la parte superior, es colocar dos perfiles metálicos en doble T a ambos lados de la viga cuya contribución resistente se desea suplantar, apoyados sobre ménsulas que se forman mediante collarines y pernos sujetos al pilar de hormigón con resina epoxi.

Cuando la causa de la corrosión es exterior y, a pesar de que la armadura es muy deficiente, el hormigón se halla en buen estado, tras limpiar la armadura corroída pueden incorporarse en la parte inferior de la viga estribos en forma de horquilla y nueva armadura positiva, anclando ésta unos 5 cm en los soportes verticales. Se aplicará resina epoxi antes de hormigonar. Con esta solución se consigue aumentar el canto de la viga y prescindir de la armadura existente, en los casos en que resulta imposible aumentar la sección por la parte superior o por sus laterales.

Si la viga no es de cuelgue, sino plana, los estribos en forma de horquilla han de sujetarse a la viga por la parte inferior en vez de por sus laterales y, para el vertido de hormigón, hay que abrir huecos en el forjado que permitan introducirlo.

RETRACCIÓN HIDRÁULICA DEL HORMIGÓN

La retracción o contracción de volumen por pérdida de agua es un fenómeno consustancial al hormigón cuando éste se halla en fase de fraguado o principio de endurecimiento, es decir, en estado plástico.

Las fisuras denominadas de retracción hidráulica aparecen en los forjados durante el fraguado cuando el hormigón se ve imposibilitado de deformarse, debido a que se encuentra coaccionado por vigas o pilares.

Es frecuente encontrar este fenómeno en edificios altos donde los pilares y vigas de planta baja muestran una gran rigidez y se ha hormigonado en época calurosa o en las horas de mayor sol.

Una desecación superficial prematura, las variaciones de temperatura interna y las vibraciones provocadas por herramientas y máquinas utilizadas en la obra favorecen la aparición de este tipo de fisuras.

La retracción hidráulica se presenta con mayor frecuencia en vigas extremas o con escasa armadura de montaje y suelen ubicarse donde termina la armadura positiva o negativa.

En forjados muy armados en los que las propias armaduras son las que coaccionan los movimientos de la pieza, la fisuración por retracción suele afectar solamente a los recubrimientos, pudiendo dar lugar a desprendimientos locales. Las superficies, más ricas en pasta, son también más propensas a la retracción.

Para evitar o reducir este tipo de lesiones, es aconsejable hormigonar el forjado en dos etapas, evitando siempre la colocación de armaduras cortas. Si, a pesar de todo, surgen fisuras por retracción, hay que esperar como mínimo 90 días desde el hormigonado, tiempo durante el cual el hormigón ha experimentado aproximadamente un 75 % de su retracción, antes de proceder al sellado con resina epoxi.

Durante la fase de endurecimiento, terminado el fraguado, son los fenómenos de tipo reológico los que provocan la contracción de las losas que, de estar coartadas por elementos más rígidos, producen una serie de esfuerzos que derivan en fisuración. La gran superficie de los forjados y su escasa resistencia inicial los hace muy sensibles a este tipo de esfuerzos.

Las fisuras de retracción pueden ser también debidas a deficiencias en la homogeneidad del hormigón, mala dosificación, empleo de hormigones superpuestos de diferentes características, etc. El vibrado excesivo de un hormigón plástico provoca la segregación del material. Los elementos más gruesos y pesados se desplazarán hacia el fondo, mientras que la pasta, más rica en cemento, se quedará en la superficie.

El resultado es una fisuración superficial producida como consecuencia de la heterogeneidad del hormigón y de la segregación de los áridos.

Si se trata de vigas mixtas, es muy frecuente la aparición de fisuras de retracción en el hormigón si no se emplean hormigones de débil retracción y elevada resistencia a tracción, relaciones agua/cemento bajas o si el curado no se hace adecuadamente.

Características generales de las fisuras de retracción hidráulica:

- **SE TRATA DE FISURAS ESTABILIZADAS,** que se detienen cuando desaparecen las causas que las producen.
- **APARECEN EN CUALQUIER MOMENTO**, incluso a las pocas horas de concluido el hormigonado de la losa.
- **LA FISURA ATRAVESARÁ EL ÁRIDO**, si la adherencia pasta-árido es mayor que la resistencia a la tracción de éste.
- **LAS FISURAS EN ELEMENTOS RECTILÍNEOS ESTRUCTURALES** son limpias, rectas, de espesor constante y perpendiculares al eje de la pieza, aunque buscando las zonas de menor resistencia.
- **EN ELEMENTOS POCO ARMADOS O EN HORMIGÓN EN MASA**, las fisuras aparecen distanciadas y son de gran espesor (grietas).
- **SI HAY VARIOS ELEMENTOS IDÉNTICOS**, las fisuras aparecen sólo en los que están en ambiente seco o soleado o bajo condiciones meteorológicas adversas (viento).
- **LA DISPOSICIÓN DE LAS FISURAS ES VARIABLE SEGÚN SE TRATE DE UNA LOSA ALIGERADA O MACIZA**. En el primer caso, aparecen en líneas paralelas y coinciden con la parte más débil de la losa, es decir, la clave de las bovedillas. En el caso de losas macizas, las fisuras suelen coincidir con las armaduras de negativos y con las de reparto.

El peligro de fisuración por retracción puede evitarse y limitarse aplicando una serie de medidas preventivas durante el proceso de ejecución que relacionamos seguidamente:

- **PROTEGIENDO EL HORMIGÓN EN SUS EDADES TEMPRANAS** para evitar la pérdida de agua y manteniendo húmedas las superficies durante los primeros tres, siete o quince días, según se haya empleado un cemento Pórtland P-450, P-350 o un cemento de endurecimiento lento, respectivamente. Estos plazos de curado deben aumentarse en un 50 % en tiempo seco.

- **SI LA ARMADURA ESTÁ EXPUESTA AL SOL O ES ÉPOCA CALUROSA**, debe regarse abundantemente para enfriarla antes de hormigonar.

- **EL HORMIGONADO DEBE REALIZARSE PREFERIBLEMENTE A ÚLTIMA HORA DE LA TARDE**, para que el fraguado inicial se produzca de madrugada. Esta precaución es más necesaria en vigas de grandes luces y en elementos de poco espesor.

- **ES CONVENIENTE LA UTILIZACIÓN DE ARMADURAS DE PEQUEÑOS DIÁMETROS Y DE MALLAS ELECTROSOLDADAS EN FORMA DE ARMADURAS DE PIEL**. Las telas de arpillera deben empaparse de agua continuamente, pues de lo contrario invierten su función, ayudando a evaporar el agua del hormigón.

- **UNA DOSIFICACIÓN ADECUADA**, tanto de la relación agua/cemento como del árido grueso, evita la formación de fisuras de retracción. No conviene emplear cementos de gran finura de molida ni amasadas ricas en finos.

FISURAS DE RETRACCIÓN TÉRMICA

Las variaciones de temperatura ambiente provocan una modificación de las dimensiones de los elementos construidos con hormigón armado, con una magnitud de 10-15 mm por cada grado de temperatura. De este modo, las vigas y viguetas de forjados aumentan de volumen cuando se produce un incremento de la temperatura y disminuyen cuando ésta desciende. Esto, que podría parecer alarmante, se atenúa gracias a la velocidad con que, en realidad, se dejan sentir estos cambios. El orden de magnitud de las variaciones dimensionales es de unos 10^{-5} mm por cada grado de temperatura. A 10 cm de profundidad, una variación de la temperatura en 10 ºC sólo afecta al hormigón en 1 ºC al cabo de una hora y a 35 cm de profundidad tarda 12 horas en dejarse sentir. De ello, se deduce que las variaciones de temperatura que realmente afectan al hormigón son las estacionales, es decir, las que se presentan en ciclos largos.

Si el hormigón no puede resistir la deformación y las tensiones adicionales que origina el cambio de temperatura, al hallarse coartado por vigas, nervios o muros, se producirán las denominadas fisuras de retracción térmica. Estas aparecen sobre todo en losas de gran longitud cuando no se ha previsto la construcción de juntas de dilatación que limiten las deformaciones inducidas por los cambios térmicos o éstas se han realizado de manera incorrecta.

La única diferencia con las fisuras debidas a pérdida de agua es que las de retracción térmica se asocian a coacciones externas, ejercidas por la propia estructura; y no internas, de los elementos del hormigón. En ocasiones, el efecto térmico tiene su origen en el paso de conducciones de agua caliente y chimeneas próximas o en contacto con el propio forjado, que suponen un peligro para los elementos estructurales.

FISURAS DE AFOGARADO

Con frecuencia aparecen en forjados fisuras superficiales que dibujan formas caprichosas, que no siguen líneas determinadas, sino que se ramifican, presentan sinuosidades, adaptándose al contorno de los áridos que han de atravesar, y se cortan unas a otras.

Se trata de las fisuras de afogarado, que raramente alcanzan profundidades superiores a los 10 cm. Su aparición se vincula a un secado superficial enérgico, ocurrido entre una y diez horas después del hormigonado, sin haber concluido la fase de fraguado.

Este fenómeno está directamente relacionado con la temperatura ambiente, el viento seco, una alta dosificación del cemento, la proporción de finos en el hormigón, la relación agua/cemento y la categoría de éste. Se presenta con mayor frecuencia en hormigones de poco espesor y en grandes superficies horizontales.

En los forjados, en los que se alternan partes delgadas con otras más gruesas que corresponden a los nervios, las fisuras presentan mayor profundidad en las primeras.

En ocasiones, la concentración de fisuras es tal que aparecen formando verdaderos nidos sobre la superficie afectada. Ello es debido a una concentración localizada de la pasta de cemento, que es sometida a un secado más rápido que el del resto del material.

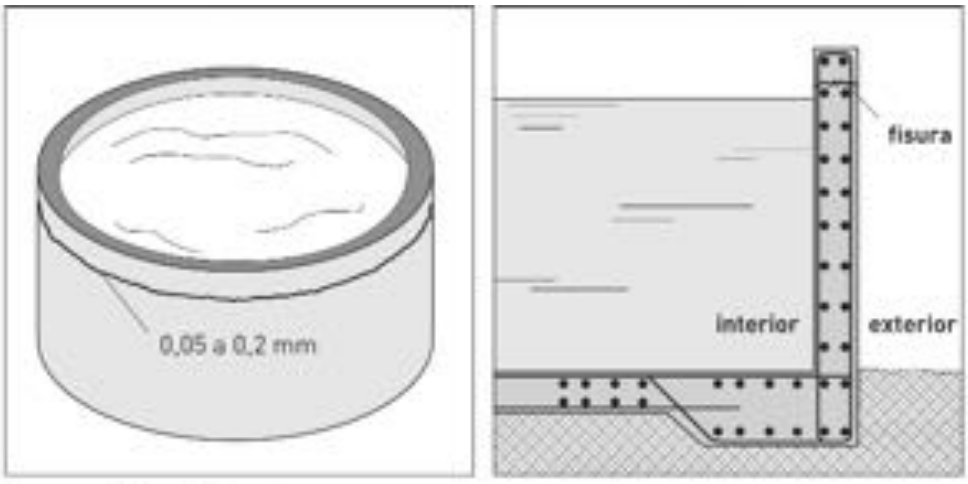
DEGRADACIÓN DEL HORMIGÓN

Los ataques por cloruros, la reacción álcalis-áridos, la carbonatación y los ataques por piritas causan una degradación del hormigón y la aparición de corrosión en las armaduras de los forjados. Si existen cloruros entre los componentes del hormigón, ésta puede iniciarse incluso con un pH alto, por encima de 9, debido a que sus iones hacen que el agua se convierta en un buen conductor de la electricidad. El cloruro sódico puede estar presente en el hormigón a través de los áridos o el agua de amasado o puede penetrar en él a través de los poros. Su peligrosidad, que se manifiesta a partir del 0,1 %, reside en la propiedad de destruir de forma puntual la capa pasivante, provocando la corrosión por picaduras y pudiendo llegar a causar la rotura puntual de la armadura.

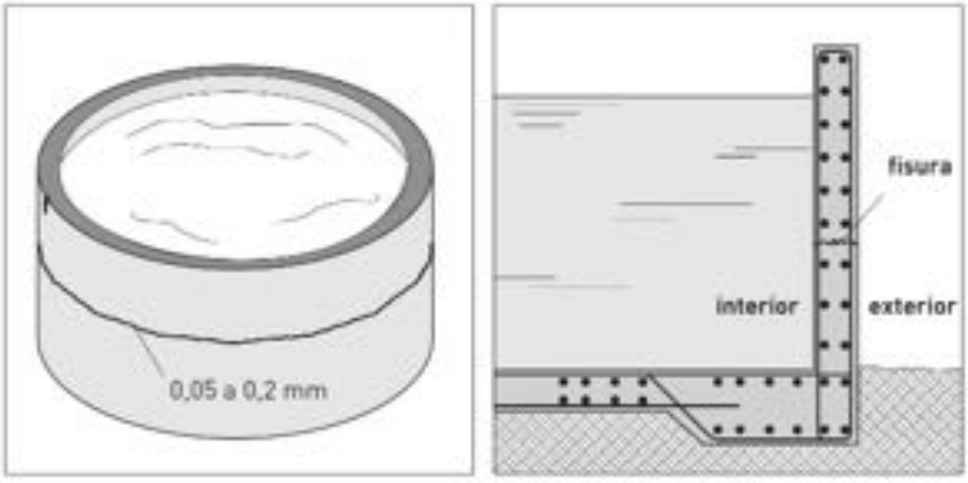
ALUMINOSIS

Con este término se denomina a todos aquellos procesos de degradación típicos de hormigones fabricados con cemento de alúmina, también denominado de bauxita. En realidad, en un único concepto se engloban tres fenómenos físico-químicos: la conversión de los cristales hexagonales en cúbicos, la carbonatación y la hidrólisis álcali-carbónica.

El cemento aluminoso fue ampliamente utilizado durante las décadas de los 50 y los 60 para la construcción de viguetas de forjados, sobre todo en Cataluña. Su alta resistencia inicial y su rapidez de fraguado aportaban ventajosas mejoras en el proceso de construcción y concepción de los edificios.



Características de las fisuras
Fisura que recorre generalmente todo el contorno (ancho 0,05 a 0,2 mm).
Aparecen tanto en la superficie interior como en la exterior del depósito. Está situada en el plano del nivel superior de agua, cuando éste se mantiene constante durante mucho tiempo, o ligeramente por encima de él.
Causas de las fisuras
La causa es la retracción diferencial de la zona exterior, relativamente seca, de la zona interior, en estado saturado. Puede agravarse si las armaduras de la superficie interior o exterior no cumplen los mínimos establecidos por retracción por temperatura.

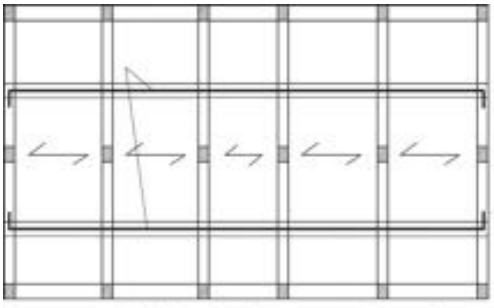


Características de la fisura
Recorre generalmente todo el contorno (ancho 0,05 a 0,2 mm).
Puede aparecer por una o por ambas caras.
Está situada en un nivel de corte de armaduras verticales en el cual se corta simultáneamente un porcentaje muy importante de barras.
Causas de la fisura
La causa es el cambio brusco de espesor real equivalente. Aunque visualmente el espesor del canto es constante o varía linealmente, la variación brusca de armaduras verticales produce una variación brusca de sección e inercia equivalentes. Ello produce un efecto de entalla que localiza los esfuerzos de retracción y de flexión vertical.

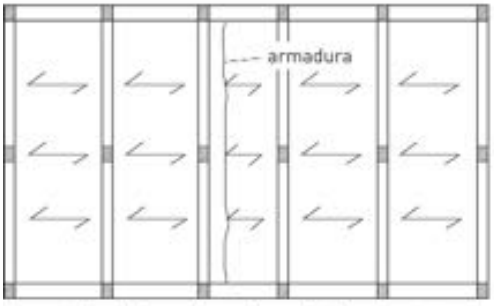
Esquemas de fisuración perimetral en depósitos circulares de agua de hormigón armado.

Sin embargo, no han tardado en manifestarse una serie de inconvenientes que, si bien no son exclusivos de este tipo de material, sí es cierto que se presentan en él con mayor frecuencia: pérdidas de resistencia mecánica, carbonatación del hormigón y corrosión de las armaduras.

Las zonas costeras y las atmósferas húmedas favorecen la aparición de estas lesiones, ante la detección de las cuales no cabe más que proceder con urgencia. Una vigueta fabricada con cemento aluminoso puede perder el 75 % de su capacidad de carga en apenas unos años.



Para que el forjado de viguetas trabaje mejor en los cambios dimensionales, es recomendable incluir una armadura complementaria en la capa de compresión antes de hormigonar.



En este forjado se han fisurado las viguetas de menor luz por retracción térmica pues son las que tienen menos armadura. Estas fisuras surgen en los primeros años y lo hacen en la zona traccionada.

Forjados de viguetas con fisuras debidas a la falta de armadura.

El proceso de diagnóstico adquiere en este caso un papel fundamental, dado que una identificación y actuación rápida puede determinar que sea posible o no alargar la vida útil del edificio. Y es que, en este tipo de forjados, determinados fenómenos y estados patológicos favorecen notablemente la degradación del material.

Es el caso de la humedad ambiental alta, que afecta al hormigón aluminoso en mucho mayor grado de lo que incidiría sobre un hormigón armado o pretensado.

En combinación con temperaturas de más de 20 ºC, una humedad ambiental elevada acelera el proceso de conversión del sistema de cristales, sobre todo en espacios donde no existe impermeabilización o aislamiento. Por ello, el colapso de los forjados construidos con viguetas de cemento aluminoso se produce en un alto porcentaje de casos en las zonas de mayor humedad del edificio: galerías, lavaderos, baños, cocinas, balcones, etc.

La rápida conversión del sistema de cristales hexagonales a cúbicos provoca en el material la pérdida de agua y de densidad, un descenso de las resistencias mecánicas, un aumento de la porosidad y un muy rápido avance de la corrosión de las armaduras, posibilitando el inicio de un proceso de hidrólisis alcalina, con desagregaciones irreversibles del material.

En ambientes secos, con altas temperaturas, el proceso de conversión se produce igualmente, pero con un avance mucho más lento.

El cemento aluminoso es también muy sensible a la reacción con los álcalis, produciéndose ampollas de color claro en la superficie, desconchados en las esquinas e hinchazones. En ocasiones, se utilizó para la construcción de viguetas de forjados una mezcla de cemento de alúmina con cemento Pórtland.

El contacto de ambos facilita, en presencia de agua, el transporte de los álcalis, provocando el inicio de una hidrólisis álcali-carbónica en el cemento aluminoso y de un proceso de desagregación. La proximidad al mar actúa del mismo modo, a causa de las sales sódicas contenidas en el aire.

A la hora de realizar un diagnóstico, ha de tenerse en cuenta que otras disfunciones estructurales presentes en el forjado podrían enmascarar el diagnóstico de su estado. El cálculo de la capacidad portante del forjado no debe desechar completamente la resistencia residual que presenta el cemento aluminoso, incluso si éste se halla totalmente convertido, cuando no presenta otras deficiencias.

En cuanto a los métodos de diagnóstico, a menudo se ha empleado la simple observación a pie de obra. El proceso de conversión del cemento de alúmina se manifiesta normalmente por un cambio progresivo del color de la pasta hacia tonalidades marrones y por discontinuidades de color. La humedad superficial, sin causa aparente, permite detectar una elevada porosidad del material y la retención de agua, fenómenos a menudo indicativos de la presencia de cemento aluminoso en avanzado estado de conversión.

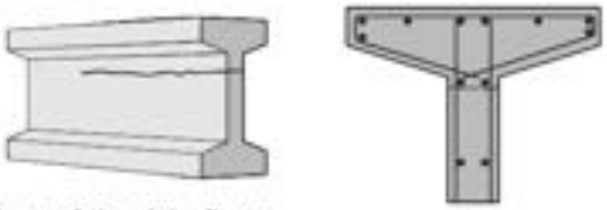
Sin embargo, nunca deben utilizarse solamente este tipo de apreciaciones de carácter preliminar, dado que son susceptibles de inducir a error. Hay que tener en cuenta que el uso de cemento aluminoso mezclado con cemento Pórtland puede variar sensiblemente el color de la pasta, del mismo modo que la presencia de áridos finos o el tipo de encofrado. Además, las tonalidades pueden ser diferentes en la superficie y en el interior de la vigueta.

Hay que optar por sistemas de ensayo, tales como los análisis químicos tradicionales, los rayos X, el análisis térmico diferencial o la espectrocopía de infrarrojos, todos ellos métodos que obligan a acudir a laboratorio. El pachómetro, aparato basado en el principio de interacción entre los campos electromagnéticos y los conductores, permite la detección no destructiva en obra de la presencia de armaduras, su dirección y, en ocasiones, su grado de recubrimiento.

Basta la simple aplicación en la superficie del hormigón de un detector o palpador constituido por una bobina recorrida por una corriente alterna que genera un campo electromagnético.

Según un estudio publicado en Informes de la Construcción nº 419 del Instituto Eduardo Torroja, la respuesta al campo magnético que aparece al colocar el palpador sobre el hormigón de cemento aluminoso es muy superior a la que aparece con el mismo acto sobre una superficie de cemento Pórtland. Por ello, este método puede emplearse con éxito siempre que las armaduras próximas, áridos con propiedades magnéticas contenidos en el hormigón o alguna proporción de adiciones activas no interfieran en los resultados. En laboratorio, el método se manifiesta útil para medir la proporción de cemento por m^3 de hormigón, aunque no en viguetas que presentan un elevado grado de envejecimiento.

Fisuras por asiento plástico.



Características de las fisuras
Aparecen a un nivel ligeramente inferior a la unión del alma a la cabeza superior.
Ancho de 0,2 a 0,5 mm y generalmente de poca profundidad.
Aparición antes de tres horas de vertido al hormigón, pero no son observables, debido al molde, hasta que se desmolda la pieza.
Están motivadas por la coacción que las barras horizontales presentan al descenso plástico del hormigón situado sobre ellas, agravado por la forma de la cabeza superior.
Causas de las fisuras
Exceso de exudación
Exceso de relacion A/C
Exceso de finos en la arena
Cemento inadecuado
Armaduras con poco recubrimiento

Fisuras transversales de contracción térmica en la losa inferior de una pieza de sección tubular.



Características de las fisuras
Ancho de 0,2 a 0,5 mm
Situadas en dirección ortogonal al eje de la pieza
Separación **a** entre ellas
Aparición entre un día y una semana a partir del hormigonado de la losa, pero siempre después de hormigonadas las almas.t
Causas de las fisuras
Contracción térmica diferencial entre la losa inferior delgada y las almas mucho más gruesas
Estas se enfrían más lentamente, impidiendo el acortamiento debido al enfriamiento más rápido de la parte inferior.

Fisuras longitudinales de contracción térmica.



Características de las fisuras
Ancho entre 0,2 y 0,5 mm
Aparición entre un día y una semana a partir del hormigonado de la losa, pero siempre después de hormigonadas las almas
Causas de las fisuras
Contracción térmica diferencial entre almas y losas, que se enfrían a velocidades muy diferentes

Esquemas de fisuras en vigas premoldeadas.

ATAQUES QUÍMICOS SOBRE EL HORMIGÓN

La ubicación de un forjado de hormigón en determinado tipo de edificios, como los industriales, puede ocasionar reacciones químicas en sus componentes. Tal es el caso de las losas situadas en fábricas de cerveza o derivados de la leche.

El síntoma más característico de la existencia de este ataque es la desagregación, lesión grave y alarmante, que se manifiesta por la pérdida del carácter conglomerante del cemento y la segregación de los áridos y la pasta. La consecuencia final es una falta de homogeneidad entre los materiales componentes del hormigón, perdiendo el cemento sus resistencias mecánicas.

Los efectos de las desagregaciones sobre estructuras y forjados pueden llegar a revestir gravedad.

Como medidas preventivas, en las fábricas y edificios industriales, se ha de tratar de conocer *a priori* los posibles ataques químicos a que puede verse sometido el hormigón y, de este modo, utilizar cementos y áridos inatacables por el producto a fabricar.

En general, se utilizarán hormigones compactos y revestimientos que impidan el contacto entre el forjado y el elemento potencialmente agresivo.

Otro importante ataque químico procede de las atmósferas industriales o fuertemente contaminadas.

En este caso, la carbonatación (penetración de anhídrido carbónico a través de los poros del hormigón) provoca la corrosión de las armaduras como consecuencia de una disminución de la alcalinidad desde un pH = 12 ó 13 a otro pH = 9 ó 9,5.

La alcalinidad ya no es suficiente para proteger la armadura, dando comienzo el proceso de oxidación.

La prevención de las lesiones por ataques químicos sobre el hormigón y, en general, todas las relacionadas con la corrosión de las armaduras, se basa en la utilización de hormigones con la dosificación, los recubrimientos y el curado prescritos por la EHE en sus artículos 68.37.2.4 y 74.

FALTA DE ADHERENCIA ENTRE ARMADURAS Y HORMIGÓN

La disminución o falta de adherencia entre armaduras y hormigón provoca una incapacidad de respuesta ante solicitaciones a flexión, revistiendo este fenómeno especial gravedad en el caso de forjados construidos con hormigón precomprimido en los que, al producirse una falta de adherencia, las armaduras se deslizan, quedando sin efecto el pretensado de los extremos. Ello puede llegar a provocar una fractura por cortante del alma de la vigueta, producida de forma instantánea y sin deformación previa aparente.

La falta de adherencia es un defecto atribuible fundamentalmente a dos causas. En primer lugar, el escaso recubrimiento de la armadura. Se produce cuando se hormigona el forjado aunque la armadura inferior de las vigas haya quedado baja, por no existir calzos o separadores. Al desencofrar, aparecen los estribos sin cubrir, la armadura inferior con escaso recubrimiento y la superior con un exceso. Además de la pérdida de adherencia, este error supone un peligro de corrosión para los estribos y las barras.

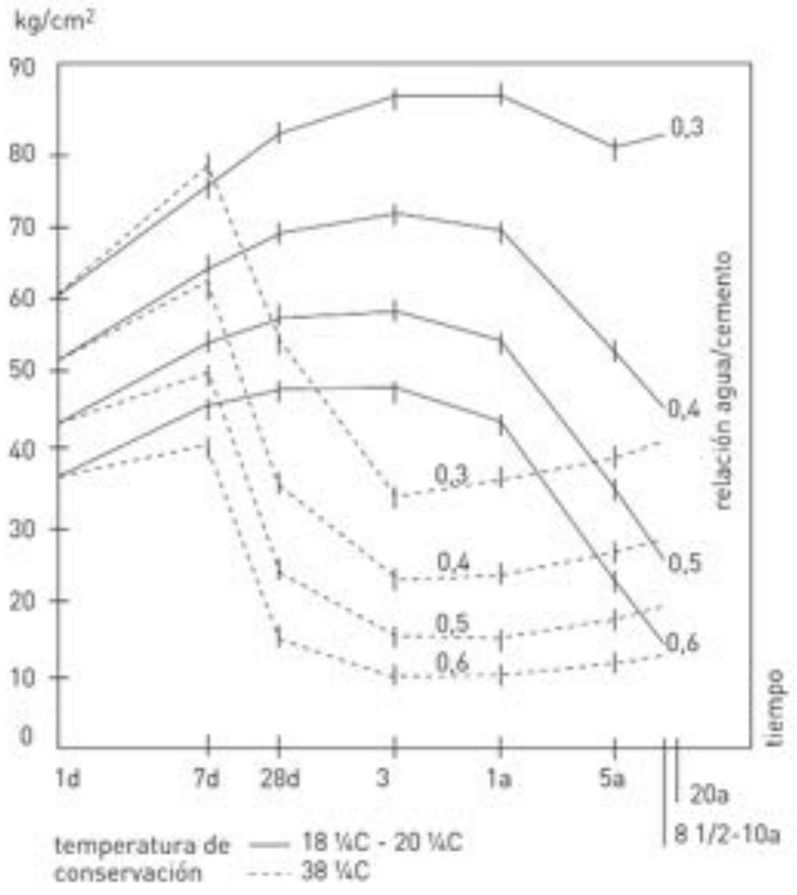
Una posible solución es aplicar en la cara inferior de la viga un mortero epoxi o un mortero rico en cemento cubriendo la armadura, ejecutando el refuerzo en dos capas con la finalidad de que el segundo mortero tape los poros del primero. En atmósfera agresiva o zonas costeras, debe extenderse una pintura protectora sobre el elemento.

Otra causa posible de la falta de adherencia entre armaduras y hormigón es la retracción de éste. Un mal curado del hormigón en las primeras horas de fraguado provoca la fisuración de la parte superior del forjado, quedando el hormigón, en su proceso de retracción, despegado de la viga, suelto y en varias capas. Su menor resistencia ocasiona que la armadura superior de la viga sea insuficiente, corriendo además riesgo de corrosión al ubicarse las fisuras sobre las barras.

Puede resolverse este problema picando el hormigón hasta alcanzar la armadura superior, colocando las barras adicionales necesarias y aplicando resina epoxi, para después hormigonar la zona con 5 cm de hormigón de grava menuda.

En todo caso, si la viga no necesita refuerzo, se sellarán las fisuras con resina epoxi a presión, para que la armadura quede unida en su totalidad al hormigón y evitar de este modo la corrosión.

Las fisuras situadas en la capa de compresión, sobre las viguetas y donde no exista armadura de tracción, pueden sellarse simplemente con lechadas de cemento.



Ensayos de resistencia a compresión de probetas de cemento aluminoso con la relación agua/cemento en distintas condiciones de conservación.

Si se han omitido los separadores en la colocación de la armadura, las fisuras debidas a un mal curado del hormigón pueden aparecer también sobre los estribos. Las barras en el centro de la viga quedan más bajas, mientras que los estribos quedan en contacto con el encofrado. Al estar situadas en zona de tracción de la viga, las fisuras pueden mostrar semejanza con las de una rotura por tracción.

Hay que aclarar que, en la falta de curado, solamente la armadura superior es insuficiente, por disminuir su resistencia el hormigón en la parte superior, al contrario de lo que sucede en las lesiones por exceso de agua, en las que toda la armadura es insuficiente, por disminuir su resistencia en todo el elemento.

B. FALLOS DEBIDOS A LESIONES MECÁNICAS

Las lesiones de los forjados que no son ocasionadas por la propia constitución del material suelen manifestarse en forma de fisuras, grietas y deformaciones. Se deben a fenómenos de tipo mecánico que afectan al estado tensional del elemento o incluso de toda la estructura, siendo usual que un mismo efecto sea debido a varias causas.

Por ejemplo, a la formación de las lesiones ocasionadas por la acción de las cargas contribuye, además de las solicitaciones físico-mecánicas asociadas a las acciones exteriores verticales, el peso de los propios elementos estructurales.

En todos los forjados en que interviene el hormigón aparecen antes o después fisuras. Para su estudio, debe tenerse en cuenta que no se trata de un material homogéneo -lo forman el hormigón y el acero- y que, en consecuencia, su comportamiento mecánico varía en función de las características mecánicas de cada uno de los dos componentes.

La situación y cantidad relativa de hormigón y de acero en cada una de las secciones del forjado, así como las condiciones de adherencia entre ambos, son factores que intervienen igualmente en la resistencia de la pieza.

En consecuencia, no es suficiente conocer cuáles son y cómo se distribuyen las tensiones principales de las piezas de la estructura para poder explicar todas las posibles formas de fisuración y colapso que suceden cuando se superan las tensiones límites.

En algunos casos, se han producido ya en fases anteriores a la fractura redistribuciones de las tensiones internas en el forjado, que hacen que el comportamiento actual de la pieza diste bastante del modelo elástico inicial. Este tipo de consideraciones complican el análisis.

Por ello, el procedimiento más recomendable, a la hora de localizar una relación entre la causa o causas de la fractura y el lugar en donde ésta se ha manifestado, es trazar primero los diagramas de los esfuerzos del conjunto de la estructura.

Como mínimo, deberían trazarse los de los elementos fracturados, así como conocer el dimensionado de las piezas y la disposición de las armaduras.

A partir de esta información, pueden identificarse las secciones con tensiones máximas, según diversos estados límites últimos resistentes, comprobando finalmente su coincidencia con las que presentan la fisuración o fractura.

TRACCIÓN

Las fisuras producidas por la acción de esfuerzos de tracción axial se distribuyen perpendicularmente a la dirección del esfuerzo. Se trata de una lesión poco frecuente en los forjados de hormigón armado, dado que las armaduras impiden su formación.

De aparición súbita, estas fisuras se manifiestan sobre todo cuando existen importantes deformaciones de las armaduras y se forman, generalmente, coincidiendo con el lugar donde se sitúan los estribos.

COMPRESIÓN

Los esfuerzos de compresión simple pueden fisurar el hormigón cuando se producen tensiones elevadas como consecuencia del esfuerzo.

Al contrario que las fisuras de tracción, que aparecen de repente, las de compresión se manifiestan al principio débilmente, con esfuerzos inferiores a la rotura, y van aumentando de forma progresiva.

Generalmente, dibujan líneas paralelas a la dirección del esfuerzo, siendo la separación entre ellas variable y su trazado irregular, llegando en ocasiones a cortarse unas a otras en ángulos agudos.

FLEXIÓN

Se trata de las fisuras más comunes en vigas de hormigón armado. Aparecen distribuidas de forma profusa, aunque no suelen ir más allá de la armadura inferior, y se caracterizan porque su anchura decrece a medida que se acercan a la línea neutra.

Es un tipo de lesión que no reviste peligro inminente, dado que avisa con tiempo suficiente para proceder a la anulación de la causa.

En algunos casos, si la armadura de tracción no ha superado su límite elástico, las fisuras se cierren por sí solas y acaban desapareciendo al cesar la causa que las produjo. En vigas de forjados, hay que prestarles especial atención cuando su dimensión sea tal que haga peligrar la protección de las armaduras.

Las fisuras de flexión presentan formas diferentes según se trate de flexión pura o combinada con esfuerzo cortante. La rotura debida a flexión simple es similar a la producida por la tracción simple, pero localizada en la zona en que se produce el estado tensional. En este caso, las fisuras aparecen próximas a las armaduras sometidas a tracción y progresan verticalmente, buscando siempre la línea neutra, para al final curvarse buscando el punto de aplicación de las cargas, desapareciendo en la zona de compresión.

Si la flexión es compuesta, probablemente la fibra más comprimida será la que primero sufra la fisuración.

En el parte inferior del forjado, las fisuras se dibujan en el centro de los vanos, sobre todo en los de mayor luz, lugar de máximo momento positivo.

Mientras que en el paramento superior se ubican en los lugares de máximo momento negativo, siguiendo las alineaciones de los pilares. En este caso, suelen pasar desapercebidas bajo el pavimento.

En algunos casos, esta lesión va acompañada o precedida por el deterioro de la zona de compresión. Ello puede provocar fisuras paralelas a la directriz de la barra, similares a las de compresión simple.

O puede que no aparezcan y se produzca directamente la rotura del hormigón. Esto sucedería, por ejemplo, en piezas con una desproporcionada armadura de tracción.

CORTANTE

Los esfuerzos cortantes en vigas actúan creando en el interior de las mismas tensiones de tracción, principales causantes de las típicas grietas a 45º por cortante.

Dado que la resistencia a tracción es mucho menor que la de compresión, las fisuras serán perpendiculares a la tensión de tracción, en dirección paralela a las isostáticas de compresión.

Las fisuras producidas por esfuerzo cortante se generan repentinamente en elementos sometidos a flexión y progresan con rapidez, pudiendo llegar a partir la viga en dos partes. De ahí su peligrosidad.

Además, se trata de una lesión de complejo comportamiento, de la cual se tiene un conocimiento más parcial que del resto de las fisuraciones. Afortunadamente, es un fallo poco habitual en los forjados, dado que generalmente éstos se hallan sobredimensionados frente a esta solicitación.

Las grietas suelen hacer su aparición en el alma de las vigas, progresando posteriormente hacia las armaduras, para llegar finalmente hasta los puntos de aplicación de las cargas. Dibujan generalmente un trazado rectilíneo y la máxima abertura entre labios se sitúa en el tramo central.

Su inclinación sigue el antifunicular de las cargas que actúan sobre la pieza, fisurando el hormigón si éste no dispone de armadura suficiente para absorber las tracciones producidas.

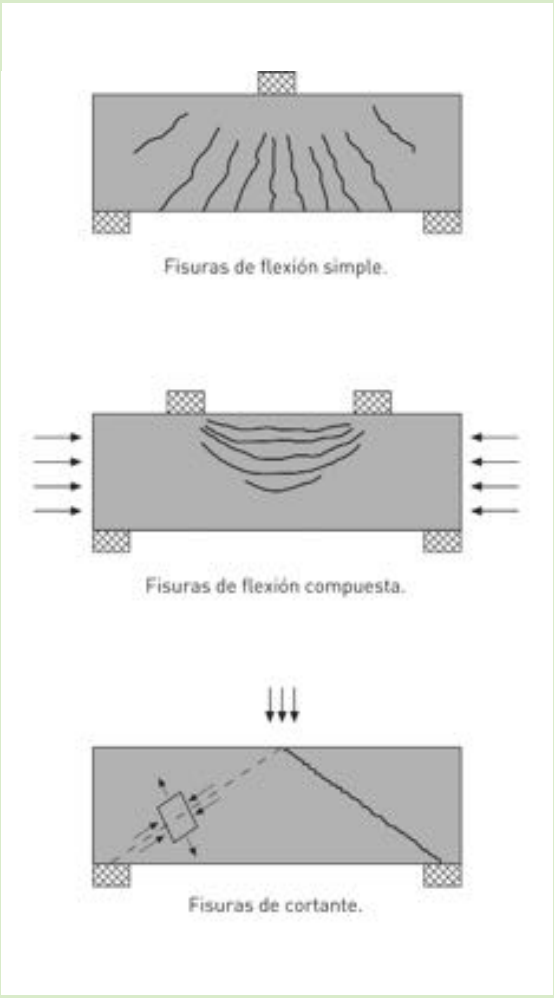
Dado que pasan desapercebidas bajo el falso techo, es necesario confirmar estas fisuras abriendo el lateral de la viga, para poder observar si se trata de fisuras a 45º.

La colocación de estribos y de barras dobladas, creando la armadura transversal de las barras, permite absorber las tensiones de tracción en las proximidades de los apoyos sometidos a esfuerzo cortante. Es conveniente inclinar ligeramente los estribos a 70º respecto al eje de la viga.

Debemos aclarar que, en el caso del hormigón precomprimido, cualquier fisura transversal reviste importancia, dado que siempre indica la superación de la capacidad del pretensado, provocando un posible desplazamiento de las barras.

TORSIÓN

Los esfuerzos de torsión dan lugar a fisuras inclinadas a 45º que aparecen en varias de las caras de la viga, formando siempre el mismo ángulo con el eje de las barras y describiendo un trazado helicoidal. Aunque suelen presentarse en gran número y pueden llegar a ser muy importantes, se les presta en general poca atención.



Fisuras características en vigas de hormigón armado.

Aumentar las dimensiones de la viga que no muestra la resistencia suficiente para absorber la torsión a que está sometida o colocar en todo su perímetro pletinas soldadas entre ellas y sujetas a la viga con resina epoxi son algunas de las soluciones posibles.

También pueden realizarse regolas en el hormigón, a través de las cuales se colocarán cercos de dos vueltas soldados y cubiertos con mortero epoxi.

Si se opta por reforzar colocando estribos en hélices, hay que tener en cuenta que el sentido de la torsión cambia de un apoyo a otro.

En los forjados planos o reticulares, ésta es una de las lesiones más frecuentes y, en este caso, es debida a la torsión de borde o zuncho en la zona en que el pilar evita su giro solidario con el forjado. A diferencia de las fisuras de punzonamiento, las de torsión no suelen comprometer de modo importante la seguridad del forjado reticular.



Agrietamiento de una viga que ha sufrido una deformación excesiva.

PUNZONAMIENTO

En los forjados reticulares o planos, una de las causas más frecuentes de colapsos se deriva del efecto del punzonamiento del pilar sobre el forjado, siendo éste uno de los estados límites que más atención merecen, dado que puede provocar un colapso de la estructura sin prácticamente previo aviso.

Los puntos críticos de este tipo de forjados son los capiteles o ábacos.

DEFORMACIÓN EXCESIVA EN FORJADOS RETICULARES

Las deformaciones excesivas provocadas por la flexión son un problema muy frecuente en forjados reticulares, construidos con vigas planas, de amplio uso en edificaciones residenciales y de oficinas.

En estas estructuras, de losa aligerada nervada en dos direcciones perpendiculares, la flecha total tiene una componente importante en la flecha diferida, a largo plazo, producida por la actuación de la carga permanente y el comportamiento reológico del hormigón.



Flechado de un forjado de un edificio que cruza una calle.

En gran medida, la aparición de esta lesión se relaciona con el importante efecto de la fluencia sobre las deformaciones, que se presenta incluso cuando se aplican las relaciones canto/luz establecidas por las normas.

C. DEFECTOS DE EJECUCIÓN

Los fallos de ejecución, es decir, aquéllos que se derivan del proceso constructivo, son culpables de casi la mitad de las lesiones producidas en el hormigón armado y son en gran parte comunes a todo tipo de estructuras.

Siendo ésta la causa más importante de lesiones, debe prestársele una atención particular en los aspectos referentes a la prevención y a la terapia.

Este tipo de errores, que suelen manifestarse durante la fase de carga con fisuraciones de la losa, pueden agruparse según se produzcan en el hormigón, en las armaduras o en otros elementos.



Rotura del hormigón por cesión de la viga al esfuerzo flector.

DEFECTOS DE EJECUCIÓN RELACIONADOS CON EL HORMIGÓN

En cualquier obra realizada con hormigón armado, dos relaciones resultan básicas: la relación árido/cemento y la relación agua/cemento. De ellas depende la compacidad del hormigón, su estabilidad y durabilidad, la salud del hormigón a lo largo del tiempo y las resistencias mecánicas.

Siempre y cuando las materias primas (cemento, áridos, agua y aditivos) se hayan escogido correctamente, en función del hormigón que se pretenda fabricar, y que estos componentes no tengan defectos de origen.

Las cualidades que se esperan de un hormigón dependen en gran parte de la cantidad de cemento empleado. No siempre debe respetarse la dosificación de referencia, si bien resulta útil disponer de este baremo. Para condiciones normales en obras de edificación, la dosificación puede llegar a ser menor que la de referencia, mientras que en ambientes químicamente agresivos o si las exigencias de resistencia superan a las habituales, puede aumentarse la dosificación, aunque nunca más del 30 %.

Un incremento de la dosis de cemento sobre la de referencia conlleva un aumento de las resistencias mecánicas, pero no en proporción lineal, sino en forma decreciente o atenuada.

Sin embargo, sí resulta proporcional el aumento de la adherencia, de la protección contra la corrosión de las armaduras y de la resistencia térmica.

Un exceso de agua en la dosificación produce una disminución de la resistencia y, por lo tanto, de la adherencia con la armadura.

Así como un peligro de aparición de fisuras de retracción y, al ser mayor el número de poros, de corrosión de las armaduras.

Los hormigones preamasados suelen presentar con mayor frecuencia este tipo de defecto, dado que se añade agua en exceso para aumentar el tiempo de aplicación y hacerlos más manejables, sobre todo cuando se procede al bombeo del material.

Pero no solamente la composición del hormigón provoca lesiones posteriores en la estructura. En el siguiente esquema, se detallan otros defectos comunes producidos durantes las diferentes fases de realización y puesta en obra.

Las fisuras delgadas y largas provocadas por asentamientos del hormigón, debidas a su consistencia fluida (relación agua/cemento inadecuada) o al escaso vibrado, recorren líneas coincidentes con las armaduras y con los nervios.

El asentamiento diferencial de los distintos espesores entre losa y senos ocasiona la separación de la armadura inferior y el hormigón situado bajo ésta. Aparte de la pérdida de adherencia, puede ocasionar la oxidación de las armaduras.

Una puesta en obra adecuada, donde se hormigone en primer lugar los senos y a continuación la capa de compresión, reduce este tipo de lesiones. El hormigonado de los nervios y la losa superior deberá realizarse simultáneamente.

La aparición de grietas, hundimientos puntuales, fisuras concentradas en la cara superior, deformaciones en el intradós y coqueras en el interior de los nervios del forjado puede deberse al cedimiento de los encofrados laterales, conocidos también como retenidas.

Las grietas se caracterizan por su gran amplitud, similar a la del desplazamiento del encofrado, y por su localización paralela a éste, a pocos centímetros del borde de la placa.

En ocasiones, las grietas se forman en el interior de la masa, por lo cual no resultan visibles a no ser que se desprenda el recubrimiento. Es posible detectarlas simplemente golpeando con un martillo los abultamientos que aparecen en los frentes del forjado. Este defecto de ejecución se evita encofrando con retenidas arriostradas o simplemente rígidas.

Un error generalizado en relación con el hormigón puede provocar una disminución de resistencia de éste en toda la obra, o sea en pilares, vigas, capa de compresión del forjado, etc.

La falta de resistencia generalizada del hormigón se asocia a una dosificación defectuosa, un escaso y deficiente vibrado, el uso de agua de amasado agresiva, la incorrecta utilización de aditivos o la presencia de impurezas en los áridos.

En los forjados, la trascendencia de una baja de resistencia del hormigón es mayor en los nervados y en piezas prefabricadas, llegando a peligrar su seguridad, mientras que en losas maciza y en forjados de viguetas y semiviguetas de hormigón fabricado en obra, no suelen presentarse problemas graves.

No obstante, aún siendo escasamente importante desde el punto de vista resistente, una baja resistencia del hormigón siempre puede provocar problemas graves de durabilidad.

Ante la aparición de cualquiera de los problemas relacionados, una vez determinada la resistencia del hormigón, hay que calcular su capacidad para soportar las solicitaciones.

Donde la resistencia resulte inferior a la exigida, puede reforzarse añadiendo *a posteriori* la armadura necesaria o aumentando las dimensiones de la viga. Las fisuras siempre deben sellarse o rellenarse para evitar la corrosión.

DEFECTOS DE EJECUCIÓN RELACIONADOS CON LAS ARMADURAS

El desplazamiento, la insuficiencia o el exceso de armaduras, el mal doblado y otros muchos errores relacionados con las barras de armado provocan serios problemas sobre las capacidades mecánicas y resistentes de la viga y sobre el propio hormigón.

En estado plástico, éste presenta frecuentemente fisuras debidas a deficiencias o descuidos en la fabricación y colocación de las barras. Los desplazamientos de éstas durante la compactación del hormigón, por ejemplo, son una de las causas de lesiones más frecuentes.

Aparte de la insuficiencia de armaduras, negativas o positivas, y de los errores de montaje, que veremos más adelante, en el siguiente cuadro se esquematizan algunos de los defectos más comunes.

La formación de coqueras u oquedades en el hormigón es uno de los efectos más comunes de este tipo de errores. Con independencia de la pérdida de la contribución a cortante que produce la falta de hormigón, lo más grave de esta lesión es que puede pasar totalmente desapercibida, por hallarse las oquedades en el interior de la viga.

Para detectarlas, es necesario romper las bovedillas laterales y proceder con la ayuda de ultrasonidos. Se evita la aparición de oquedades no disponiendo más de dos barras de negativos por nervio y colocando en senos y losa superior un hormigón de consistencia blanda con 20 mm de tamaño máximo del árido.





Exceso de carga y rotura de viga de hormigón armado.

En el siguiente esquema, se relacionan las causas de uno de los errores de ejecución más comunes en la realización de forjados de hormigón armado: la insuficiencia resistente de las armaduras.

ERRORES EN VIGAS EXTREMAS

Los enlaces incorrectos, cuando ni la semivigueta ni su armadura entran en la viga de borde para realizar el anclaje, al igual que la ausencia de patillas en vigas extremas, provocan un deslizamiento de la armadura, dando lugar a fisuras en la viga.





Fisura característica por exceso en el esfuerzo de corte.

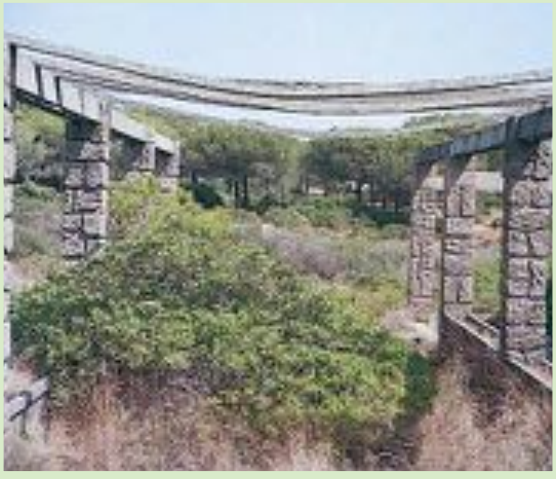
En vigas planas con luz grande, debe extremarse el cuidado, dado que la longitud de anclaje suele no ser suficiente. No es aconsejable utilizar barras con diámetro grande, puesto que quedan a menudo mal ancladas.

Si el elemento ya está hormigonado, puede intentar recuperarse algo de flecha para que cierre la fisura.

Hay que proceder a picar el hormigón y colocar la armadura necesaria, junto con sus patillas introducidas dentro de taladros previamente efectuados en el pilar.

Es siempre preferible colocar un mayor número de barras con diámetro más pequeño, que pocas barras con diámetro grueso. Se finaliza aplicando resina epoxi y hormigonando con árido pequeño.

Puede optarse también por colocar placas de acero sujetas con resina epoxi en la parte superior de las vigas o, si ello no es posible, en los laterales, solución ésta última de menor eficacia.



Viguetas a las que se le ha quitado el forjado debido a evidentes de formaciones incompatibles con el uso proyectado.

ACCIÓN	DEFECTO
Amasado	Un escaso amasado causa una deshomogeneización del hormigón.
	Excesivo lavado del árido
Transporte	Transporte inadecuado: deshomogeneización
	Transporte demasiado largo: desecación y/o principio de fraguado
Encofrado	Falta de aplomado: piezas torcidas, variación en el estado tensional y/o defectos de tolerancia en sucesivas fases de construcción.
	Falta de estanqueidad: pérdida de mortero; coqueras, cavidades.
	Falta de arriostramiento: peligro de derrumbamientos, desplomes, deformaciones.
	Encofrados muy secos: desecación del hormigón.
	Escasa rigidez: abombamientos, flechas.
	Falta de limpieza: deterioro de elementos en superficie y/o rotura de encofrados; pérdida de sección; manchas en el hormigón.
Desencofrado	Si se realiza prematuramente, se producen deformaciones, flechas, grietas y rotura
	Un desencofrado descuidado puede producir grandes deformaciones instantáneas y el deterioro de las superficies.
Compactado	Si es insuficiente e inadecuado, se produce falta de compacidad y homogeneidad.
	Si es excesivo: pérdida de homogeneidad.
	Un compactado descuidado provoca pérdida de la adherencia hormigón/acero
Curado	Si es insuficiente: desecación del hormigón, grietas de afogarado y retracción; pérdida de resistencia superficial.

DEFECTOS PRODUCIDOS DURANTE LAS ACCIONES DE FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

No es conveniente soldar la armadura por problemas de fragilización, aunque actualmente el empleo de acero corrugado tipo S (apto para soldar) no presenta problemas a la hora de realizar este tipo de reparaciones.

OTROS DEFECTOS DE EJECUCIÓN

- **INCUMPLIMIENTO DE LOS RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS**: el espesor mínimo de la losa superior debe ser de 3,5 cm.

- **AUSENCIA DE SEPARADORES PARA MANTENER EN POSICIÓN LAS BARRAS DURANTE EL HORMIGONADO**. Ello provoca el descenso de las armaduras con pérdida del brazo de la armadura de momentos negativos y corrosión de la armadura de momentos positivos y de la de reparto.

- **LA FALTA DE APOYO DE LAS VIGUETAS EN LAS VIGAS, CON ENLACE INSUFICIENTE**, es un error de montaje que se presenta con frecuencia. Se representa un caso real: al descimbrar el forjado, se retiró primeramente la sopanda 1.

  Al retirar la segunda sopanda (2), el forjado, que no estaba apoyado en la viga A, quedó trabajando en voladizo, con luz BA. Su caída produjo la destrucción de seis plantas subyacentes.

- **LAS DEFORMACIONES ENTRE SOPANDAS SE DEBEN A SEPARACIONES EXCESIVAS ENTRE APEOS O AL APOYO DE PAQUETES DE BOVEDILLAS SOBRE LAS VIGUETAS**. Se evitan apoyando los palés en la confluencia de las sopandas y los puntales mientras se colocan los bloques.

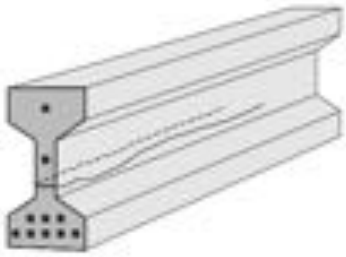
- **CUANDO LAS SOPANDAS ESTÁN POR ENCIMA DEL NIVEL TEÓRICO**, las viguetas pueden sufrir fisuración e incluso llegar a fracturarse bajo el peso propio del forjado.





Fotografía falta recubrimiento.

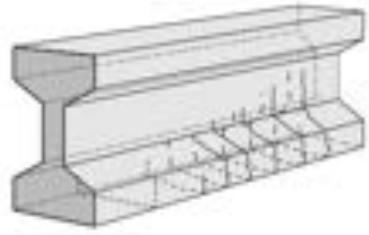
Fisuras horizontales desde el extremo.



Características de las fisuras
Horizontales, abarcan la cara extrema y las dos laterales
Ancho variable
Longitudes que pueden oscilar de algunos decímetros a dos o tres metros.
Suelen aparecer durante el tesado o inmediatamente después de realizado éste t.

Causas de las fisuras
Concentración excesiva de tendones en el talón inferior
Escasa armadura pasiva vertical en la zona de transmisión de los tendones
Hormigón de resistencia insuficiente al tesar
Orden erróneo de tesado

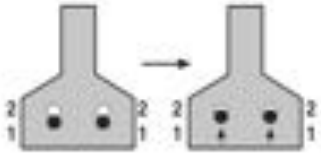
Fisuras en cabeza inferior.



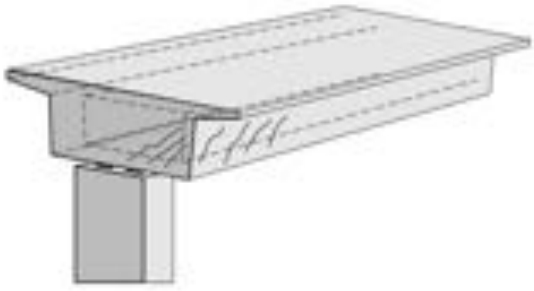
Características de las fisuras
Verticales, de altura creciente hacia el centro de la luz
Sensiblemente simétricas respecto al plano medio de la pieza
De ancho variable, cerrándose hacia la parte superior
Aparecen en condiciones de servicio de la pieza.

Causas de las fisuras
Tesado con resistencia insuficiente del hormigón
Infravaloración de las pérdidas de tensión
Elevación de la posición real de los tendones
Orden erróneo de tesado de tendones
En parejas en vertical, se tesa el **1** sin haber inyectado el **2**, con lo que se aplasta la vaina **2** y el tendón **1** sube de posición
Error en la fuerza de tesado





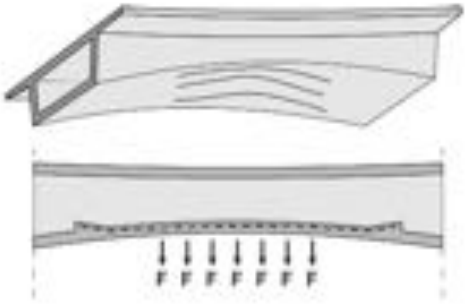
Fisuras en piezas huecas por situación excéntrica de los apoyos respecto a las almas.



Características de las fisuras
Inclinadas de cortante
Ancho variable
En el diafragma de apoyo, suben hacia el exterior
En las almas suben al alejarse del apoyo

Causas de las fisuras
Armadura insuficiente para colgar y transmitir la carga al no estar los apoyos situados en el plano medio de las almas

Fisuras debidas a tendones curvos en la parte inferior de piezas de sección celular y canto variable.

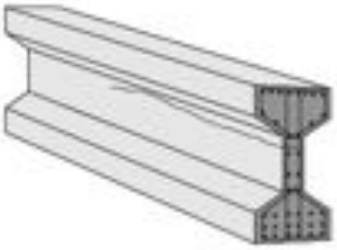


Características de las fisuras
Están en la cara inferior de la parte curva inferior
Dirección longitudinal
Ancho variable

Causas de las fisuras
Las fuerzas **F** ejercidas por los tendones flectan la losa en sentido transversal.
Bajo cargas permanentes y sin variaciones térmicas importantes, dicha flexión está contrarrestada de forma apreciable por las compresiones ejercidas por el pretensado sobre la losa. t.
Bajo acciones de tráfico y térmicas, ese efecto de contrarresto se reduce de forma drástica al reducirse las compresiones longitudinales debidas al pretensado en la losa inferior.

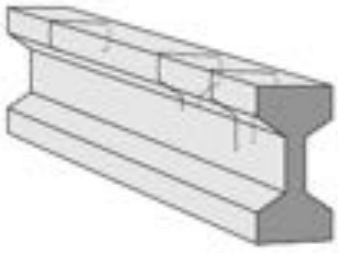
Esquema de fisuración en vigas pre y post tensadas.

Asiento plástico en vigas.



Características de la fisura
Aparecen a un nivel ligeramente inferior a la unión del alma a la cabeza superior
Ancho apreciable (0,2 a 0,5 mm) y generalmente de poca profundidad
Aparición antes de tres horas de vertido el hormigón, pero no son observables, debido al molde, hasta que se desmolda la pieza
Están motivadas por la coacción que las barras horizontales presentan al descenso plástico del hormigón situado sobre ellas, agravado por la forma de la cabeza superior
Causas de la aparición
Exceso de exudación
Exceso de relación A/C
Exceso de finos en la arena
Cemento inadecuado
Armaduras con poco recubrimiento

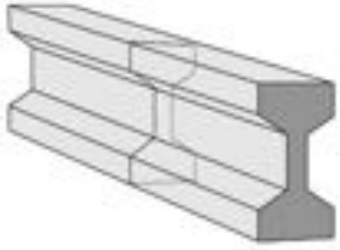
Fisura transversal que afecta a la sección completa.



Características de las fisuras
Verticales y contornean la cabeza superior
Presentan profundidades decrecientes hacia el centro de la luz, pudiendo incluso desaparecer en la zona central
Aparecen en el momento de la transferencia o poco después
Causas de la aparición
Baja resistencia del hormigón al transferir
Sobreestimación de las pérdidas de tensión hasta la transferencia
Sobretesado
Descenso de los tendones respecto a su posición nominal
Ausencia, insuficiencia o error de posición de la armadura en cara superior

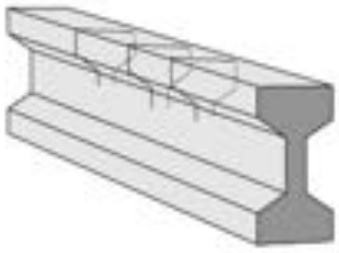


Fisura de aparición consecutiva a la transferencia de carga.



Características de la fisura
Ancho constante
Corta la sección completa
Aparece antes de realizar la transferencia
Causas de la aparición
Transferencia realizada a temperatura excesivamente próxima a la ambiente y, por tanto, muy inferior a la máxima de curado (esto sobretesa la armadura vista entre separadores o entre cabeza de anclaje y principio de pieza y pone en tracción las piezas)

Contracción térmica inicial.



Características de las fisuras
Ancho apreciable (0,15 a 0,03 mm)
Aparecen en piezas encofradas ejecutadas con hormigón de alto contenido de cemento, que se someten a curado térmico (vapor) y se desencofran a corta edad
Aparecen desde el momento de desencofrado hasta dos o tres días después
Son normalmente paralelas
Causas de la aparición
Choque térmico al quitar el encofrado y entrar el hormigón caliente en contacto con la atmósfera más fría
Tracciones excesivas en cara superior al transferir tensado
Ausencia o escasez de armadura pasiva o activa en cara superior

Esquemas de fisuración en viguetas postensadas.

- **SOPANDAS POR DEBAJO DEL NIVEL TEÓRICO** provocan que, bajo el peso propio, el forjado trabaje con luz doble de la prevista, ocasionando posiblemente fisuras en el vano.

- **LA CONSTRUCCIÓN DESCUIDADA DE JUNTAS DE DILATACIÓN PUEDE PROVOCAR IGUALMENTE LA APARICIÓN DE GRIETAS**. La simple utilización de una plancha de poliuretano posibilita realizar una junta limpia, sin predisposición a roturas irregulares por retracción o a desconchados por dilatación.

- **PUEDEN APARECER TAMBIÉN FISURAS PARALELAS A LAS ARMADURAS LONGITUDINALES DE LAS VIGAS** cuando, debido a una excesiva aproximación de unas barras a otras, el hormigón no ha podido pasar entre ellas.

- **CUANDO LA CONCENTRACIÓN DE GANCHOS Y ANCLAJES DE BARRAS ES MUY FUERTE EN UN PUNTO**, pueden aparecer fisuras que provocan el desgarre del hormigón al entrar en carga las vigas. Suelen ser fisuras a 45º y pueden llegar a confundirse con las de flexión.

D. DEFECTOS DEL PROYECTO

Mientras que los errores de ejecución resultan relativamente fáciles de diagnosticar, siendo la gran superficie de los forjados una ayuda apreciable, en el caso de los defectos de proyecto nos hallamos ante una patología más compleja. En este apartado, encontramos las consecuencias debidas a hipótesis de cálculo poco acertadas, falta de precisión en los resultados, errores acumulativos en los cálculos, etc.

Hay que hacer un apunte acerca de las estructuras calculadas y dibujadas por medios informáticos, una tecnología cómoda, práctica y rápida cuyo uso es hoy generalizado, pero que ha dado lugar al nacimiento de una nuevo tipo de patología: la referente al cálculo de estructuras asistido por ordenador.

Un programa informatizado de cálculo deja pasar desapercibidas con facilidad hipótesis o cargas inadecuadas si no se utiliza bien o no se conoce suficientemente el tema. Un cálculo interrumpido de las estructuras o la mala concepción del programa mismo son algunas de las causas de este nuevo grupo de defectos.

En obra, se produce con frecuencia un bajo nivel de control del forjado, en relación con el del resto de la estructura. No solamente deben inspeccionarse las piezas prefabricadas, sino también las armaduras y el hormigón fabricado *in situ*, definiendo los baremos de calidad y de control, así como los valores g correspondientes.

Asimismo, son bastante frecuentes los casos en los que no se realiza ninguna comprobación a esfuerzo cortante.

Los errores de proyecto que se presentan con mayor frecuencia en forjados son los de cálculo. Las lesiones pueden manifestarse por fisuras cercanas a los apoyos en la cara superior o en el centro del vano de la inferior, según que el error sea debido a momentos negativos o positivos.

Se trata de fisuras vivas, cuya amplitud es proporcional al error y variable en función de la solicitación existente. Esta lesión, de extrema peligrosidad dado que puede suponer un colapso inminente del forjado, es eliminable solamente por un cálculo adecuado de solicitaciones y de secciones. Cuando se presenta, puede ser necesario proceder a un apuntalamiento urgente.

En ocasiones, el cálculo defectuoso de un forjado da lugar a tensiones y a la consiguiente aparición de fisuras en otros elementos estructurales. Por ejemplo, cuando se calculan los forjados con una gran empotramiento, a fin de reducir momentos positivos, se acaba originando torsiones en las vigas y flexiones en los pilares.

Los errores de cálculo pueden ser debidos a una multitud de causas, entre las cuales destacamos las siguientes:

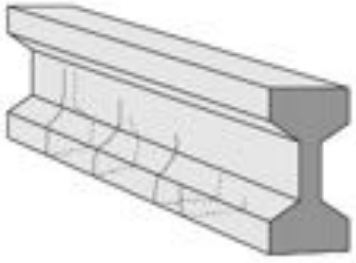
- **ERRORES EN LA EVALUACIÓN DE ACCIONES**. Son comunes la omisión del peso de los posibles tendidos de yeso en la cara inferior del forjado, la infravaloración del peso real del solado, la omisión de las sobrecargas lineales en punta de voladizos o el frecuente desconocimiento del posible incremento de cargas durante el cimbrado de plantas consecutivas, que puede conducir a la fisuración sistemática de los forjados.

- **LA NORMATIVA VIGENTE PROPORCIONA ORIENTACIONES A SER TENIDAS EN CUENTA RESPECTO AL PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PARA UNA SERIE DE FORJADOS TIPO**. Es asimismo recomendable consultar las tablas facilitadas por los fabricantes de forjados para conocer con exactitud el peso de los mismos. En el proceso de ejecución, debe también controlarse el espesor de la capa de compresión para evitar un forjado con mayor peso del previsto. Los solados son otra causa frecuente de incremento de cagas permanentes.

- **ERRORES EN LA COMBINACIÓN DE ACCIONES**. En forjados en los que la relación de sobrecarga a carga permanente es reducida, pueden omitirse las hipótesis de carga y descarga de vanos. Pero en otros casos, esto no es así, y la hipótesis de sobrecarga alternada es imprescindible tanto a efectos de cálculo de esfuerzos como de cálculo de deformaciones.

- **EN ESTRUCTURAS RETICULARES O PLANAS**, la escasez de canto de las vigas las hace muy sensibles a los errores de posicionamiento y propicias a presentar en servicio deformaciones excesivas. Además, ha de tenerse en cuenta que el forjado se ha de calcular con la luz entre ejes de apoyos. No obstante, los métodos de cálculo en este tipo de forjados suelen ser bastante exactos, aunque en el caso de estructuras con formas especiales o secciones muy complejas puede suceder que las hipótesis se separen de la realidad. El empleo de ensayos sobre modelos reducidos permite, antes de llevar a cabo la construcción de la estructura, comprobar los supuestos de comportamiento futuro de la misma.

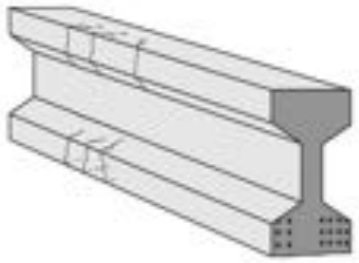
Fisuras en cara inferior.



Caracteristicas de las fisuras
Fisuras verticales que contornean la cabeza inferior.
Las fisuras presentan alturas crecientes hacia el centro de la luz, llegando a desaparecer cerca de los apoyos.
Aparecen en condiciones de servicio.ł.
Causas de la aparición
Subestimación de las pérdidad totales de pretensado.
Tesado real inferior al nominal.
Subida de los tendones respecto a su posición nominal.
Transferencia prematura.

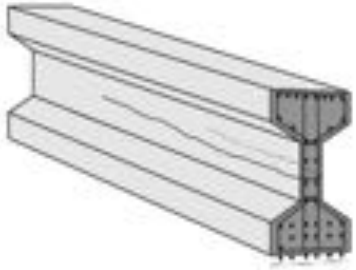


Fisuras situadas a un solo lado del plano medio de la pieza.



Caracteristicas de las fisuras
Ancho variable
Separación irregular
Aparecen sólo a un lado del plano medio de la pieza y van acompañadas de flecha transversal hacia el mismo lado
Aparecen inmediatamenete después de la transferenciaŁ.
Causas de la aparición
Situación no simétrica de la posición de los tendones respecto al plano medio
Transferencia errónea, con diferencias apreciables entre tendones simétricos respecto al plano medio
Orden de transferencia erróneo

Fisura horizontal arrancando de la extremidad de la pieza (fisuras de cocodrilo).



Características de la fisura
Horizontal, abarcando a la cara extrema y a las dos laterales
Ancho variable
Longitud que puede oscilar de algunos decímetros a dos o tres metrosŁ.
Causas de la aparición
Concentración excesiva de tendones en el talon inferior
Escasa armadura pasiva vertical en la zona de transmisión de los tendones
Hormigón de resistencia insuficiente al tesar
Orden erróneo en la transferencia
Empleo de tendones excesivamente adherentes para lo considerado en el cálculo

Esquemas de fisuración en viguetas postensadas.

- **EL CÁLCULO DE LOS VANOS COMO ISOSTÁTICOS CONDUCE A NO DISPONER ARMADURA INFERIOR EN LAS ZONAS DE APOYO**. Cuando el forjado entra en carga, se producen una serie de fisuras amplias en la cara superior de la zona de apoyos que, dependiendo de la flexibilidad del forjado, pueden acusarse en el solado.

E. INTERVENCIONES

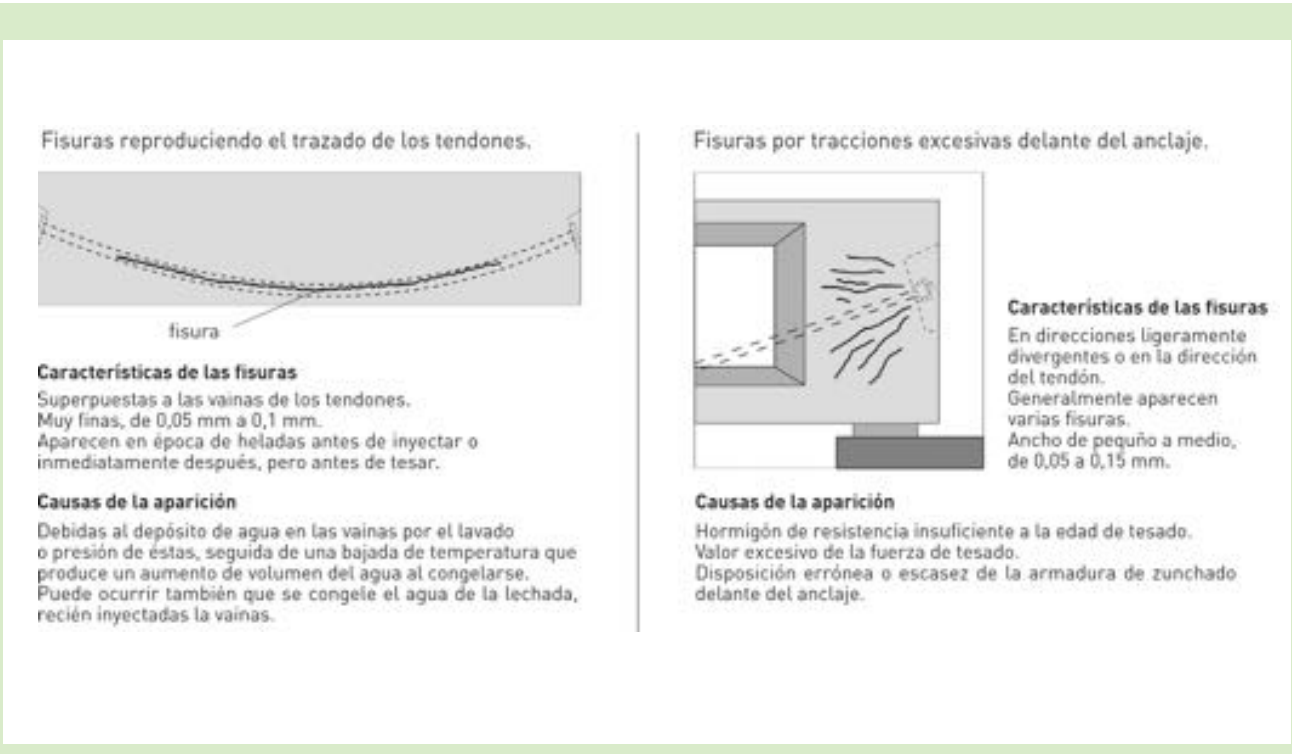
A la hora de hablar de terapias de los forjados de hormigón, pueden establecerse modelos de referencia que, en un primer nivel, permiten identificar el procedimiento a seguir al encarar una problemática de características semejantes a las expuestas.

No obstante, cada lesión tiene una resolución distinta, en función de variables tan diversas como realizaciones y tipos de forjados existen. Por ello, en todo lo referente a terapéutica de los forjados se deja un amplio margen a la innovación y a la actuación concreta.

En todo caso, será necesario realizar ensayos y análisis para sustraer información acerca del estado del hormigón, las características del cemento y de los áridos empleados y la relación agua/cemento con que se amasó el hormigón.

Observar las fisuras y averiguar si afectan al elemento resistente o están únicamente localizadas en las capas de protección y si son superficiales o profundas.

Si se trata de vigas fisuradas por flexión es fácil ver la profundidad a través de las caras laterales libres. En estructuras masivas, sin embargo, hay que recurrir al empleo de ultrasonidos.



Fisuras características en viguetas de hormigón con armadura postensada.

Todos estos estudios preliminares son esenciales para determinar el grado de capacidad resistente que aún conserva el forjado. Algo que no resulta fácil en estructuras seriamente dañadas, debido a lo complejo que es calcular la resistencia que poseen las partes fisuradas o deformadas.

Un método muy preciso consiste en determinar el coeficiente actual de seguridad del forjado, recalculando de nuevo la estructura e introduciendo en el nuevo cálculo las resistencias actuales del hormigón y las secciones de acero con las que están armadas las piezas. Es conveniente el uso del pachómetro o de catas para la comprobación de algunas de ellas.

Conociendo el nuevo coeficiente de seguridad para las cargas propias y las máximas de servicio y comprobando si éste se halla dentro o fuera de normas, es posible determinar el grado de gravedad de la estructura y proyectar la reparación o el correspondiente refuerzo.

Según la gravedad de los daños, en ocasiones habrá de procederse a determinadas actuaciones de urgencia.

Cuando el forjado o sus elementos se hallan en una situación límite y puede resultar peligroso mantenerlo en servicio, se debe apuntalar inmediatamente, siempre garantizando un descenso de cargas correcto y sin crear nuevas sobretensiones en zonas localizadas.

Las intervenciones en las estructuras de forjados se estructuran en diferentes niveles de actuación, dependiendo de la importancia y el alcance del daño. En ocasiones, un control periódico de la estructura puede ser suficiente.

Armaduras transversales y longitudinales	Débilmente trabadas: movilidad de la jaula.
	Soldadas: pérdida de resistencia en aceros de alta adherencia.
Armaduras diagonales	En armado transversal, o para rigidizar la jaula durante el transporte y la colocación: deshomogeneización del hormigón al verterlo contra ellas.
Doblado de barras	Un radio excesivamente pequeño provoca grietas.
	Si se realiza por calentamiento, puede producirse pérdida de resistencia.
Colocación en obra	Un mal aplomado deriva en recubrimientos excesivos o insuficientes.
	La falta de separadores provoca recubrimientos insuficientes y cambios de posición de las barras y modificación de su resistencia.
	Desviación de barras sueltas: cambios en la resistencia del elemento.
Ausencia de armaduras de piel	Fisuración por afogarado y retracción.
Exceso de armaduras	Falta de compacidad; recubrimientos insuficientes; pérdida de adherencia; coqueras. A flexión, riesgo de plastificación del hormigón en zonas que estén solicitadas a compresión.

DEFECTOS EN LA FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE ARMADURAS

Tras la inspección y la diagnosis, puede considerarse la posibilidad de no realizar ningún tipo de actuación y plantearse únicamente un seguimiento en servicio de los puntos críticos del forjado.

También puede considerarse conveniente la aplicación de algún sistema preventivo que contrarreste problemas de porosidad en el hormigón, microfisuras producidas en estado plástico, la deformación admisible de las piezas, etc.

En este punto, remitimos al lector a ver los apartados correspondientes a los sistemas de protección y mantenimiento de las superficies de hormigón y a la prevención de la corrosión en barras de armadura que se han desarrollado ampliamente en el capítulo "Intervenciones de reparación y refuerzo" de los pilares y estructuras porticadas de hormigón.

Si se opta por la reparación de las zonas dañadas, cuando el objetivo es recuperar las prestaciones originales o teóricas del elemento afectado, debe tenerse en cuenta que una buena reparación no deberá nunca poner en contacto metales que puedan provocar, por electrólisis, nuevos problemas de corrosión.

Se buscará la sencillez y eficacia en la conexión con muros, pórticos o pilares, proyectando las reparaciones para que sean fáciles de aplicar en espacios reducidos y asegurando que los materiales de nueva incorporación sean fácilmente controlables y reparables. Se preferirán siempre los elementos vistos, soldables, con existencias en el mercado y sin piezas demasiado especiales.

Hay que ser conscientes que tratar de devolver el monolitismo a un hormigón roto por una fisura viva es trabajo perdido. La pieza volverá a abrirse por el mismo lugar o por otro totalmente diferente, próximo o alejado. Este es el caso de las fisuras de origen térmico, si no se ha dotado al hormigón de juntas de dilatación que permitan su libre deformación, o de las fisuras de flexión provocadas por acciones dinámicas.

Por el contrario, en el caso de fisuras inactivas o muertas, como son las producidas por retracción hidráulica, no hay inconveniente alguno en unir el hormigón y restablecer el monolitismo de la pieza.

Pueden verse los apartados correspondiente a las inyecciones de resina epoxi y a las reparaciones de estructuras afectadas por la corrosión de armaduras, que se han desarrollado ampliamente en el capítulo "Intervenciones de reparación y refuerzo" de pilares y estructuras porticadas de hormigón.

REFUERZO DEL FORJADO

El refuerzo de las piezas afectadas persigue mejorar las prestaciones originales del elemento, disponiendo sistema de apuntalamiento o de descarga que recuperan la capacidad portante del forjado, absorbiendo excesos de carga y de esfuerzos y/o preveniendo colapsos.

Siempre hay que tener en cuenta que la introducción de nuevos pesos y de nuevas distribuciones de las cargas pueden comprometer a los elementos receptores de las reacciones creadas. En otras palabras: hay que conseguir salvar el forjado sin perjudicar a los muros.

Aunque aquí apuntamos una serie de soluciones estandarizadas, no siempre hay que aferrarse a un método de refuerzo determinado, ya que pueden existir muchas otras soluciones que deberán ser evaluadas dependiendo de la importancia de los daños que presente la viga.

Los refuerzos pueden resolverse no solamente con el propio hormigón armado, sino también con el postensado, la unión de bandas de acero por medio de resinas epoxi o el empleo de perfiles laminados.

Existen dos casos típicos de refuerzo de una viga de forjado: el refuerzo frente a la flexión y el refuerzo frente a esfuerzo cortante. El tratamiento que recibe cada uno de ellos es diferente.

REFUERZO DE VIGAS A FLEXIÓN

Este tipo de refuerzo puede ser necesario por una falta de armadura de tracción, que ha provocado fisuraciones en la parte central de la viga y que incluso puede llevar a ésta a la rotura.

O como consecuencia de la pérdida de capacidad resistente a compresión de la viga, bien por defecto de sección de acero en la zona de compresión, o bien por baja calidad del hormigón empleado. O puede que no exista lesión, sino que simplemente se pretenda aumentar la capacidad resistente de las vigas, para soportar nuevas sobrecargas de uso.

El refuerzo se llevará a cabo mediante dos sistemas fundamentales: los recrecidos con hormigón armado o los refuerzos sin necesidad de recrecido.

En el primer caso, el recrecido del canto de la viga permite colocar la armadura adicional necesaria, siendo recomendable que el espesor de la nueva capa sea menor a un tercio del espesor del hormigón existente.

La tensión máxima de deslizamiento en la interfase no debe sobrepasar dos tercios de la resistencia última a tracción del hormigón existente. En elementos reparados o reforzados mediante hormigón proyectado, no se debe pasar de una tensión de cortante por deslizamiento que sea superior a un cuarto de la resistencia última a tracción del hormigón resistente.

Si existen cargas dinámicas o se esperan tensiones alternadas, se recomienda que la fuerza de cortante en la interfase sea absorbida enteramente a través de conectores y que la máxima tensión de cortante sea inferior a dos tercios de la resistencia última a tracción del hormigón resistente.

El proceso de realización de este refuerzo consiste en picar primeramente la viga, a fin de quitarle la lechada superficial de su cara inferior, y descarnar el hormigón hasta encontrar los estribos de la viga. Se soldarán a ellos nuevos estribos, con unas dimensiones suficiente para soportar los esfuerzos de deslizamiento longitudinal que puedan aparecer entre la viga y el hormigón de refuerzo.

Se colocan las armaduras longitudinales que faltan, procediendo al encofrado y al hormigonado. Para la buena unión de los dos hormigones, el de la viga y el del recrecido, puede emplearse un adhesivo epoxi adecuado.

El refuerzo sin necesidad de recrecido tiene la ventaja de que no se aumenta el canto de la viga. Se realiza abriendo surcos longitudinales en la cara inferior de la viga e introduciendo en ellos las armaduras que faltan. Se rellena posteriormente los huecos y el espacio entre las barras con un mortero epoxi o bien con un mortero de cemento de alta resistencia y retracción controlada o ligeramente expansivo.

ARMADURA POSITIVA O INFERIOR

Haber considerado en los cálculo menos carga que la real.

Haber obtenido en obra menor resistencia en el hormigón que la considerada en los cálculos.

Incorrecto replanteo en obra, siendo la luz de la viga mayor que la prevista.

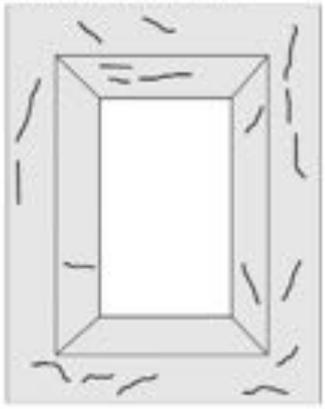
Colocación en obra de menor número de barras o de menor diámetro que el especificado en los planos.

Error en la disposición de la viga, con respecto a la indicada en los planos. Este error surge al cambiar ancho por canto.

Uso de viguetas de mayor longitud a la prevista, que repercuten en una mayor carga.

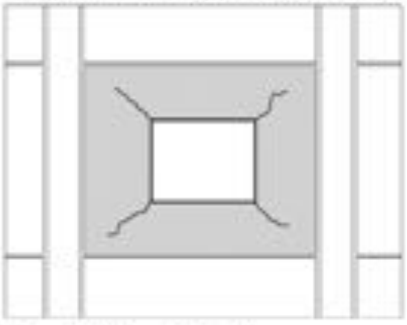
CAUSAS DE LA INSUFICIENCIA DE ARMADURAS EN LAS VIGAS

Fisuración múltiple.



Características de las fisuras
Ancho entre 0,05 y 0,15 mm
Sin dirección predominante.Ł
Causas de la aparición
Ausencia o insuficiencia de armadura de retracción y temperatura
Sistema incorrecto de aplicación del curado acelerado

Fisuración en ángulos de huecos.



Características de las fisuras
Arrancan desde los ángulos de los huecos.
Ancho de 0,05 a 0,15 mm
Causas de la aparición
Falta de armadura de esquina
Deformación diferencial excesiva de temperatura en la cara exterior respecto a la interior
Insuficiente armadura superficial

Esquemas de fisuración en paneles de fachada de hormigón armado.

El inconveniente de este sistema es que la forma de trabajar de los redondos entre sí puede variar mucho, especialmente si la viga no se ha descargado totalmente.

REFUERZO DE VIGAS A ESFUERZO CORTANTE

En cortante, el refuerzo puede ser necesario por ausencia o mala colocación de la armadura transversal, como consecuencia de errores de proyecto o de ejecución. Como en el caso anterior, un cambio de uso del edificio, que exige una mayor resistencia ante sobrecargas más altas, puede también demandar este tipo de actuaciones.

En general, consistirá en introducir la armadura transversal y los estribos necesarios. Para efectuar esta operación, hay que proceder a apear las vigas afectadas y, a ser posible, descargarlas.

En caso contrario, el cálculo del refuerzo habrá de introducir las consideraciones oportunas, teniendo en cuenta el estado tensional en que se encuentren las armaduras y el hormigón de la viga.

Se procede abriendo surcos verticales en todo el contorno de la viga, del espesor más pequeño posible, pero de profundidad tal que se alcancen las armaduras principales. En estos surcos se introducen los nuevos estribos, que se atarán bien a las armaduras principales y, si es posible, se les dará unos puntos de soldadura.

Una vez realizada esta operación, se procede a cerrar los huecos por medio de un mortero epoxi o un mortero de cemento ligeramente expansivo.

Si no se quiere picar la viga, la armadura transversal puede ser sustituida por bandas de acero adheridas a ambas caras de la viga en la zona fisurada, encoladas con resina epoxi o con un adhesivo capaz de absorber los esfuerzos rasantes producidos en la interfase, sin que se generen deformaciones longitudinales.

El espesor de la banda de acero no debe ser superior a los 2 milímetros. Este tipo de refuerzo, de rápida ejecución y bajo coste, posee el inconveniente de desconocer la forma conjunta de trabajo entre refuerzo y hormigón y la complejidad de calcular el dimensionado de la sección de la banda de acero. Ello puede llegar a provocar su total ineficacia.

La colocación de ménsulas en los extremos de las vigas mejora también notablemente la resistencia a los esfuerzos cortantes y, al mismo tiempo, la resistencia a flexión de la viga.

En los refuerzos a cortante, es recomendable tomar valores mayores de los convencionales para los coeficientes de minoración del hormigón y del acero. Si se emplean recrecidos de hormigón armado, éstos deberán tener una sección inferior a un tercio de la del hormigón existente.



Error constructivo: a pesar de que el muro posee junta de dilatación, el zunchado de hormigón no lo tiene y ha comenzado a agrietarse.

En la siguiente figura, se indican los porcentajes mínimos de armaduras adicionales y espesores mínimos en un caso de refuerzo combinado a flexión y cortante. En estos casos, debe prestarse un cuidado extremo al anclaje de las armaduras adicionales a cortante dentro del recrecido del hormigón.

REFUERZO POR POSTENSADO DE UNA VIGA

Cuando nos encontramos ante una viga cuyas dimensiones no permiten ser aumentadas o ante estructuras que no es posible descargar, puede recurrirse a las múltiples soluciones englobadas bajo la técnica del postensado, utilizada con mucho éxito en refuerzos estructurales.

Sus posibilidades son muy amplias, siendo adecuada tanto para refuerzos a flexión como a cortante y a torsión.

La ventaja principal del postensado radica en que, aparte de actuar como refuerzo, consigue una importante recuperación en elementos deformados.



La imprevisión de goterones en este tipo de elementos al exterior provoca la acumulación de humedad y, si el hormigón no es compacto, las armaduras sufren el ataque de la corrosión en poco tiempo.

Ello es especialmente interesante en el caso de las vigas, ya que las fisuras producidas por flexión suelen ir acompañadas de flechas y deformaciones que pueden ser excesivas en las armaduras de tracción.

Por tanto, nos hallamos ante una técnica capaz de reforzar el forjado y, al mismo tiempo, suprimir su deformación y devolverlo a su estado inicial.

La base del postensado es la colocación de cables de tensado en los laterales de la viga y, si es necesario, en el centro.

Los cables se ajustan con pernos graduables a unas placas metálicas que, a su vez, se adosan a los pilares, vigilando siempre los momentos negativos que se originan por el nuevo apoyo.

Una vez puesto el cable en tensión, la parte inferior fisurada de la viga se comprime, trasmitiéndose a la misma los esfuerzos verticales que levantan toda la viga y la devuelven a su posición primitiva.

Si la tensión es suficiente, puede incluso conseguirse una contraflecha, resolviendo un problema que la armadura convencional no es capaz de resolver, que es el de actuar sobre una viga deformada en la que no se hayan eliminado las sobrecargas.

La distribución de los cables y sus tensiones de trabajo han de ser perfectamente establecidas mediante cálculo, diseñando los anclajes y las piezas especiales para efectuar los cambios de dirección de los cables. Este proceso de diseño del refuerzo reclama un máximo de imaginación, dado que cada caso concreto puede demandar soluciones distintas.

En vigas continuas, los cables siguen en cierto modo las leyes de momentos flectores, con puntos bajos en los centros de las vigas y altos en los ejes de los pilares. En forjados formados por placas nervadas, puede lograrse un buen refuerzo mediante un sistema similar.

Este complejo sistema de refuerzos presenta, en obra, problemas que no son sencillos de resolver. Es bastante común, por ejemplo, que los pórticos embrochalen las vigas, por lo cual hay que taladrar éstas para dar paso a los cables.

En otras ocasiones, hay que perforar forjados para hacer amarres en la parte superior de los pilares.

Todas estas soluciones han de estar perfectamente estudiadas, armonizándolas con el diseño de piezas especiales. Y es que se trata de que cables y piezas ocupen un espacio mínimo, a fin de no crear problemas estéticos, y que todo el conjunto puede ser fácilmente disimulable.

En ocasiones, resulta complicado realizar el postensado desde las cabezas de las vigas, porque éstas resultan inaccesibles o por coincidir con paredes medianeras que impiden la colocación y el trabajo de los gatos.

Las piezas especiales de cambios de dirección crearán unos rozamientos excesivos en los extremos de las vigas, lo cual dificultará extremamente el postensado.

La solución es el empleo de conectores, elementos cilíndricos por los que pasan en sentido contrario los dos cables, anclados cada uno en un extremo distinto del cilindro.

Además de permitir un tesado central, resolviendo situaciones en las que resulta imposible el tesado en las cabezas, posibilitan reparar la rotura de cables, con un simple empalme central.

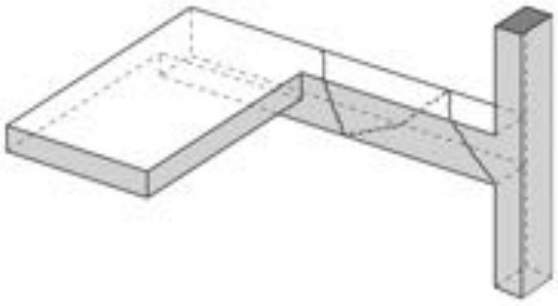
Finalmente, señalar que el postensado en reparaciones estructurales suele ir unido a un proceso previo de inyección de fisuras.

SUSTITUCIÓN DEL FORJADO

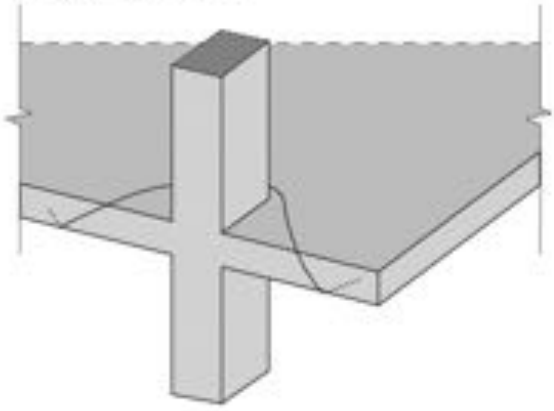
La sustitución aporta un material nuevo que, en mayor o menor medida, pasa a desempeñar una misión resistente que no está resuelta correctamente en el elemento a reparar. En forjados de hormigón, la sustitución puede ser física (extrayendo los elementos dañados y sustituyéndolos por otros nuevos) o funcional (añadiendo a las vigas ya existentes nuevos elementos estructurales con características equivalentes a los anteriores, que se suman a los esfuerzos de éstos).

La diferencia principal respecto a los procedimientos de refuerzo es la necesidad de una puesta en carga muy cuidadosa y la obligación de estar dimensionados para toda la carga.

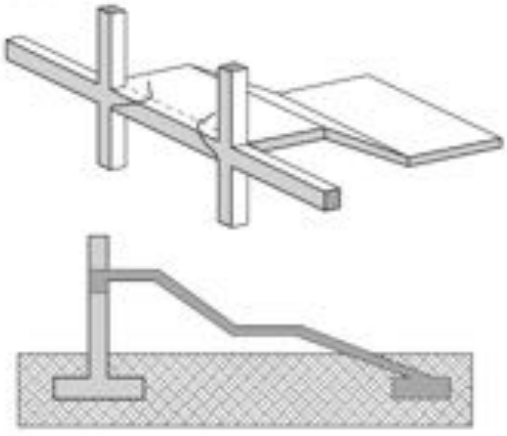
Fisuración por torsión de una viga.



Fisuración por torsión en el nervio de borde de forjado sin vigas .



Fisuración por torsión en vigas de borde de escalera.



Características de las fisuras
Fisuras de tipo helicoidal
Puede haber varias fisuras del mismo tipo
Ancho de fisura menor a 0,1 mm

Causas de las fisuras
En caso de escaleras o losas de gran luz, las recomendaciones generales de empotramiento de losas en vigas de borde pueden no ser suficientes y un cálculo a torsión está en esos casos indicado.

Esquemas de fisuración debido a esfuerzos de tracción en elementos de hormigón armado.

En realidad, los casos en los que se ha de proceder a la sustitución física de un forjado o parte de éste son bastante escasos. Si se trata de estructuras muy deterioradas y no existe alternativa, hay que calcular en primer lugar y de modo exacto el sistema de apeo, dado que éste asumirá provisionalmente todas las cargas mientras el forjado es sustituido.

Para la sustitución física de una vigueta con solera encima, en un forjado unidireccional, se procederá a apear la solera y abrir la pared por las cabezas de la viga, extrayendo la viga y colocando una nueva.

Tras tabicarla y acodar la solera sobre la nueva vigueta, se procede a rehacer los acabados de las paredes.

Si hay tabique intermedio o cielo raso, será necesario derribar las partes necesarias y rehacerlas posteriormente, reponiendo las posibles instalaciones.

La sustitución funcional de una viga de hormigón en un forjado unidireccional puede realizarse de varias maneras. Una de ellas es aplicar una plancha de acero envolviendo la viga por su parte inferior, previo saneado de ésta y después de aplicar una capa de pintura puente.

La plancha de acero cubre a la vez las funciones de armadura a tracción del refuerzo y de molde, rellenándose desde un extremo por inyección de un mortero fluido de elevadas prestaciones. Posteriormente, se sella la plancha.

Otra opción consiste en sustituir funcionalmente la vigueta por una estructura metálica, sujeta mediante un soporte colocado con tacos expansivos en el muro. Tras colocar la viga, hay que inyectar mortero sin retracción para asegurar la entrada en carga.

La sustitución funcional de todo un forjado supone la transferencia de absolutamente todas las funciones resistentes de un forjado a una nueva estructura.

La solución tradicional consiste en la construcción de un nuevo artesonado de viguetas de acero que apean las existentes. Este procedimiento obliga a abrir catas para apoyar las viguetas y conectar éstas mediante soldadura con las jácenas transversales.

Una solución alternativa consiste en colocar jácenas y plancha nervada. Esta segunda sustituye las jácenas transversales del sistema tradicional.

Se abren igualmente catas para apoyar las jácenas, colocando la plancha metálica de acero en la parte inferior, mediante roscado o clavado. Se inyecta, si resulta necesario, una capa de compresión.

INSUFICIENCIA DE ARMADURAS POSITIVAS EN LAS VIGAS

Dependiendo del tipo de estructura, el problema puede enfocarse desde diferentes ángulos. Si el momento no es muy elevado y siempre que no se someta el hormigón a un aplastamiento, puede optarse por añadir a la viga, por su cara inferior, una armadura en forma de platabanda sujeta con mortero de resina epoxi y por conectores situados a distancias periódicas.

Estos últimos ofrecen una mayor garantía de unión y colaboran con una resistencia a esfuerzo rasante. Debe comprobarse siempre que la deformación admisible de la viga y el cortante sean correctos.

Si no existe inconveniente en aumentar el cuelgue de la viga en aproximadamente 5 cm, puede prescindirse de la armadura existente, rompiendo las bovedillas en contacto con las vigas para ampliar sus dimensiones, colocando la armadura necesaria envuelta por estribos y hormigonando.

Este sistema, que tiene la ventaja de aumentar la rigidez y la resistencia a cortante de la viga, es adecuado para interiores y recomendable en vigas muy deficientes.

De más fácil realización es el refuerzo mediante la colocación de perfiles metálicos, sobre los que se apoyan las vigas de hormigón.

Los perfiles, unidos a collarines que se colocan sujetos con pernos en las cabezas de pilares, presentan un cuelgue apreciable, lo cual hace que este sistema pueda ser desechado por motivos estéticos o de espacio.

En vigas con grandes luces o siempre que se dude de la eficacia del refuerzo, es aconsejable hacer una comprobación mediante prueba de carga.

Una variación de este procedimiento consiste en colocar al perfil metálico conectores unidos al hormigón con mortero expansivo. De esta forma, se consigue mayor resistencia y rigidez, obteniendo una viga mixta.

INSUFICIENCIA DE ARMADURAS NEGATIVAS EN LAS VIGAS

La insuficiencia de armaduras negativas se resuelve añadiendo las barras adicionales necesarias, recordando siempre que la nueva armadura debe tener las mismas características mecánicas que la anterior.

Las barras se fijan, previo picado de la parte superior de la viga, con resina epoxi y, si es necesario, se insertan en los pilares contiguos.

Como alternativa, es posible colocar pletinas sujetas con resina epoxi. Resulta conveniente hormigonar con áridos pequeños.

Si las dimensiones de la viga son tales que no permiten colocar nueva armadura, pueden romperse las bovedillas en los laterales, picando la viga en su parte superior, para colocar la armadura necesaria y sobre ésta estribos en U con patillas.

Es necesario hormigonar con árido pequeño la parte superior de la viga y las zonas de bovedillas en los laterales de ésta.

En cualquiera de los refuerzos citados, se ha de proceder a apuntalar para que las vigas no trabajen mientras se llevan a cabo las operaciones.

VIGUETAS PARTIDAS

Después de hormigonado del forjado, una vez eliminados los puntales, pueden aparecer viguetas fisuradas en sentido transversal, como consecuencia de un apuntalamiento defectuoso o un pretensado deficiente.

MAYORACIÓN DE CARGAS PERMANENTES

Determinación estimada	1,35
Determinación analítica	1,25
Determinación empírica	1,15

MAYORACIÓN DE SOBRECARGAS

Prospección mínima	1,6
Prospección normal	1,5
Prospección intensa	1,4

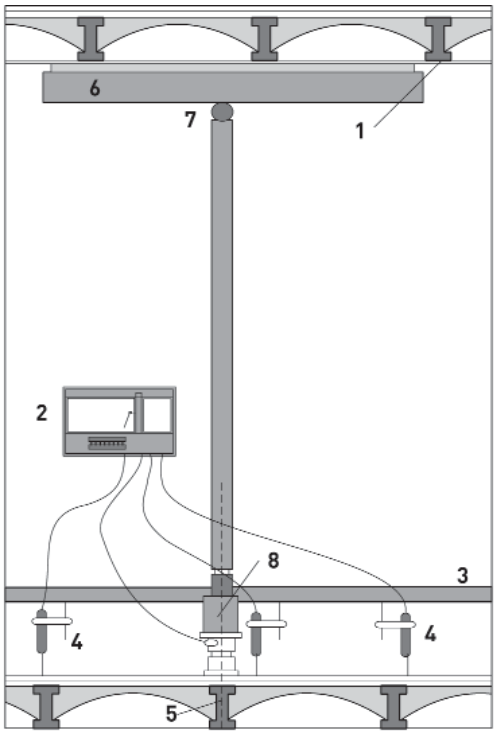
MINORACIÓN DEL HORMIGÓN

Prospección mínima	1,5
Prospección normal	1,4
Prospección extensiva	1,3

MAYORACIÓN DE SOBRECARGAS

Prospección mínima	1,15
Prospección normal	1,1
Prospección extensiva	1,05

COEFICIENTES DE CÁLCULO OTORGADOS POR LA NORMA NRE-AENOR 93



1. neopreno **2.** registro gráfico en tiempo real **3.** cota horizontal de referencia **4.** extensiómetro **5.** eje de la vigueta en estudio **6.** viga de repartición **7.** rótula **8.** sistema de carga hidráulica con descarga rápida

Esquema de funcionamiento de un ensayo de un forjado con carga puntual.

Para solucionar el problema, puede procederse a inyectar resina epoxi en las fisuras y adherir a todo lo largo de la suela de la vigueta una pletina de acero sujeta con resina epoxi.

Si la viga está muy afectada, es preferible recurrir a construir una vigueta *in situ*, paralela a la existente.

DESPRENDIMIENTO DE LAS VIGUETAS DE UN FORJADO

Se trata de un fenómeno relativamente frecuente, que generalmente afecta a la totalidad del forjado. Puede deberse a un hormigonado en horas de calor, a que no se ha macizado de hormigón la zona de apoyo en contacto con la viga, a no colocar armadura de conexión o no introducir la armadura inferior de la vigueta en la viga o al uso de bovedillas muy peraltadas y ajustadas que impiden que penetre el hormigón en los laterales de las viguetas, entre otras causas.

Una solución adecuada cuando se producen caídas de viguetas por pérdida del pretensado, en el caso de ser nula la colaboración de éstas, consiste en proyectar un refuerzo mediante la construcción *in situ* de viguetas paralelas a las existentes.

Para ello, deberá apuntalarse el forjado, partiendo la capa de compresión en una zona paralela a las viguetas o, como alternativa, la parte inferior de las bovedillas, abriendo agujeros superiores para hormigonar. Los laterales de las viguetas deben picarse y limpiarse para facilitar su unión con el hormigón. Al colocar la armadura necesaria, se crean las viguetas “in situ”, hormigonando finalmente.

Un segundo método consiste en vaciar la calle de bovedillas en contacto con las vigas, con la finalidad de unir éstas con el hormigón de la capa de compresión. Se colocan seguidamente armaduras de sustentación a 45º en las cabezas de viguetas, realizando antes unas pequeñas regolas en la parte superior de la viga para introducir las barras. Posteriormente, hormigonar.

Un tercera solución consiste en vaciar las calles de bovedillas en contacto con las vigas, colocar una armadura de sustentación a 45º y macizar de hormigón.

Para que las viguetas restantes trabajen solidarias con el forjado, se pueden insertar tacos químicos taladrados a la distancia obtenida en los cálculos, anclados al hormigón mediante ampollas de resina epoxi. Estos tacos consiguen que las viguetas trabajen unidas al hormigón de la capa de compresión.

FORJADOS CERÁMICOS ARMADOS

Este tipo de forjados, extensamente utilizados en España entre 1930 y 1970 como alternativa que posibilitaba un amplio ahorro de cemento, se definen básicamente por la heterogeneidad de sus componentes: ladrillos cerámicos, un mortero de cemento o de hormigón y barras de acero para el armado de las viguetas.

En sentido amplio, los forjados cerámicos armados son todos aquéllos que usan de algún modo la cerámica, ya sea para absorber las tensiones de compresión, ya sea simplemente como molde para contener el hormigón que constituirá los nervios.

La gran variedad de tipos de forjados cerámicos existente imposibilita crear una clasificación tipológica y, por lo tanto, establecer hipótesis de comportamiento estructural únicas.

Fundamentalmente, son los siguientes factores de variación los que, puestos en combinación, dibujan los diferentes tipos de forjados:

- **USO DE BARRAS**, que permiten su construcción a pie de obra o en fábrica; o de alambres, que exigen que las viguetas sean producidas en fábrica.

- **EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL FORJADO**: desde la vigueta autoportante construida o no a pie de obra hasta el forjado realizado totalmente *in situ*.

- **EL EMPLEO DE VIGUETAS ARMADAS O DE VIGUETAS PRETENSADAS.**

- **EL ROL, ACTIVO O INACTIVO, DE LA CERÁMICA FRENTE A ESFUERZOS A COMPRESIÓN.**

En general, podríamos definir las siguientes tipologías esenciales de forjados cerámicos:

- **FORJADOS CON VIGUETAS ARMADAS EN LOS QUE EL ESFUERZO A COMPRESIÓN ES ABSORBIDO BÁSICAMENTE POR LA CERÁMICA**. Las vigas pueden ser construidas totalmente a pie de obra o en fábrica y el forjado puede haber contado con encofrado total o parcial.

- **FORJADOS DE VIGUETAS ARMADAS, CONSTRUIDAS O NO A PIE DE OBRA, EN LOS CUALES LA CERÁMICA ACTÚA ÚNICAMENTE COMO MOLDE**. Se incluyen semiviguetas resistentes con necesidad de apuntalamiento durante el proceso de construcción y forjados construidos totalmente *in situ*.

- **FORJADOS DE VIGUETAS AUTOPORTANTES PRETENSADAS EN FÁBRICA, EN LOS QUE EL ESFUERZO DE COMPRESIÓN ES ABSORBIDO BÁSICAMENTE POR EL HORMIGÓN**. Pueden haber necesitado, durante el proceso de construcción, un apuntalamiento parcial.

Los defectos que presenta este tipo de forjados están directamente relacionadas con las propias limitaciones de los materiales que los conforman y de las soluciones constructivas adoptadas, así como con el uso a que han estado sometidos, afectando especialmente el escaso mantenimiento de la estructura.

Para la detección de lesiones, el mejor método consiste en realizar una campaña de catas, que permite un reconocimiento en diversos puntos de la construcción y cuyos resultados suelen ser bastante representativos.

En un bloque de viviendas, el número de calas a realizar depende de la altura de éste y del número de viviendas por planta.

Por ejemplo, en un edificio de tres a seis plantas con 3 ó 4 viviendas por planta, se realizan aproximadamente 12 catas.

Se observarán prioritariamente las siguientes ubicaciones:

- **FORJADOS SANITARIOS**. Acostumbran a presentar el peor estado del edificio, generalmente por la escasa o nula ventilación existente. Si son accesibles y no los entorpece ningún tipo de acabado, pueden observarse directamente.

- **FORJADOS DE PLANTA BAJA**. Se han de inspeccionar mediante catas los puntos críticos, bajo la cocina, el baño, el patio de luces y, si existe, el balcón del piso superior.

- **FORJADO BAJO CUBIERTA**. Han de someterse a reconocimiento las zonas en contacto con bajantes y las situadas bajo depósitos de agua. En general, cualquier punto donde se observen filtraciones de la cubierta.





Ausencia de viga de borde en este voladizo de viguetas. Este error constructivo apareja agrietamientos y fisuras múltiples por falta de “solidaridad” estructural.



Empalme pobre y mal realizado entre viguetas y hormigón colado in situ.

- **FORJADO DE PLANTA TIPO**. Se ha de proceder a inspeccionar del mismo modo que en el caso anterior, no siendo necesario llevar a cabo este reconocimiento en todas las plantas.

- **EN CASO DE QUE SE DETECTEN FILTRACIONES EN LA FACHADA**, se ha de proceder a abrir los puntos de apoyo en las cabezas de viga para comprobar en qué estado se encuentran.

A. FALLOS DEBIDOS A LA ALTERACIÓN DE LOS MATERIALES

La corrosión de las barras de armado y los problemas derivados de una baja calidad del hormigón, una mala relación cemento/agua, una alta porosidad del material y otros factores, como la presencia de cloruros, pueden conducir a la aparición de importantes lesiones en el forjado.



Ladrillos de los revoltones agrietados por soportar exceso de carga.

LESIONES RELACIONADAS CON EL CEMENTO Y EL HORMIGÓN

El hormigón fue escasamente utilizado en los forjados en los que la cerámica contribuye en la absorción de los esfuerzos a compresión.

Generalmente, se usó mortero, dado que la estrechez de los espacios que había que rellenar impedían el uso hormigón, caracterizado por sus gruesos granos.

Sin embargo, las "Normas para el proyecto y ejecución de forjados de ladrillo armado" prescribían el uso de hormigón para la capa de compresión, en caso de existir ésta, relegando el mortero a la función de rellenar juntas entre piezas y elementos del forjado.



Refuerzo mal ejecutado. Nótese que la viga metálica de la derecha, no está debajo de la vigueta original sino en el medio del revoltón que trabaja a compresión.

Hay que señalar que los forjados cerámicos se construyeron en general sin capa de compresión. Y es que la obligatoriedad de colocarla no se produce en España hasta la publicación de la norma MV-201 en 1972.

En todo caso, si se utiliza el hormigón como componente de los forjados cerámicos, hay que tener en cuenta que la resistencia y la durabilidad de la estructura dependen en buena parte de la dosificación de cemento que se utilizó y del tipo de éste.

Igualmente, la relación agua/cemento empleada en la fabricación resulta un factor determinante de las prestaciones mecánicas de la masa, al tiempo que determina un hormigón más o menos poroso.

La carbonatación del hormigón, la presencia de cloruros y el ataque por sulfatos son otros factores agresivos a tener en cuenta.

En general, la porosidad, la relación agua/cemento y el contenido de cemento pueden ser indicadores de la resistencia a compresión del hormigón o del mortero, aunque hay que recordar que la resistencia que se exigía al mortero era de Rc= 120 kp/cm^2 y que el contenido de cemento Pórtland 250 había de ser de 400 kg/m^3.

Finalmente, hay que señalar que parte del cemento utilizado en la confección de las viguetas puede haber sido aluminoso.

CORROSIÓN DE LAS BARRAS DE ARMADO

La corrosión de las armaduras en forjados cerámicos es un fenómeno bastante común en condiciones desfavorables. Las manchas de óxido y las grietas en el mortero y/o en la cerámica, siempre en la dirección de la armadura, son los síntomas que permiten detectar este fallo. En ocasiones, una simple inspección visual puede bastar para reconocerla.

En forjados de viviendas, la corrosión no suele ser generalizada en toda la estructura, por lo cual resulta factible y rentable la reparación de las vigas o zonas de forjados afectadas.

Tras la diagnosis, es necesario averiguar en qué estado de avance se halla el proceso y si éste ha ocasionado una pérdida de sección de las barras, ya que ello colabora de modo importante en la resistencia residual de la viga y, por lo tanto, deberá ser tenido en cuenta en el recálculo de la estructura.

Para conocer la sección resistente de las armaduras, será necesario acceder a ellas, previa limpieza de la capa de óxido.

En los forjados cerámicos, es posible encontrar armaduras de diámetros muy diversos, desde 3 milímetros a 16 milímetros, siendo la velocidad con que ataca la corrosión proporcional a la disminución del diámetro de las barras. Por lo tanto, en armaduras pequeñas se alcanza con mayor frecuencia una sección insuficiente.

B. FALLOS DEBIDOS A LESIONES MECÁNICAS

Cualquier forjado sometido a evaluación debe ser capaz de soportar, en condiciones de seguridad, los esfuerzos que le provoca el uso.

Es decir, de manera permanente, su propio peso y el del resto de los elementos fijos. Y, de forma variable, las sobrecargas.

Para evaluar el comportamiento mecánico de un forjado cerámico, es necesario conocer la distribución y los tipos de barras de acero con que se armaron las viguetas; las características resistentes de cada uno de los tres componentes (barras, mortero y cerámica), para los esfuerzos a compresión, a flexión y a cortante; y, si existe corrosión en las armaduras, cuál es la sección afectada.

La estimación de la capacidad resistente es bastante compleja, si se tiene en cuenta la heterogeneidad de los sistemas constructivos y de los materiales utilizados.

En general, la mayoría de los forjados cerámicos no dispone de armadura de cortante, por lo cual este esfuerzo es absorbido por el conjunto hormigón/mortero y cerámica.

El cálculo de la resistencia a cortante no resulta sencillo, ya que ésta depende principalmente de la fricción entre cada pieza de cerámica y el farcido de mortero, aunque es frecuente encontrar zonas de máximo cortante macizadas con hormigón.

La normativa de la época aconsejaba no sobrepasar tensiones tangenciales de 3 kp/cm^2.

En cuanto a la cerámica, al calcular su resistencia a compresión ha de tenerse en cuenta que se trata de un material muy higroscópico y que la tensión de rotura esperada será como mínimo de 175 kp/cm^2, en sección neta, descontando los huecos.





Ejemplos de operaciones de refuerzo con perfiles metálicos de forjados cerámicos.

La formación de flexiones diferenciales en las viguetas, cuando el forjado no dispone de capa de compresión o se produce un comportamiento heterogéneo de los diferentes materiales, se manifiesta a través de fisuras situadas en las zonas de contacto revoltón-vigueta, que pueden incluso proyectarse sobre el enyesado.

Para llevar a cabo un análisis de las prestaciones de este tipo de forjados, es necesario conocer previamente en qué principios se basaban los proyectos en el momento en que se realizó la construcción.

El cálculo de la sección de un forjado cerámico se efectuaba según el denominado método clásico, que consideraba el mismo coeficiente de elasticidad para la cerámica y el hormigón.

La relación acero-hormigón y acero-cerámica era de n=15. Teniendo en cuenta estas equivalencias, la fibra neutra se calculaba a partir del polígono funicular.

Se podía considerar en el cálculo la colaboración de la capa de compresión, siempre que ésta tuviese un grosor de entre 3 y 5 cm.

Los coeficientes de seguridad aplicables eran los prescritos por las "Normas para el cálculo y ejecución de las obras de hormigón armado", según un Decreto de 1941:

- **MAYORACIÓN DE CARGAS: 1**
- **MINORACIÓN DE HORMIGÓN/CERÁMICA: 3**
- **MINORACIÓN DEL ACERO: 2**

Para controlar las deformaciones, esta norma determina el canto mínimo del forjado en 1/30 de la distancia entre apoyos, en el caso de vigas biapoyadas. Si se trata de una viga continua, esta distancia se puede reducir al 80 % con un mínimo de 10 cm de canto.

En el caso de forjados cerámicos de grosor útil mayor a 1/30 de la distancia entre apoyos, la MV 201/1972 acepta que la flecha sea menor o igual a L/320, si soportan tabiques construidos en yeso.

Actualmente, la sección debe ser estudiada por medio del método de ruptura, tomando como zona comprimida el hormigón y los muros de cerámica.

Por su propio diseño, es mejor calcular algunos de estos forjados como nervio del hormigón, sin colaboración de la cerámica.

Es importante la existencia de anclajes suficientes y desconfiar de la armadura con barra corrugada, cuyos delgados recubrimientos sólo pueden contribuir débilmente a la adherencia necesaria.

Pueden recomendarse como coeficientes de seguridad actualizados los establecidos por la norma NRE-AENOR 93.

C. ERRORES DE PROYECTO Y EJECUCIÓN

Una serie de requisitos esenciales en el proceso constructivo y en los tres materiales que componen un forjado cerámico (acero, morteros/hormigones y cerámica) aseguran la estabilidad de la estructura y una correcta respuesta a las solicitaciones a que ésta se halla sometida.

Sin embargo, no siempre se han cumplido estas características mínimas, siendo las omisiones más frecuentes las que se enumeran:

- **DISTANCIA MÁXIMA ENTRE DOS ALOJAMIENTOS DE ARMADURAS** por encima del límite recomendado, que es de 25 mm.

- **SECCIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO MENOR A 5 MM.**

- **RECUBRIMIENTOS DE MORTERO INSUFICIENTES**. La norma establece que éstos serán lateralmente a las barras □ 0,5 cm y en la parte superior e inferior □ 1 cm, sin contar la cerámica.

Otras consideraciones a tener en cuenta:

- **LA ALTURA MÁXIMA DE UN FORJADO CERÁMICO DEBE SER DE 10 CM O 1/30 DE LA DISTANCIA ENTRE APOYOS**, si se trata de un forjado simplemente apoyado.

- **EL GRUESO DE LAS PAREDES DE CERÁMICA HA DE SER DE COMO MÍNIMO 8 ± 1 MM** y el espacio destinado a alojar la armadura ha de tener una anchura de 2 cm.

- **LAS CARAS EXTERIORES DE LAS PIEZAS HAN DE SER ESTRIADAS**, para favorecer la adherencia de la pasta.

- **EL M^3 DE PASTA DE MORTERO TENDRÁ COMO MÍNIMO 400 KG DE CEMENTO**. El relleno de las juntas debía realizarse con mortero y el de la capa de compresión con hormigón.

- **LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ARMADURAS HA DE SER UNIFORME** y las barras han de terminarse en ganchos semicirculares.

D. INTERVENCIONES

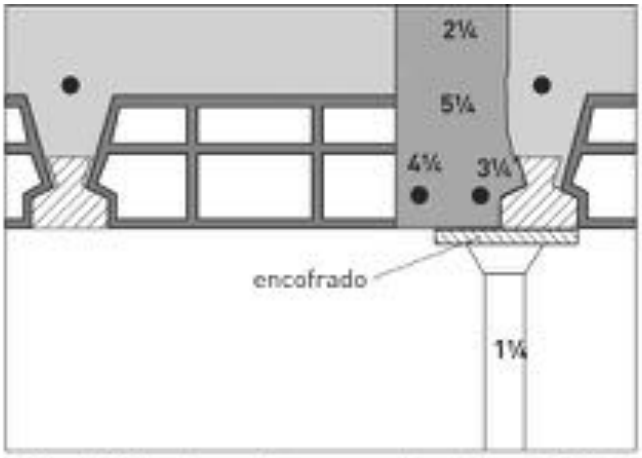
En general y en base al grado de avance de la problemática detectada, la funcionalidad y ubicación del forjado, el presupuesto y otra serie de factores que han de ser tenidos en cuenta antes de elaborar un plan de actuaciones, podemos distinguir cuatro tipos de intervenciones en forjados cerámicos:

- **LA REPARACIÓN O REFUERZO.**
- **LA SUSTITUCIÓN FUNCIONAL DEL FORJADO O DE UNA PARTE DE ÉSTE.**
- **LA SUSTITUCIÓN FÍSICA.**

No obstante, según el sistema constructivo utilizado, encontraremos muchos casos en que una o varias de estas intervenciones se manifiesten totalmente impracticables o muy poco recomendables.

Es el caso de determinadas soluciones constructivas que, ante la necesidad de una actuación sobre su capacidad portante, no ofrecen otra posibilidad que la sustitución funcional. En ocasiones, la propia sustitución física resulta poco factible.

Además, en este tipo de forjados, las distancias entre refuerzo, reparación y sustitución se acortan, solapándose entre sí los diferentes procedimientos.



1. Puntal **2.** Partir capa de compresión existente **3.** Picar lateral de vigueta **4.** Colocar armadura **5.** Hormigonar

Esquema de reparación de un forjado cerámico con viguetas de hormigón pretensado. En este caso se ha comprobado que existe poca ligazón entre las piezas cerámicas y las viguetas y, asimismo, no existe armadura de repartición superior. La solución consiste en macizar la unión con hormigón in situ.

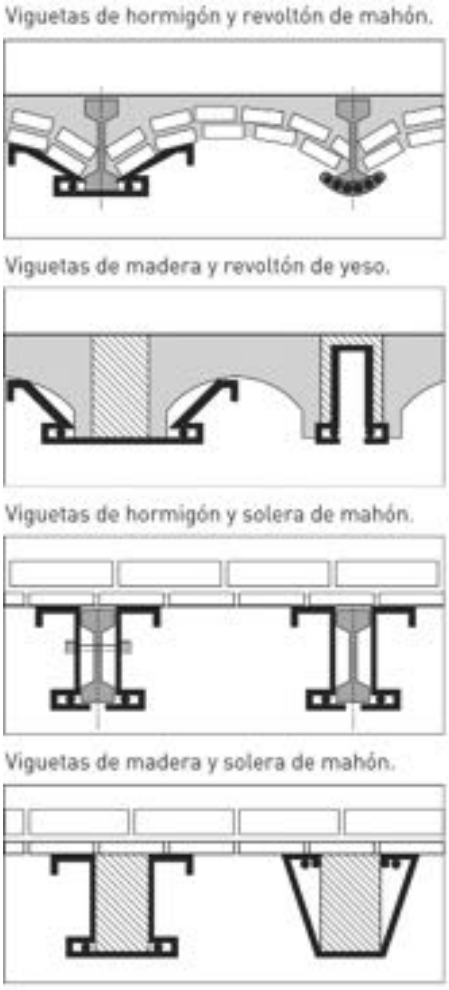
En general, si el espacio lo permite, se preferirá la sustitución funcional (mediante colocación de nuevas vigas bajo las ya existentes o construcción de un nuevo forjado bajo el degradado) a la física, dado que la primera resulta mucho menos destructiva.

A pesar de lo expuesto y, de modo general, los forjados de cerámica armada aceptan con facilidad una reparación de la masa del hormigón o de la pieza cerámica e incluso una ampliación de la cuantía de acero en la sección.

La simple aplicación de pletinas, perfiles y redondos de acero, por medio un encolado con morteros de resina, en la cara inferior de las viguetas, en la parte central del forjado o en los puntos de acciones de las cargas, permitirá un refuerzo eficaz a flexión y a cortante.

Diversas empresas y marcas en el mercado ofrecen perfiles estandarizados, o incluso con diseños especiales a la medida de cada situación, así como perfiles fabricados en tramos telescópicos, más fáciles de manipular.

Existen refuerzos con perfiles y bandas de acero (inoxidable, galvanizado) que entran en carga controlada desde el primer momento. Algunos de estos sistemas están patentados.



Esquemas de sistemas patentados a base de piezas metálicas para refuerzo de forjados de viguetas (sistema COINTECS).

Distinguiremos tres tipos de actuaciones, en base a la tipología de los forjados antes establecida.

En todas la reparaciones descritas, se procederá primeramente a picar el enyesado, para descubrir la zona a reforzar o sustituir.

La entrada en carga se asegurará mediante la aplicación de un mortero sin retracción.

A. FORJADOS EN LOS QUE EXISTE UNA COLABORACIÓN ACTIVA DE LA CERÁMICA ANTE LOS ESFUERZOS A COMPRESIÓN

Las comprobaciones se realizan mediante la aplicación de las "Normas para el proyecto y ejecución de forjados de ladrillo armado".

- **FORJADOS DE VIGUETAS ARMADAS Y AUTOPORTANTES** en los cuales el esfuerzo a compresión es absorbido por la cerámica, con viguetas construidas a pie de obra en posición invertida y colocadas en el forjado una al lado de otra, con un bovedilla prefabricada intermedia. Normalmente, no existe armadura a esfuerzo cortante.

  En este tipo de forjado, la sustitución física resulta compleja, por lo cual es mejor optar por la sustitución funcional, especialmente recomendable cuando se necesita introducir nueva armadura para absorber esfuerzos cortantes.

Se procede a colocar bajo la vigueta existente una vigueta de plancha doblada de acero protegido.

Pueden insertarse también nervios con armadura negativa para esfuerzos positivos, negativos o cortantes.

Si la zona afectada es más amplia, es procedente descansar el forjado completo sobre unas viguetas de plancha de acero complementadas con pletinas transversales de acero protegido.

Frente a la pérdida de altura que suponen las dos intervenciones descritas, puede procederse, si el estado del forjado lo permite, a una reparación que conserva la altura original del elemento.

Consiste en perforar un canal longitudinal a lo largo de toda la parte inferior de las viguetas afectadas mediante una máquina de disco.

Dentro de este canal, se colocará un perfil T de acero, que hará las funciones de refuerzo y, a la vez, de barra de armadura traccionada. El perfil añadido se apoyará sobre un soporte fijado al muro de carga.

El pegado se realizará con un mortero de resina, compatible con el mortero original, a fin de asegurar la adherencia.

- **FORJADOS DE VIGUETAS CERÁMICAS AUTOPORTANTES** construidas a pie de obra en posición invertida, que aceptan un ensamble cerámico entrevigas con un intereje de aproximadamente 60 cm.

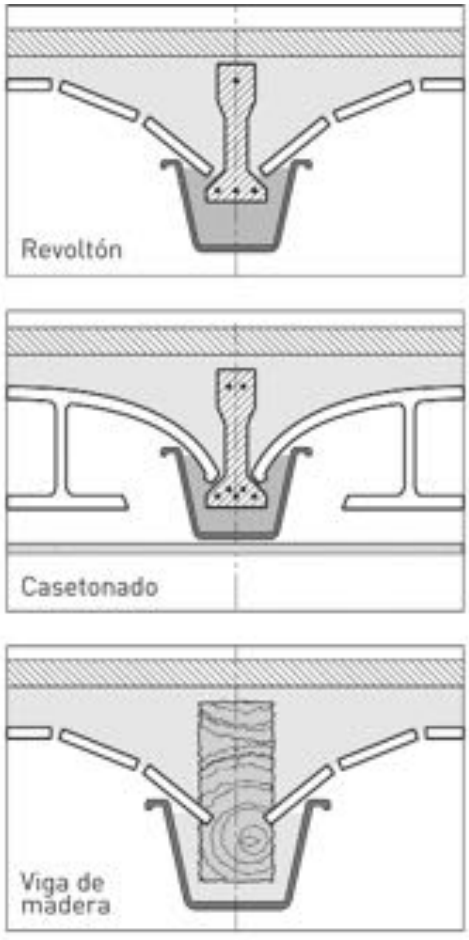
Normalmente, se han construido sin armadura superior ni armadura para absorber los esfuerzos a cortante.

Las intervenciones son prácticamente las mismas que las que se realizan en los forjados con vigas de hormigón.

Para su sustitución funcional, se procede a demoler el cielo raso existente y a colocar una vigueta de plancha de acero entrevigas y una pletina de acero protegido en la parte inferior, de la que se puede prescindir en refuerzos que no lo requieran. Se terminará colocando un nuevo cielo raso.

También es posible colocar la plancha de acero en la parte inferior de la viga cerámica, unida a ella por medio de un mortero sin retracción.

El inconveniente de esta solución es que se pierde mucha más altura que en la anterior.



Sistemas patentados para refuerzos de viguetas de hormigón o madera. (sistema NOU BAU)

Si se opta por realizar operaciones de refuerzo, puede envolverse la cara inferior de la viga con una plancha de acero, unida a aquélla mediante un mortero de resinas que asegure la adherencia y la entrada en carga.

- **VIGUETAS AUTOPORTANTES** construidas a pie de obra en la misma posición en que fueron colocadas en el forjado, una al lado de otra y con una bovedilla intermedia.

  Algunos modelos incorporan armadura para absorber esfuerzos cortantes. En este tipo de forjados, tanto la reparación como el refuerzo son bastante complejos.

  Por ello, es mejor proceder a una sustitución funcional, mediante la colocación de viguetas de plancha de acero bajo las existentes, unidas mediante un mortero sin retracción.

  La nueva estructura absorberá la totalidad de los esfuerzos del antiguo forjado, transmitiendo las cargas a la estructura vertical de modo muy semejante al de aquél.

- **FORJADOS DE VIGUETAS ARMADAS**, construidos *in situ* con encofrado total, armadura de pequeño diámetro muy repartida y sin armadura para la absorción del esfuerzo a cortante.

  Este tipo de forjado, que consiste prácticamente en una losa cerámica, plantea numerosas dudas acerca de las intervenciones de refuerzo, debido a la inseguridad de la adherencia de los materiales.

  La reparación y el refuerzo resultan, además, bastante complejos, dado que la propia configuración del forjado impide el acceso a los nervios.

  Por lo tanto, quedan descartadas acciones de tipo parcial.

  Es mejor optar por la sustitución funcional, apoyando el forjado sobre una plancha grecada y perforada de acero protegido, en toda la luz, sujeta al forjado por medio de tornillos.

  La plancha se fijará mediante un perfil metálico adosado al muro de carga mediante tornillos y tacos adecuados.

B. FORJADOS EN LOS QUE LA CERÁMICA NO INTERVIENE EN LA ABSORCIÓN DE ESFUERZOS A COMPRESIÓN

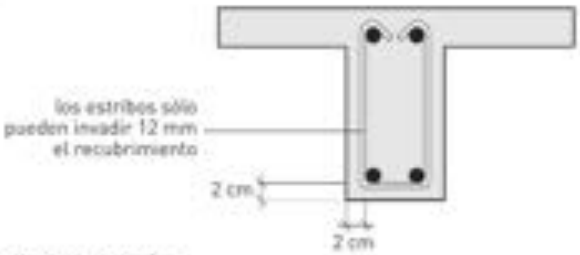
Las comprobaciones se realizarán mediante la aplicación de la norma EF 88.

- **FORJADOS DE VIGUETAS ARMADAS Y AUTOPORTANTES** construidas a pie de obra o en fábrica, en las cuales la cerámica actúa únicamente como molde.

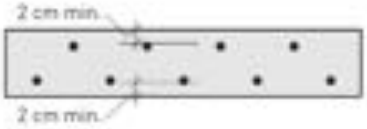
  Su configuración acepta negativos y armaduras para absorber esfuerzos cortantes.

  Además, la sección de hormigón es más amplia que en los modelos precedentes, con interejes de entre 60 y 70 cm.

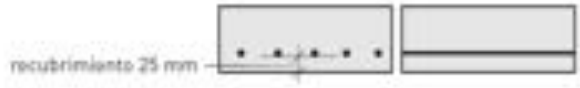
Viga de hormigón armado.



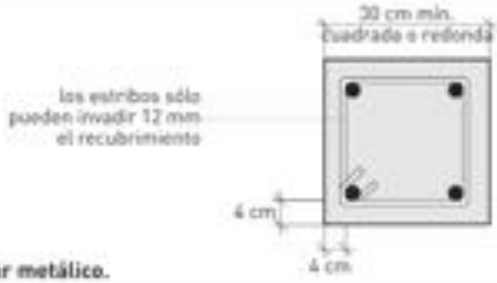
Forjado o pantalla de hormigón.



Forjado de hormigón pretensado.

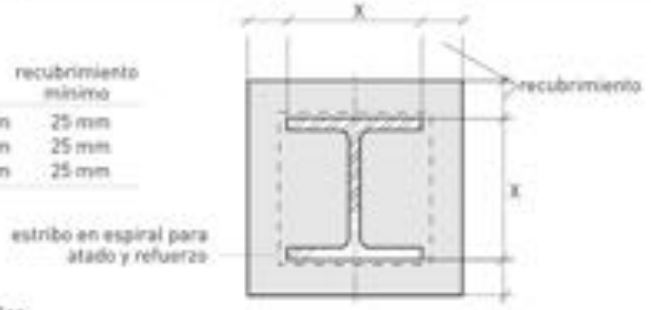


Pilar de hormigón.

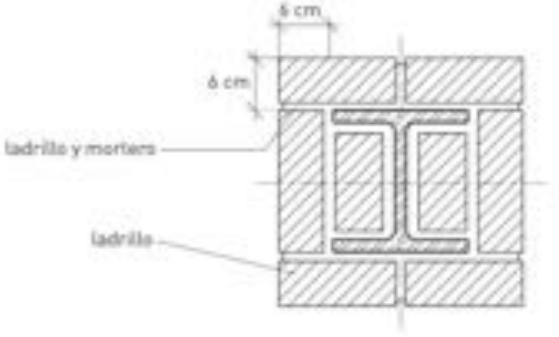


Pilar metálico.

X	recubrimiento mínimo
150 mm	25 mm
200 mm	25 mm
300 mm	25 mm

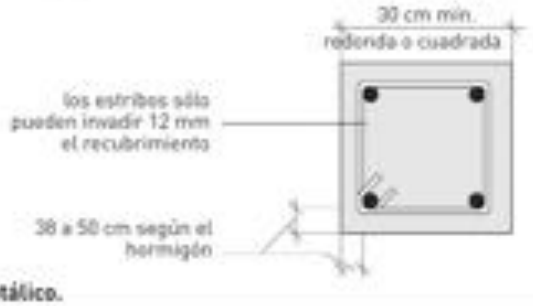


Pilar metálico.

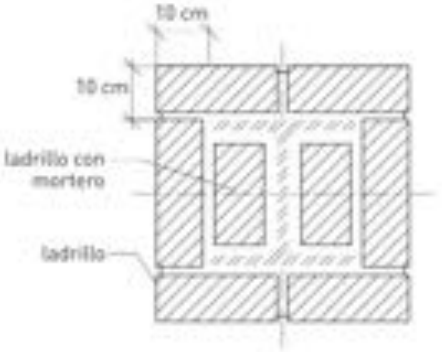


Esquemas de refuerzos o sistemas constructivos para alcanzar elementos estructurales con una hora de resistencia al fuego (RF60).

Pilar de hormigón armado.

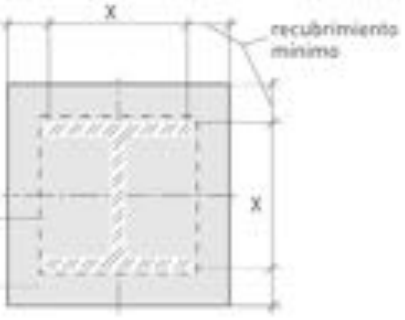


Pilar metálico.

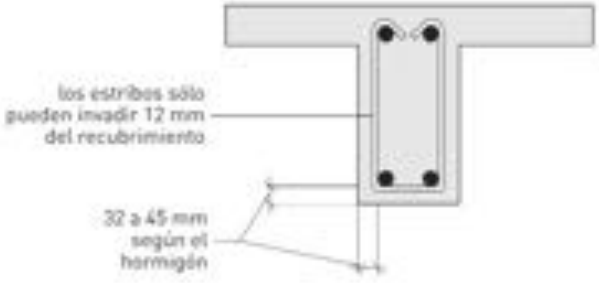


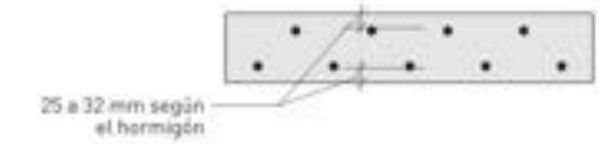
Pilar metálico.

X	recubrimiento mínimo
150 mm	76
200 mm	64 mm
300 mm	50 mm



Viga de hormigón armado.





Esquemas para refuerzos o sistemas constructivos para lograr elementos estructurales con cuatro horas de resistencia al fuego. (RF240)

No son aconsejables el refuerzo ni la reparación, como tampoco la sustitución física.

Se recomienda una sustitución funcional, por medio de alguna de las soluciones que aporta el mercado.

Una posible consiste en colocar, en la parte inferior de cada vigueta, una nueva viga de plancha de acero unida por medio de un mortero que asegure la entrada en carga.

- **FORJADOS DE VIGUETAS SEMIRRESISTENTES**, generalmente fabricadas a pie de obra, que precisan de un apuntalamiento durante su proceso de construcción y en las que la cerámica actúa como molde del nervio del hormigón. Su configuración geométrica acepta armadura superior, pero sin embargo presentan dificultades ante la armadura a cortante. Se hormigonaba en dos etapas.

Mientras que la sustitución física resulta prácticamente imposible, el refuerzo o la reparación son practicables siempre que se realice una demolición parcial de los revoltones, con el objeto de insertar en ellos un perfil de chapa de acero en forma de U que recoja todo el nervio.

Dependiendo de su alcance, esta intervención puede ser considerada como una sustitución funcional. Una solución alternativa consiste en aplicar una vigueta de acero protegido en la parte inferior de las vigas armadas, previo repicado del enyesado, siempre con un mortero sin retracción que asegure la entrada en carga.

- **FORJADOS CONSTRUIDOS IN SITU QUE NECESITAN UN ENCOFRADO TOTAL**. Existen dos tipologías básicas: aquéllos construidos con nervios dentro de la misma pieza y aquéllos en los que los nervios se colocan entre piezas cerámicas. Aceptan tanto armadura superior como estribos. La distancia entre los nervios suele ser del orden de 25 a 30 cm.

- **LA SUSTITUCIÓN FÍSICA QUEDA DESECHADA, AL SUPONER PRÁCTICAMENTE LA DEMOLICIÓN DEL FORJADO**.

Las operaciones de refuerzo o de sustitución funcional implican una demolición parcial de los revoltones o, en su caso, de la cerámica del nervio, y la colocación de un perfil de acero en forma de U o de un perfil en forma de bandeja, de dimensiones suficientes para envolver o recoger la vigueta por su parte inferior.

Este perfil se fija a la pared por medio de un soporte metálico o de un perfil angular.

C. FORJADOS CERÁMICOS CONSTRUIDOS CON VIGUETAS PRETENSADAS

Al tratarse de viguetas autoportantes precomprimidas, fabricadas en taller, es difícil llevar a cabo actuaciones de refuerzo o de reparación, razón por la cual es mejor optar por la sustitución funcional.

Generalmente, ésta se realiza mediante un perfil en U encastrado dentro de la pieza que conforma la vigueta, previa demolición parcial de los revoltones.

El apoyo se efectúa sobre el muro portante por medio de un soporte metálico. Esta operación tiene la ventaja de que no recorta altura alguna.

BIBLIOGRAFÍA

Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación. *J. Calavera. INTEMAC 3ºed. Bilbao, 1986.*

Curso de diseño, construcción y patología de los forjados. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1999.*

Curso de patología. Tomo 1. *AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de patología. Tomo 2. *AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de protección contra incendios en la edificación. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Hormigón Armado*. Montoya-Meseguer-Morán. Gustavo Gili. Barcelona, 2000.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

La obra de fábrica y su patología. *Ortega Andrade. Colegio de Arquitectos de Canarias. Las Palmas, 1999.*

La prevención de daños por incendio en arquitectura. *Luis Herrera Zogby. LIMUSA. México, 1981.*

La seguridad de las estructuras de acero ante el incendio. *Jesús Ortiz Herrera-Julia Villa Celino-Elías Llamazares de la Puente. ENSIDESA. Oviedo, 1989.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Lesiones en los edificios. Síntomas. Causas. Reparación. *AA.VV. Ediciones CEAC. BCN, 1981.*

Los pilares: criterios para su proyecto, cálculo y reparación. *Florentino Regalado Tesoro. CYPE Ingenieros. 1999*

Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó y ceràmics. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 1993.*

Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de cárrega. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 1995.*

Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 1995.*

Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 2000.*

Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas. *Francisco Serrano Alcudia. Fundación Escuela de la Construcción. Madrid, 1998.*

Patología del hormigón debido a la oxidación de la armadura. *TEXSA. División Polímeros.*

Patología y terapéutica del hormigón armado. *M. Fernández Cánovas. Dossat. Madrid, 1977.*

Prevención y soluciones en patología estructural de la edificación. *Manual Muñoz Hidalgo. Manual Muñoz Hidalgo. Sevilla, 1991.*

Recomanacions per al reconeixement , la diagnosi i la terapia de sostres unidireccionals construits amb viguetes metal.liques. *Coord. Rafael Bellmunt i Ribas-María Pía Mónaco. Institut de Tecnología de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1993.*

Recomanacions per al reconeixement i la diagnosi d'estructures porticadas de formigó armat que suporten estructures de fàbrica de maó. *Rafael Bellmunt i Ribas. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1999.*

Recomanacions per al reconeixement la diagnosi i la terapia de sostres cerámics. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1995.*

Recomendaciones para el reconocimiento sistemático y la diagnosis rápida de forjados construidos acon cemento aluminoso. *Fructuós Mañá i Reixach-Rafael Bellmunt i Ribas. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1991.*

Recomendaciones para la terapia de forjados unidireccionales de viguetas autoportantes de Hº. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1997.*

Rehabilitació d'habitatges rurals. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1985.*

Standard details for fire-resistive building construction. *Louis Przetak. Mc.Graw-Hill Book Company. EUA, 1977.*

Tecnología del fuego (2 tomos). *Manuel Pascual Pons. Manuel Pascual Pons. Barcelona, 1977.*

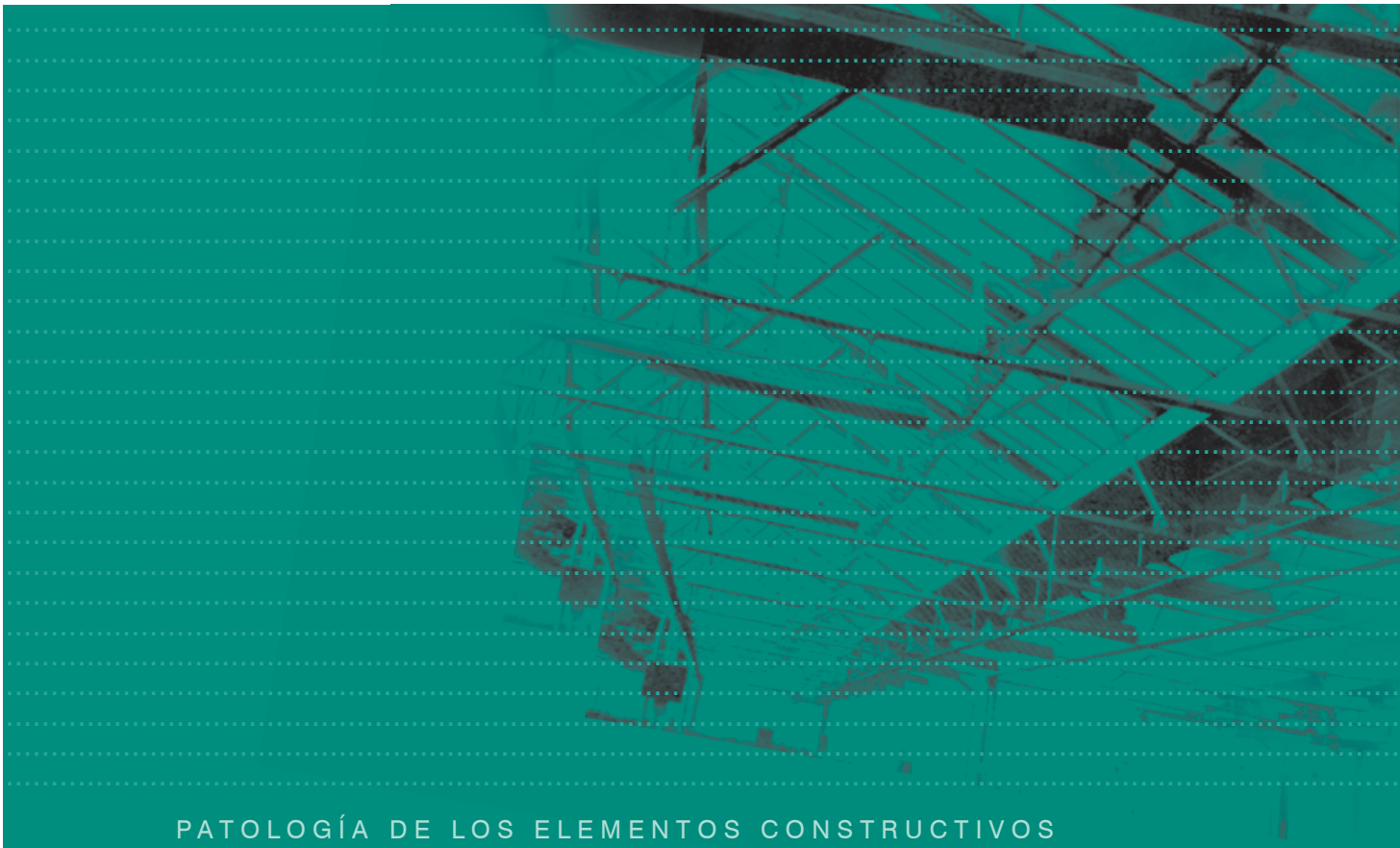
The repair of concrete structures. *Allen-Edwards. Blackie. London, 1987.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 3: Elementos estructurales. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

Recientes intervenciones en monumentos en España. *Rodríguez Ortiz-Monteverde-García Gamallo.*

La torre inclinada de Pisa. Estructuras, materiales de construcción e intervenciones de refuerzo*. Veniale. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*



PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

PATOLOGÍA DE LAS CUBIERTAS

INTRODUCCIÓN.....175

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS.....181

HUMEDAD PRODUCIDA POR FILTRACIÓN DE AGUA.....189

LESIONES MECÁNICAS Y EROSIONES.....227

DEFECTOS DE PROYECTO Y EJECUCIÓN.....241

ALEROS Y CORNISAS.....257

PATOLOGÍA DE LAS CUBIERTAS

INTRODUCCIÓN 175

LOS COMPONENTES 175

PATOLOGÍA DE LA CUBIERTA 178

ACTUACIÓN EN LA CUBIERTA 178

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS 181

PROPUESTAS DE ACTUACIÓN 181

HUMEDAD PRODUCIDA POR FILTRACIÓN DE AGUA 189

HUMEDAD POR CAUSAS ATMOSFÉRICAS 213

HUMEDAD POR DISCONTINUIDADES 222

LESIONES MECÁNICAS Y EROSIONES 227

DEFORMACIONES 227

OTROS AGENTES 230

EROSIONES 231

DEFECTOS DE PROYECTO Y EJECUCIÓN 241

DEFINICIONES Y CASOS 241

FORMACIÓN DE PAR GALVÁNICO ENTRE DISTINTOS MATERIALES 251

ALEROS Y CORNISAS 257

HUMEDADES DE FILTRACIÓN Y CONDENSACIÓN 257

GRIETAS, FISURAS Y DESPRENDIMIENTOS 265

EFLORESCENCIAS 268

ORGANISMOS Y SUCIEDADES 269

EROSIONES 270

DIAGNÓSTICO 272

BIBLIOGRAFÍA 273

INTRODUCCIÓN

La cubierta es uno de los elementos constructivos de mayor importancia en la vida del edificio. Su función es proteger al mismo de las acciones del paso del tiempo y de los agentes atmosféricos y garantizar así un medio favorable para la actividad que en él se desarrolle.

A tal fin, debe satisfacer numerosas condiciones. Fundamentalmente ha de ser estanca, es decir que debe proporcionar impermeabilidad al edificio; debe poseer un cierto grado de aislamiento acústico y térmico; no debe originar ni permitir humedades de condensación superficiales ni intersticiales –que afectan a los componentes de la cubierta–, y ha de ofrecer resistencia mecánica frente a las acciones estáticas, dinámicas, térmicas y eólicas que incidan sobre la misma.

Asimismo, debe permitir las labores necesarias de mantenimiento y reparación.

LOS COMPONENTES

Ante la diversidad de exigencias que debe cumplir la cubierta, sus componentes resultan ser muy variados. El fallo de alguno, o la incompatibilidad entre ellos, dan lugar a patologías que suelen ser origen de humedades de infiltración y/o de condensación.

Así, los componentes fundamentales de la cubierta son la base estructural, el soporte de la terminación y la terminación o revestimiento exterior.

LA BASE ESTRUCTURAL

También conocida como estructura o sistema portante de la cubierta, su función fundamental es dar sostén al conjunto de la misma, la cual puede ser inclinada o plana. En el primer caso, puede ser de poca pendiente (inferior a 15º) o de mucha pendiente (superior a 15º). Con respecto a la cubierta plana, ésta puede ser transitable, no transitable o ajardinada (la cual puede ser transitable o no).

Atendiendo a su tipología nos encontramos con vigas, cuchillos, forjados, mallas y bóvedas cerámicas; en razón de los materiales usados, con soluciones en madera, cerámica, hormigón, acero, etc.; y, por su ordenación espacial, en lineales, superficiales y espaciales. Las solicitaciones que más inciden sobre la cubierta y para las que debe estar prevista son tanto de tipo mecánico (acciones gravitatorias, acciones atmosféricas, viento, variaciones de temperatura), como las propias de cada material.

EL SOPORTE DE LA TERMINACIÓN O ACABADO DE LA CUBIERTA

La función principal de este componente (conjunto de soportes y aislaciones intermedias) es la de servir de apoyo a los materiales de terminación. Las soluciones son innumerables, dependiendo fundamentalmente de los materiales y técnicas constructivas propias de cada lugar y del tipo de cubierta –ripia, tableros cerámicos, prefabricados, hormigones ligeros–.

Este componente es el más afectado, ya que no sólo debe soportar las solicitaciones que inciden directamente sobre él, por lo general debidas a cambios de temperatura, sino que además suele recibir los problemas que presenten los componentes más próximos. Debe ser lo suficientemente dúctil para servir de puente entre la rigidez estructural y la sensibilidad de los materiales del cubrimiento exterior, y aun así debe seguir manteniendo su superficie apta para recibir las aislaciones correspondientes, imprescindibles para evitar patologías subsiguientes.

Básicamente, se puede distinguir entre dos tipos de propuestas constructivas diferentes:

A. SOPORTES DE LA TERMINACIÓN, QUE SE SOLUCIONAN MEDIANTE EL APOYO SOBRE LA BASE ESTRUCTURAL, principalmente utilizados en cubiertas inclinadas pero que también se pueden encontrar en las planas. Los daños más apreciables que se suelen advertir son los siguientes:

- ROTURA DEL TABLERO, que arrastra y rompe al material de cobertura en las cubiertas transitables.

- EMPUJES LATERALES, que afectan a las tabicas perimetrales del cierre de la cámara ventilada.

- MALA EJECUCIÓN DE SUS AISLACIONES provocando daños a la estructura de la cubierta.

En este caso, las propuestas de actuación desde un punto de vista general son:

- INDEPENDENCIA O LIBERALIZACIÓN DE BORDES.

- CÁLCULO ESPECÍFICO DEL TAMAÑO DE LOS CUARTELES Y JUNTAS.

- ROZAMIENTO MÍNIMO DEL APOYO DEL SOPORTE SOBRE TABICAS.

- ESMERO EN LA EJECUCIÓN DE LAS AISLACIONES.

B. SOPORTES DE LA TERMINACIÓN REALIZADOS MEDIANTE RELLENOS DE HORMIGONES LIGEROS. Las solicitaciones que más les afectan son de tipo térmico. En consecuencia, su respuesta se va a expresar en aumentos o disminuciones de su superficie, lo que produce fisuras y roturas en los paños y transmite los mismos problemas a los materiales de terminación o revestimiento de la cubierta. Aquí nos referimos a las cubiertas planas, ya sean transitables o no, y a algunos casos de faldones inclinados que han sido resueltos con este método constructivo. Las propuestas de actuación son:

- **INDEPENDENCIA TOTAL DE LOS BORDES**.

- **TAMAÑO DE LOS CUARTELES** según el tipo de relleno.

- **DISEÑO Y CÁLCULO DE JUNTAS DE CUBIERTA**.

- **ACABADO SUPERFICIAL DEL PLANO DEL SOPORTE** (apto para recibir la terminación y con la pendiente adecuada).

LA TERMINACIÓN O REVESTIMIENTO EXTERIOR DE LA CUBIERTA

Como su nombre lo indica, es la capa o elemento más externo del conjunto de la cubierta. Su diseño y composición están íntimamente ligados al tipo de cubierta escogida. Su función principal es impedir, o disminuir al máximo, las penetraciones ocasionadas por la acción de los diversos agentes meteorológicos (lluvia, viento, nieve). Para simplificar, se pueden establecer dos tipos:

- **COBERTURA DISCONTINUA**: tejas, fibrocementos, pizarras, chapas, losetas, etc.

- **COBERTURA CONTINUA**: membranas soldadas.

Como en el caso anterior, para la terminación o revestimiento también existen dos formas en las que se puede resolver la condición de estanqueidad:

A. LAS TERMINACIONES DE TIPO DISCONTINUO. A partir de piezas de pequeño tamaño se logra la estanqueidad mediante la adecuada relación de dos parámetros, la longitud de solape entre las piezas y la inclinación del faldón. Nos referimos a las cubiertas inclinadas, principalmente porque son éstas las que reciben este tipo de terminación. Los materiales que se utilizan son teja cerámica, pizarra, madera y metal –zinc, chapa galvanizada o prelacada, entre otros–. Los problemas que pueden surgir con mayor frecuencia proceden de solicitaciones que alteran el estado de equilibrio, como por ejemplo el viento, los desprendimientos, los anidamientos de aves e incluso el paso de personas. Las propuestas de actuación, entonces, son las siguientes:

- **SISTEMA DE SUJECIÓN** concordante con la pendiente.

- **LONGITUD DEL SOLAPE** entre piezas de acuerdo con la pendiente.

- **SUSTITUCIÓN** de elementos rotos y plan de mantenimiento.

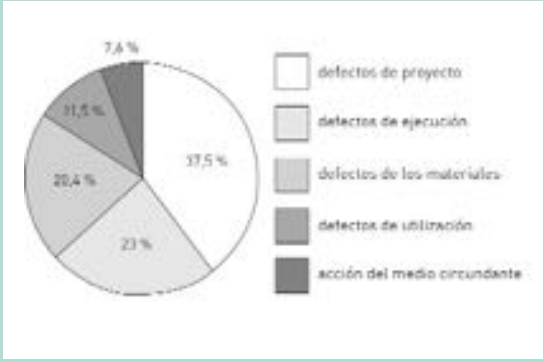
- **REMATES Y ENCUENTROS** con piezas especiales.

- **PROPUESTA DE NUEVO DISEÑO**, si es necesario.

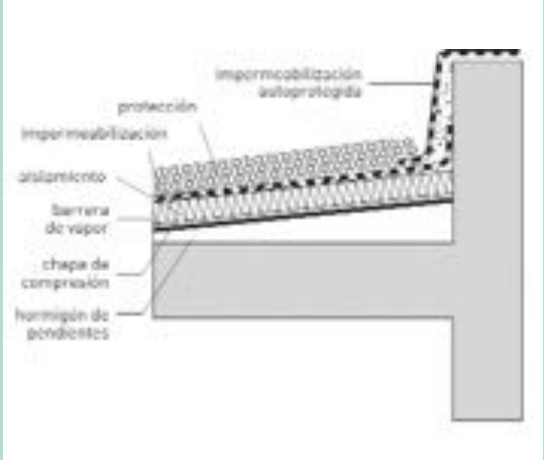
B. LAS TERMINACIONES DE TIPO CONTINUO, que impiden la penetración del agua mediante la unión sin solución de continuidad de unas piezas con otras. En este caso las membranas, tanto de origen asfáltico como las de PVC, son extremadamente sensibles a todas las solicitaciones, ya sean térmicas, atmosféricas o de uso.

TIPO	APLICACIÓN
No transitables Transitables	Edificio de viviendas Oficinas Colegios Otros
Ajardinadas	Plazas públicas Parques
Peatonales	Plazas públicas embaldosadas
Industriales	Almacenes Fábricas Polideportivos

LOS TIPOS DE CUBIERTAS MÁS FRECUENTES Y SUS APLICACIONES EN ARQUITECTURA



Origen de las lesiones en las cubiertas. El estudio es un promedio entre los datos recopilados en Alemania, Bélgica, Dinamarca, Rumania y Yugoslavia. *(Fuente: Curso de Rehabilitación nº 6).*



Correcta realización de las capas de una cubierta plana no transitable.

PATOLOGÍA DE LA CUBIERTA

La patología de una cubierta con cierto número de años no se puede encuadrar en un esquema o cuadro patológico. No obstante, es necesario conocer ciertas acciones, como las enumeradas a continuación, que pueden provocar el envejecimiento de la cubierta y, como consecuencia, la degradación de los materiales que la constituyen.

ACCIONES MECÁNICAS: por regla general, son provocadas por movimientos estructurales, unas veces por falta de cálculo y otras por un asentamiento exagerado de la propia edificación, normal en toda construcción controlada por un estudio geotécnico del terreno. También se incluyen aquí los sismos pero, en realidad, esta posibilidad debería considerarse en la instancia del proyecto.

ACCIONES TÉRMICAS: producidas por los cambios de temperatura existentes en la zona donde está ubicado el edificio. Esto puede ser controlable en su momento si se realiza un estudio térmico que proteja a los elementos que constituyen la cubierta. Esta problemática será analizará con mayor profundidad.

ACCIONES ATMOSFÉRICAS: se pueden nombrar la lluvia, el granizo, la nieve, el viento y la condensación, entre otros.

ACCIÓN DE SOLEAMIENTO: se entiende la consecuencia del recalentamiento de los elementos de cubierta. En época de verano, cuando la temperatura ambiental está comprendida entre los 35-40 ºC, en la superficie de la cubierta se pueden llegar a alcanzar temperaturas de 90-100 ºC. Estos datos hay que tenerlos en cuenta al diseñar la cubierta, y sobre todo al elegir los materiales impermeabilizantes.

ACCIÓN AGUA/HIELO: que se analizará más adelante a propósito de las humedades producidas por filtración de agua debida a causas atmosféricas.

Otra causa del deterioro de la cubierta lo representa el uso de la misma para fines que no han sido pensados a la hora de su diseño, como puede ser la instalación de antenas parabólicas o de TV, generadores eólicos, pararrayos, nuevas bajantes, tendederos comunitarios, trasteros y aire acondicionado. Se podría incluir la mala calidad del material empleado, pero dejamos este punto para el capítulo 4 del tomo 3 de esta publicación, ya que se descarta aquí una mala elección o falta de cuidado al elegir los materiales apropiados.

Por otra parte, el no respetar u olvidar la necesidad de inspecciones y mantenimientos periódicos de la cubierta constituye otra agresión importante.

ACTUACIÓN EN LA CUBIERTA

La actuación, una vez determinada la rehabilitación de la cubierta, se debe analizar con el fin y propósito para la que se ha pensado destinar la misma.

REHABILITACIÓN PARA OTROS USOS: habrá que realizar, en primer lugar, un estudio estructural para las nuevas sobrecargas a que va a ser sometida la cubierta, y en función de éste el proyectista debe diseñar una nueva cubierta con las capas y elementos necesarios que aseguren la estanqueidad correcta.

REHABILITACIÓN COMO MANTENIMIENTO: como regla general se intentará separar lo viejo de la cubierta. Así, se buscará lograr una independencia al formar una capa con materiales pesados o ligeros, con el fin de crear una superficie lisa y uniforme que asegure un buen asentamiento al material impermeabilizante elegido. Este tipo de rehabilitación suele ser el más frecuente, al fallar el material impermeabilizante por envejecimiento, mala calidad o ejecución defectuosa.

Un factor a tener en cuenta es la necesidad de instalar un aislamiento para cumplir la NBE CT-79, basado en el correspondiente estudio higrotérmico, eligiendo el material aislante idóneo.

La actuación en cubierta tendrá un proceso de trabajo distinto en función del tipo de cubrición a rehabilitar, es decir, si es inclinada o plana, lo que se analiza con profundidad en el apartado acerca de las humedades por filtración de agua.

Brevemente, podemos decir que en el caso de cubrición inclinada, que por lo general es de tipo teja cerámica curva o plana y con perfiles de teja a partir de mortero de cemento, coloreadas o vitrificadas, lo primero que debe hacerse es comprobar y analizar la resistencia de las formas de cubierta, así como su grado de envejecimiento y deterioro. Si la resistencia estuviese por debajo de los límites aconsejados por la NBE, será necesario sustituirlas por otras nuevas debidamente dimensionadas para soportar las sobrecargas a que van a ser sometidas.

Y, en el caso de las cubiertas planas, si las mismas tienen protección pesada adherida (embaldosado, chapa de mortero, etc.) los problemas y tratamientos serán iguales en los casos de las cubiertas transitables o no transitables. Si, en cambio, la protección no está adherida y es discontinua (losas en seco o gravilla, por ejemplo), únicamente será preciso distinguir el tratamiento de las juntas de dilatación.

La rehabilitación de la cubierta tiene como objetivo corregir los daños o lesiones que aquella presente y proporcionarle las condiciones que no se cumplan, como suele ser la ausencia de aislamiento térmico adecuado a las exigencias de las nuevas normativas.

Para concluir, es necesario destacar la importancia que adquiere la inspección periódica de la cubierta, cuyo mantenimiento y conservación consisten básicamente en:

- **ELIMINAR LA VEGETACIÓN PARASITARIA.**
- **COMPROBAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE DESAGÜES Y BAJANTES.**
- **COMPROBAR EL BUEN ESTADO DEL MATERIAL DE TECHAR O DE PROTECCIÓN.**
- **VIGILAR LOS AFOLLADOS O PLIEGUES QUE SE PUEDAN PRODUCIR.**
- **OBSERVAR LOS PUNTOS SINGULARES PARA DETECTAR CUALQUIER ANOMALÍA.**

LESIONES CAUSADAS POR MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS

Los movimientos higrotérmicos, o variaciones de humedad y temperatura, provocan una dilatación de las unidades constructivas de la cubierta, en función de sus coeficientes de dilatación potencial y de su técnica constructiva. Cuando las variaciones son negativas, esta dilatación es seguida por una contracción, momento en el cual suelen aparecer las grietas y fisuras.

Los empujes y deformaciones pueden arrastrar al soporte y perjudicar a la terminación en una acción en cadena, o bien el deslizamiento de un apoyo puede romper aleros o petos. Las propuestas de actuación, ya sean referidas a casos de reparación o de nuevo diseño, deben prever los siguientes aspectos:

- **EVALUACIÓN PERFECTA DE CARGAS, SOBRECARGAS Y DE TODAS LAS ACCIONES A LAS QUE VA A SER SOMETIDA.**
- **LIMITACIÓN ESTRICTA DE DEFORMACIONES INADMISIBLES.**
- **CONTROL Y VALORACIÓN EXACTA DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN APOYOS.**
- **CÁLCULO ESPECÍFICO ANTE VARIACIONES TÉRMICAS.**
- **DISEÑO DE LA POSICIÓN Y TAMAÑO DE LAS JUNTAS DE CUBIERTA.**

Los efectos térmicos sobre la estructura pueden ser varios: movimiento horizontal del forjado; fisuras de retracción; movimientos del soporte y desgarro o rotura en la continuidad de las aislaciones; apertura de las uniones o juntas con problemas de filtración; condensaciones en terminaciones interiores; grietas y fisuras en acabados interiores y el empuje de paramentos verticales exteriores e interiores con aparición de grietas.

Con respecto a los efectos térmicos sobre el soporte, nos encontramos con el movimiento horizontal y el empuje de paramentos verticales; el levantado de la terminación o revestimiento exterior; roturas de bordes y panzas en el tablero; apertura de uniones; penetraciones de humedades a la estructura; condensaciones y movimientos en apoyos y desgarro de las aislaciones.

Y, por último, para la terminación o revestimiento exterior de la cubierta, los efectos térmicos comprenden un movimiento horizontal alternativo; láminas arrugadas, pliegues, despegues y roturas de piezas; penetración de humedades con pudrición aislante, disgregación del soporte y condensaciones, y juntas, remaches y sujeciones fuera de servicio.

PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Ante los movimientos higrotérmicos nuestra posible actuación directa es bastante limitada, en especial cuando estos inciden en los cerramientos. Aunque se logren mitigar un poco los cambios de temperatura, mediante tratamientos exteriores que, por ejemplo, disminuyan la radiación solar directa, a largo plazo la variación térmica es inevitable. En conclusión, proteger al cerramiento de la cubierta implica necesariamente un cambio de diseño.

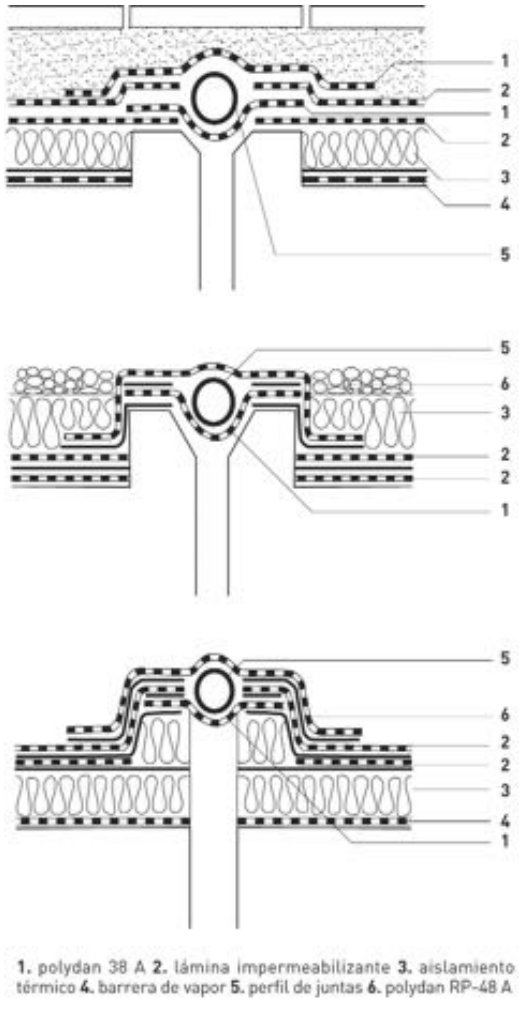
CUBIERTAS DE FALDÓN ESTRUCTURAL: la acción de la temperatura no afecta en forma determinante a los sistemas de revestimiento exterior, dado el pequeño tamaño de las piezas y la liberalización de unas respecto a las demás.

No obstante, en aquellas soluciones cuyas piezas se anclan mecánicamente, con dos de ellas o más en el mismo mecanismo de sujeción, se pueden producir desgarros de los materiales.

El problema se corrige si se incorporan las tolerancias dimensionales que para cada material y tamaño de pieza se precise con el fin de absorber los movimientos relativos. Generalmente, los tableros están constituidos por piezas relativamente pequeñas y fijadas a la base estructural, independientes unas de otras, por lo que son muy poco sensibles ante esta solicitación.

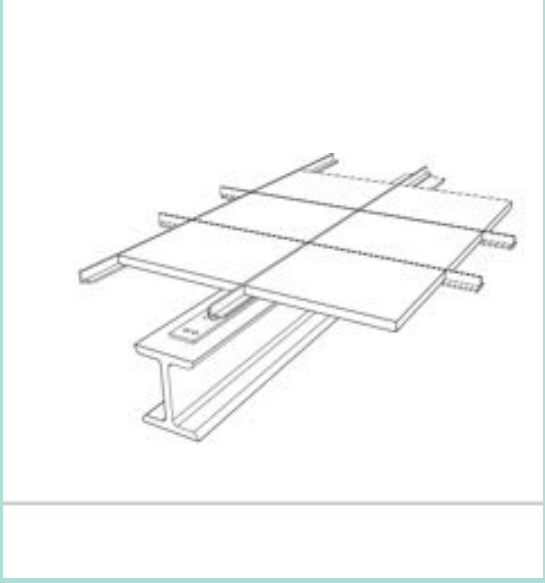
En este caso también deben tenerse en cuenta las soluciones consistentes en anclar varias piezas mediante un solo elemento de fijación común a todas ellas, que puede impedir el desplazamiento de unas respecto a otras.

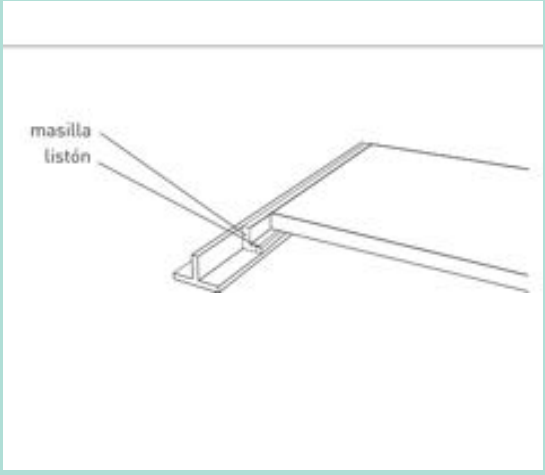
CUBIERTAS VENTILADAS: en todas sus variantes, tienen en común la misma ordenación constructiva de sus componentes, un comportamiento térmico e higrotérmico de similar naturaleza y una misma solución para lograr la estanqueidad.



1. polydan 38 A **2.** lámina impermeabilizante **3.** aislamiento térmico **4.** barrera de vapor **5.** perfil de juntas **6.** polydan RP-48 A

Ejecución de la junta de dilatación de distintos tipos de cubiertas planas.





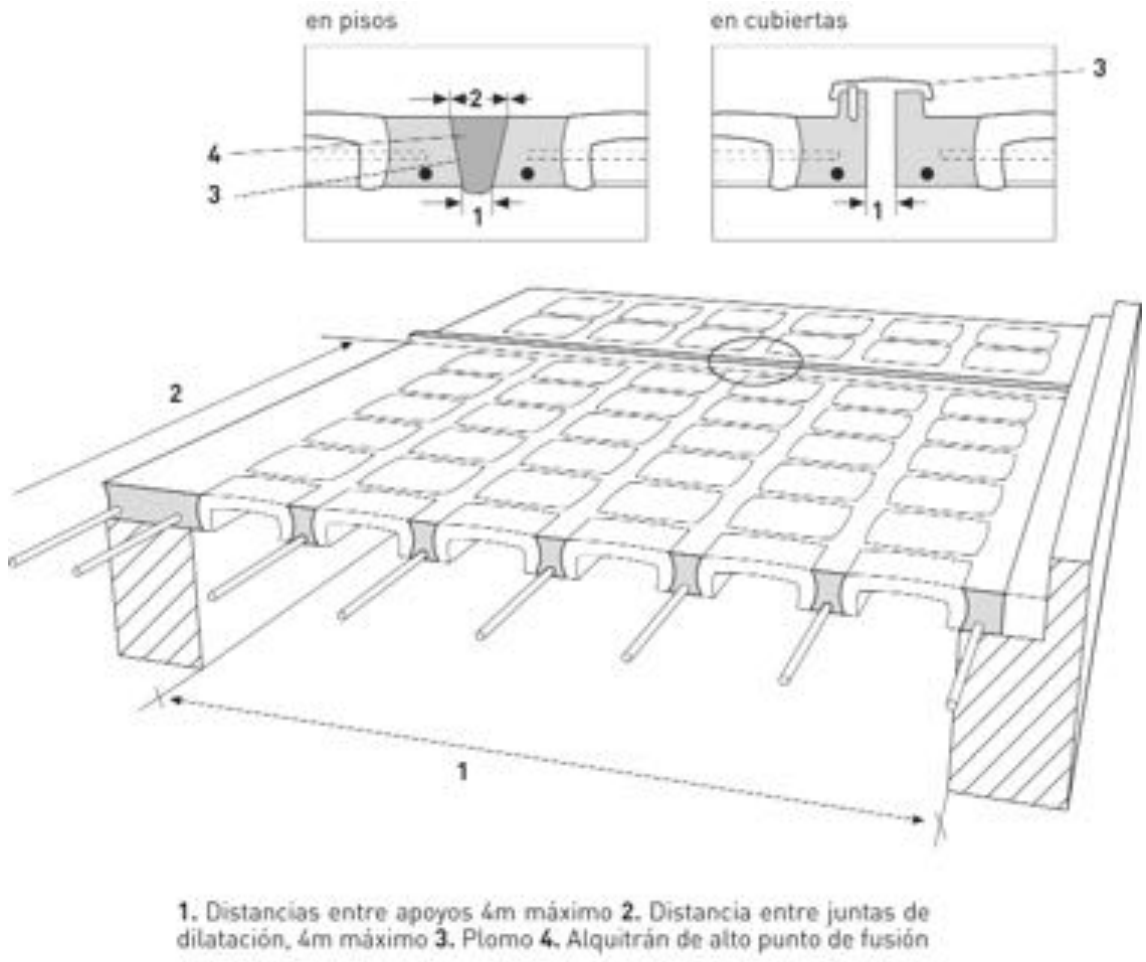
Correcta colocación de un pavimento transitable flotante sobre estructura de perfiles metálicos.

La base estructural está formada por planos completos –forjados– con pendiente cero y horizontales. El soporte de la terminación está constituido por planos continuos de diversa naturaleza, tanto en lo que concierne a los materiales utilizados en cada caso, como a su ordenación y combinaciones posibles.

Los planos se hallan separados de la base estructural mediante tabicas interpuestas, lográndose de esta manera la pendiente necesaria y la cámara ventilada, característica de este tipo de cubiertas. Es decir, la solución constructiva se realiza mediante dos hojas.

La terminación o revestimiento exterior, habitualmente, es de tipo discontinuo. En faldones con pendiente superior al 15 %, las soluciones son similares a las cubiertas de faldón estructural (teja, pizarra, zinc, etc.). En las de pendiente inferior al 3 % con tránsito de personas, suelen ser pavimentos cerámicos adheridos al soporte.

En faldones con pendiente superior al 15 %, el soporte de la terminación o tablero posee unas condiciones de rigidez que ante demandas de tipo térmico responde con movimientos y, en algunas ocasiones, con roturas.



1. Distancias entre apoyos 4m máximo **2.** Distancia entre juntas de dilatación, 4m máximo **3.** Plomo **4.** Alquitrán de alto punto de fusión

Elaboración de juntas de dilatación en cubiertas y forjados reticulados de hormigón y cerámicos.

Las terminaciones discontinuas absorben con facilidad este comportamiento del tablero, al cubrir con sus solapes estos posibles movimientos.

Estas situaciones no suelen ser fuente de grandes problemas. Se podrían disminuir los movimientos del tablero incorporando por encima del mismo una capa de paneles de un producto aislante intemperie (célula cerrada) y volviendo a recuperar la cobertura a modo de protección pesada.

En faldones con pendiente inferior al 3 %, o sea casi planos, el agente climatológico que más incide sobre el conjunto soporte de terminación-terminación es la temperatura. Al cambiar entre el día y la noche y entre verano e invierno, produce movimientos de gran amplitud que rompen los paños y provocan empujes laterales sobre los bordes, causando traumatismos en las tabicas y baberos perimetrales.

Combinada esta acción térmica con el agua de lluvia se producen penetraciones que progresan hasta afectar al resto de los componentes (estructura y aislaciones) y al propio edificio. Existen dos acciones que en todos los casos es imperioso resolver al mismo tiempo, medidas que detallamos a continuación:

- **REDUCIR LA AMPLITUD DE LOS MOVIMIENTOS**. Para esto hay que hacer que las diferencias de temperatura que inciden sobre el conjunto terminación-tablero sean menores, lo que se consigue protegiendo la superficie con aislamientos, que tienen una acción directa sobre los componentes perturbados. En ningún caso supone un cambio del comportamiento ventilado de la cubierta.

- **Y, A LA PAR, CORREGIR LA PENETRACIÓN DE AGUA EXTENDIENDO MEMBRANAS IMPERMEABLES FLOTANTES**, por lo que es muy recomendable que su sistema de fijación no esté adherido. La posición de la membrana con respecto al aislamiento puede sujetarse a un orden convencional o invertido. Considerando que algunas variantes de este tipo de cubierta pueden ser transitables, las soluciones indicadas deben protegerse siempre con pavimentos.

Estas soluciones no implican un cambio en el comportamiento del conjunto de la cubierta; simplemente son medidas para controlar los movimientos, impedir el paso del agua y posibilitar su uso transitable.

CUBIERTAS NO VENTILADAS: la función de la base estructural es siempre de tipo resistente. Este componente está sujeto a solicitaciones que se traducen en deformaciones, dilataciones, contracciones y tensiones higrotérmicas, y con este comportamiento puede incidir, a su vez, sobre el soporte y la membrana.

El soporte puede ser la propia base estructural inclinada o bien puede estar constituido por materiales ligeros, que forman capas de pendientes y reproducen una superficie llana completa.

La estanqueidad se logra mediante materiales bituminosos soldados entre sí, que permiten cubrir toda la extensión de forma continua.

Los componentes de las cubiertas no ventiladas se integran en una hoja. Los aislamientos, barreras cortavapor, capas separadoras, protecciones de las membranas y/o aislamientos, se hallan organizados en un bloque compacto que implica la dependencia funcional de los componentes entre sí, razón por la cual el comportamiento de cada uno de ellos se transmite directamente a los otros.

Por lo general la base estructural no está sujeta a grandes esfuerzos de dilatación-contracción, ya que las diferencias de temperatura están bastante controladas en razón de las protecciones aislantes, por lo que los movimientos que pudieran producirse debido a esta causa son de pequeña amplitud.

No obstante, deben establecerse juntas de dilatación en los encuentros con petos de fachada. Si bien no es factible separar la base estructural de los paños verticales, lo que generaría traumatismo y nuevos daños, sí es posible aumentar la capacidad aislante de la cubierta mediante soluciones invertidas, con el fin de disminuir los diferenciales térmicos sobre todos los componentes.

Los elementos del perímetro (petos, chimeneas, casetones) también se ven afectados por los cambios dimensionales que provoca la acción térmica, debiendo soportar empujes.

La solución de cubierta invertida requiere la utilización de un aislante de baja capacidad de absorción de agua, pero permite una disposición de capas más coherente con el comportamiento higrotérmico del cerramiento que implica la cubierta. El aislante proporciona mayor durabilidad a la membrana: la protege ante las variaciones térmicas extremas y ante las acciones mecánicas, biológicas y químicas.

Pero la membrana puede verse afectada, e incluso puede romperse, por las fisuras y grietas que proceden de retracciones originadas durante el fraguado y que están en constante movimiento de apertura y cierre. Ante una situación así, las medidas de reparación aconsejadas son las siguientes:

- **CREACIÓN DE JUNTAS EN ENCUENTROS CON ELEMENTOS VERTICALES**. Si fuera posible, incrementar número y tamaño de las mismas.

- **AUMENTAR LA PROTECCIÓN AISLANTE**, mediante solución invertida, con objeto de disminuir los movimientos excesivos del soporte.

- **INTRODUCIR CAPAS SEPARADORAS ENTRE EL SOPORTE Y LA MEMBRANA** para evitar punzonamientos de la misma. Esta solución supone acciones de tipo traumático con reposición de la membrana y aislamiento.

La membrana es el componente más característico de este tipo de cubiertas y su función es la más importante: producir la estanqueidad. Asimismo, es el componente más afectado por los movimientos de la cubierta que se producen a raíz de los diferenciales de temperatura, especialmente cuando se halla adherida totalmente al soporte, lo que implica acompañar a otro material cuyas características físicas y mecánicas son de índole diferente.

La respuesta más idónea ante estas situaciones es adoptar medidas que permitan liberar unos componentes de otros. Pero si estos movimientos ya han producido roturas en la membrana, hay que levantarla y actuar sobre el soporte, si es posible también sobre la base estructural, creando juntas e independizando los elementos verticales.

En segundo lugar se debe elegir la membrana más adecuada a las temperaturas de la zona, tras lo cual se propone un sistema de fijación que permita su independencia del soporte. Y, como última medida, se aislará eficazmente el conjunto, aunque la manera de llevarlo a cabo sea mediante un sobredimensionamiento.

Es bastante frecuente encontrar reparaciones de cubierta en las que la filtración se suponía por la junta de dilatación –con o sin acierto– y, no sólo no se ha reparado ésta, sino que se ha eliminado, reponiendo «parches» de nueva membrana por encima de la junta, uniendo los dos lados.

Estas reparaciones acaban fracasando, aunque al principio funcionan bien gracias a las buenas propiedades elásticas de los nuevos materiales impermeabilizantes y sus protectores –sobre todo, gofrados de aluminio–. No obstante, a largo plazo las variaciones dimensionales producen el despegue o la rotura de la lámina.

Los pavimentos que se utilizan para resolver las terminaciones en cubiertas transitables o inclinadas también sufren variaciones dimensionales con los cambios de la temperatura ambiente, por lo que es necesaria la existencia de juntas que absorban estos movimientos. Los principales problemas que pueden aparecer con los pavimentos son:

- **INSUFICIENCIA DE JUNTAS**: cuando la cubierta no tiene juntas o tiene pocas, la obra las abre por su cuenta, formando grietas y levantando baldosas. Si el pavimento está adherido a la impermeabilización, arrastra a ésta en su movimiento y le provoca fisuras.

  En este caso debe descubrirse la zona afectada para que se repare la impermeabilización. Cuando se corrija el pavimento habrá que formar juntas allí donde la misma obra las ha marcado.

- **JUNTAS POCO ANCHAS**: tienen consecuencias similares a las del caso anterior, ya que cuando la punta se contrae la masilla sobresale con exceso. Al rehacer la junta se aumentará su anchura y se agregarán nuevas juntas si se evalúa necesario.

- **JUNTAS SIN SELLAR**: el sellado de las juntas evita la penetración de materiales extraños y en especial de piedras, grava y materiales rígidos. Cuando la junta está vacía estos materiales entran libremente pero, al contraerse por efecto de un cambio de temperatura, quedan comprimidos en su interior y perforan la impermeabilización.

  Tras la reparación de la junta, será preciso sellarla con una masilla elástica.

- **MASILLAS DESPRENDIDAS LATERALMENTE**: antes de aplicar la masilla deben tratarse los bordes de la junta con una imprimación. De lo contrario, cuando la junta se ensancha la masilla puede desprenderse de uno de los dos lados, hecho que favorecerá la aparición de una grieta.

En cubiertas constituidas principalmente por obra de fábrica, se debe tener en cuenta que el mecanismo de dilatación de las fábricas también depende mucho del tipo de mortero que se emplee: un mortero poco rígido puede absorber parte de la dilatación de los elementos unitarios y reducir así la dilatación del conjunto; un mortero rico transmite mejor la dilatación de un mampuesto al otro y, en consecuencia, la dilatación global resulta mayor. En general, la humectación de un material poroso, como es el caso de las fábricas, produce su dilatación, mientras que la desecación provoca una retracción, fenómeno por el cual pueden aparecer las fisuras.

Éstas, a diferencia de las grietas, se producen cuando dichos movimientos no son excesivos.

En casos de estructuras y soportes de terminación a base de cemento, los daños ocasionados por el comportamiento térmico de la cobertura, el soporte de la cobertura (carpeta de hormigón pobre) y la base estructural (forjado de hormigón armado), afectan a enlaces, nudos y juntas de dilatación.

Por lo tanto, primero hay que solucionar el problema de la dilatación no controlada y los apoyos deficientes; se continúa con las reparaciones de limas, juntas y enlaces y, por último, se repara o sustituye el material de cobertura.

HUMEDAD PRODUCIDA POR FILTRACIÓN DE AGUA

Por lo general, cuanto más fácilmente se evacue el agua, mayores garantías de estanqueidad a la misma tendrá la cubierta. En consecuencia, ciertos componentes del diseño, las pendientes de los faldones y su correcta distribución y los elementos de recogida y evacuación de aguas, pueden evitar el 80 % de las causas que originan la pérdida de la estanqueidad de las cubiertas.

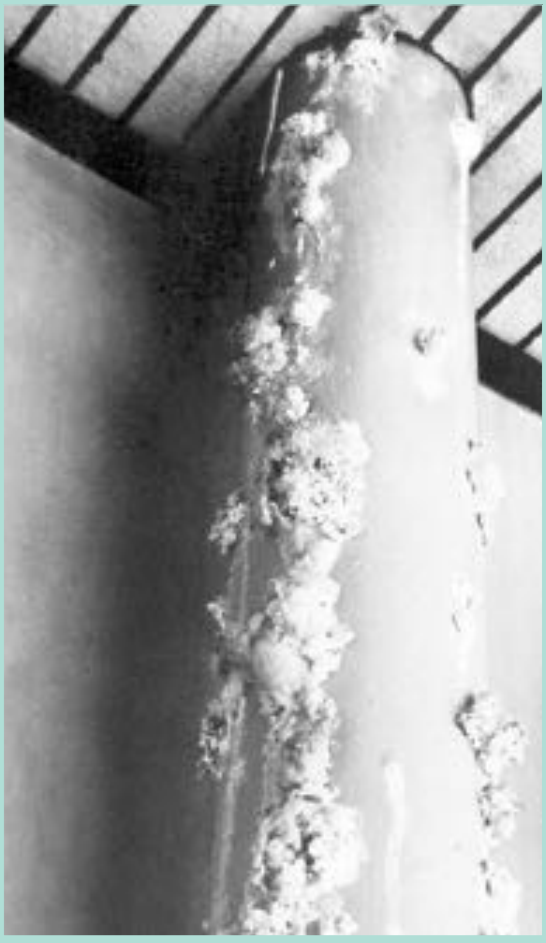
Las exigencias de estanqueidad al agua aumentan cuando disminuyen las pendientes de los faldones, la capacidad de absorción del substrato y la posibilidad de eliminación de la humedad acumulada y, a su vez, cuando son afectadas negativamente las propiedades de los materiales por la humectación, como es el caso de los aislantes en general.

Las humedades específicas que constituyen un proceso patológico para este elemento constructivo son las humedades de filtración, que aparecen como consecuencia de la filtración de agua desde el exterior hacia el interior, produciendo goteras.

También, aunque en menor medida, pueden darse casos de humedades de condensación, las cuales provocan serios daños.

Cuando aumenta el contenido de humedad de los materiales aislantes se eleva el coeficiente de conductividad térmica. Esto lleva a que la cubierta, agravada por la evaporación del agua existente entre el aislante y la impermeabilización en la solución invertida al tomar calor, sufra una pérdida en su poder aislante.

La evolución de estas pérdidas dependerá del tipo del material aislante y, más concretamente, de su coeficiente de absorción de agua y de la precipitación de agua de lluvia medida en mm/día. Es posible distinguir varios tipos de humedades de filtración en función de su situación, de la procedencia del agua y del camino que ésta recorre. A continuación se presentan las situaciones más significativas y las respectivas propuestas de actuación.



Filtración de agua en la cubierta con caída por la columna. La permanencia de la humedad ha favorecido a su vez la aparición de una flora de hongos.

HUMEDAD POR FILTRACIÓN EN CUBIERTA PLANA

En este tipo de cubiertas la estanqueidad se basa en una membrana impermeable que resiste por sí misma la filtración del agua y que permite su permanencia en la cubierta hasta que vaya drenando por los sumideros que la canalizan hacia las bajantes o gárgolas correspondientes, lo que también requiere cierta inclinación.







Los rayos UV han resecado estos cordones de caucho provocando filtraciones y el levantamiento del pavimento. En la tercera fotografía restos de material de construcción han obturado el drenaje de la cubierta.

La penetración de agua se produce por una de las causas siguientes, siempre y cuando existan fisuras, poros y/o brechas ocasionadas por múltiples causas:

- **POR GRAVEDAD**, si el orificio lo permite.
- **POR PRESIÓN HIDROSTÁTICA** en aquellos puntos en los que el agua permanece detenida o estancada.
- **POR EL EFECTO NEGATIVO QUE EJERCE LA PRESIÓN DEL VIENTO**, que puede empujar el agua contra la pendiente y facilitar su penetración en ciertos casos.
- **POR LA ENERGÍA CINÉTICA** o de impacto del agua en su discurrir por la cubierta.
- **POR CAPILARIDAD**, si el material de techar es poroso.

El deterioro de la protección deja a la impermeabilización expuesta a los rayos ultravioletas, al ozono y a la acción solar directa que altera la estructura fisicoquímica del material que no esté tratado. El envejecimiento del material por lo general es acompañado por un aumento de rigidez, fragilidad, pérdida de resistencia y tendencia a la contracción en los materiales bituminosos asfálticos. Por otro lado, pueden presentarse filtraciones de agua por la resolución incorrecta de los puntos singulares.

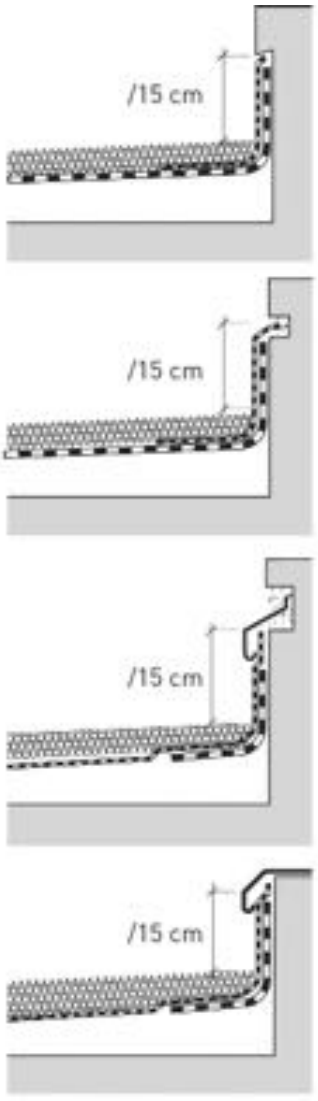
La causa principal de penetración de agua suele ser la rotura o despegue del borde de la membrana impermeable, lo que produce la filtración por uno de esos puntos. El agua alcanza la estructura horizontal y corre por ella hasta encontrar una vía de entrada que provoca la gotera con una manifestación en tres etapas: mancha, rezumado y goteo.

Si el drenaje es insuficiente, o está obstruido, una gran acumulación de agua puede rebasar el borde superior de la membrana.

Pero si no existe membrana impermeable, y la estanqueidad se basa exclusivamente en baldosas u otro material, la filtración suele generarse en una acumulación de agua por falta de pendiente y una junta constructiva entre baldosas.

Excepto en aquellos casos en los que es evidente la filtración por los bordes, dada la localización precisa de la lesión, puede producirse un distanciamiento notable entre el punto concreto de la filtración desde el exterior y el de la aparición del síntoma. Entonces se debe seguir un proceso de eliminación a base de dividir la cubierta en «cuarteles» –coincidentes en alguno de sus lados con limatesas o con las juntas de dilatación existentes– de unos 30 m² de superficie como mínimo, o según la distribución de los sumideros. Se irá probando uno a uno de la siguiente manera: se levantan paredes provisionales en su perímetro, se taponan los posibles desagües y se llena de agua. El agua se dejará durante algunas horas, hasta comprobar la aparición o no de filtración en esa zona. Si no hay filtración, se repite la operación en la siguiente. Una vez localizada la zona afectada por la perforación, se repone la membrana impermeable haciéndola alcanzar una limatesa o junta de dilatación para evitar que, a pesar de soldar la nueva tela, haya filtraciones entre ellas.

En el caso de que dichas roturas se hayan producido por punzonamiento al acceder a la cubierta para su mantenimiento, entonces, además de reponer la membrana, conviene establecer unos «pasos de mantenimiento» mediante algún tipo de pavimento que no perjudique a la membrana que se encuentra debajo. Para ello, podrían utilizarse las baldosas de mortero aligerado sobre «colchón» de espuma de poliéster que se apoyan directamente sobre la membrana y sirven de protección ante el sol y otras inclemencias.

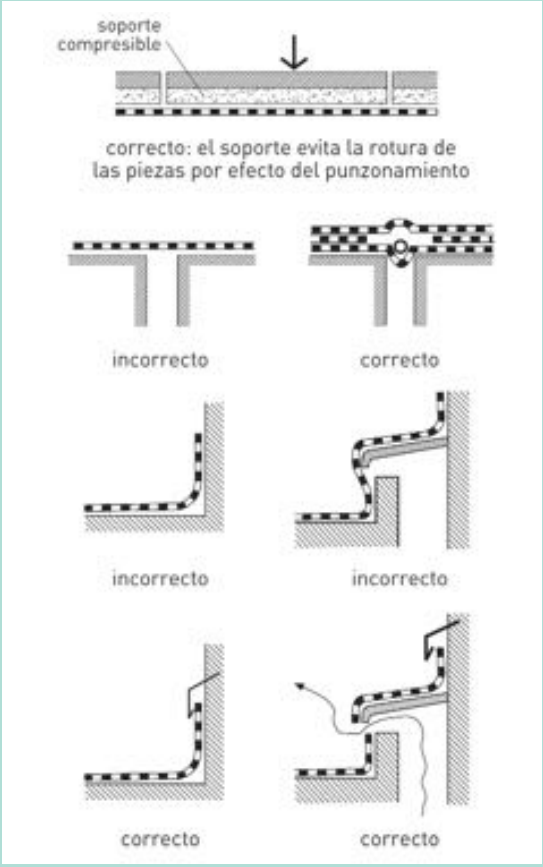


Distintos tipos de encuentros entre un faldón y un elemento vertical.

Si la superficie de la cubierta es reducida suele ser conveniente, incluso, cubrirla toda mediante ese tipo de baldosas, sobre todo si se prevé un acceso frecuente para mantenimiento. En este sentido debemos señalar que la gravilla como elemento protector de la membrana impermeable puede ser peligroso por su facilidad de provocar punzonamientos.

Si el problema está en el solape vertical, filtrándose el agua entre membrana y soporte, debemos revisar dos aspectos:

- **EL PROPIO DRENAJE**, que puede estar obstruido y permitir una excesiva acumulación de agua en la cubierta que rebase el nivel del solape de la membrana. Entonces habrá que proceder a una limpieza del sistema de sumideros y bajantes asegurando su mantenimiento periódico, así como el buen estado de las «alcachofas» o rejillas en las bocas de los sumideros para impedir que entre suciedad en ellos.



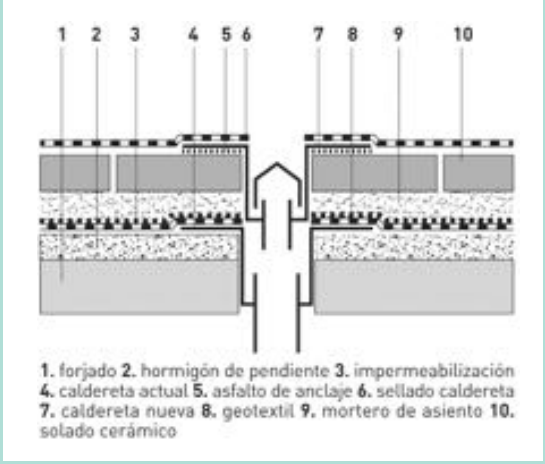
Medidas constructivas preventivas de las filtraciones en cubiertas planas.

- **LA PROPIA EJECUCIÓN DEL SOLAPE** en el que, probablemente, se han cometido dos errores: falta de protección superior fundando estanqueidad en la adherencia entre los dos materiales –la cual acaba desapareciendo por acción de los rayos ultravioletas–, y falta de independencia con respecto al peto o paramento vertical correspondiente.

La actuación debe encaminarse a anular ambas causas: si la dimensión de la cubierta es pequeña y no requiere independencia, se protege la unión con algún tipo de babero empotrado en el peto; si, en cambio, la dimensión es importante, hay que ejecutar una zabaleta para independizar la membrana del peto.

Si el problema radica en la ausencia de membrana bajo el pavimento, la reparación exige colocarla. Se puede levantar el pavimento y reponerlo luego, o bien aprovecharlo como base para la nueva impermeabilización y agregar otro nuevo. En este caso, reparar con poliéster reforzado con fibra de vidrio puede resultar un sistema excesivamente rígido, que obliga a estudiar bien las juntas de dilatación y la independencia de los bordes; sin embargo, ofrece una lámina muy dura contra punzonamiento.

En cualquier caso, conviene analizar las diferentes situaciones que se pueden presentar, en función de los tipos de faldones, láminas impermeables y protecciones.

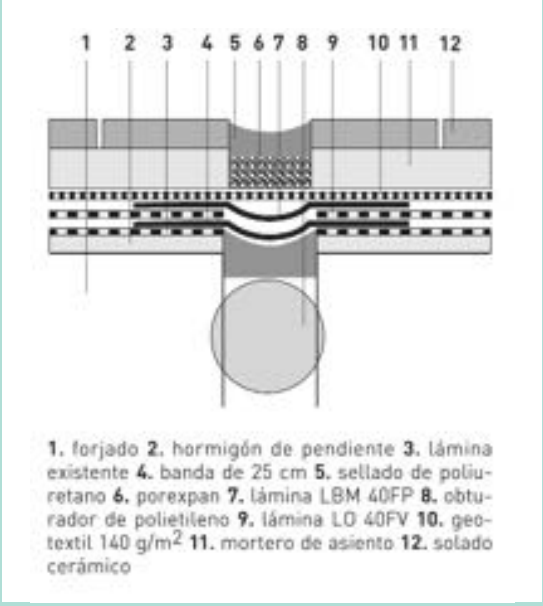


Reemplazo funcional de una caldereta vieja por una nueva sobre un pavimento cerámico.

CUBIERTA SIN CÁMARA DE AIRE: una vez que se produce la filtración a través de la membrana impermeable y se encuentra con un mortero aligerado (poroso), tenderá a embeberlo y, a menos que exista una grieta (bastante frecuentes en estos casos), no llegará a su base sin haber empapado una porción nada despreciable.

En la base se encontrará, posiblemente, con una barrera de vapor que le impedirá el paso. Entonces se irá desplazando horizontalmente por encima de dicha barrera, ampliando la humectación del mortero aligerado, hasta encontrar algún tipo de interrupción en la misma, ya sea en un solape de láminas o en un borde. Por allí pasará a la estructura donde seguirá el camino más directo para atravesarla que será, por lo general, una junta constructiva u otra grieta.

Es así como puede aparecer en el interior del local en un punto alejado de su origen. Sólo en el caso de que no haya barrera de vapor, la gotera puede coincidir con la vertical de la filtración.



1. forjado **2.** hormigón de pendiente **3.** lámina existente **4.** banda de 25 cm **5.** sellado de poliuretano **6.** porexpan **7.** lámina LBM 40FP **8.** obturador de polietileno **9.** lámina LO 40FV **10.** geotextil 140 g/m^2 **11.** mortero de asiento **12.** solado cerámico

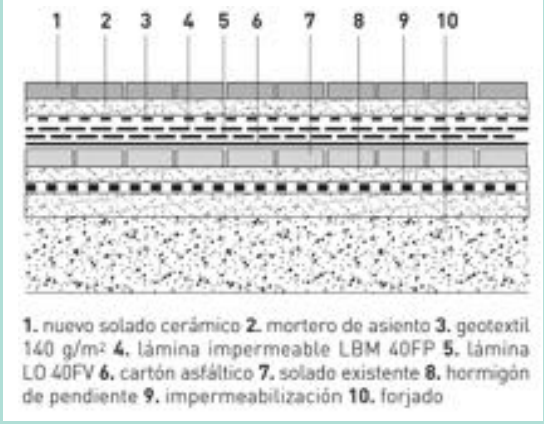
Detalle de la pavimentación de una cubierta plana transitable en el punto donde se encuentra la junta de dilatación.

CUBIERTA CON CÁMARA DE AIRE: el agua, una vez que ha traspasado la membrana impermeable, se encuentra con un faldón de rasilla enrasado con mortero de cemento que tardará en atravesar, a no ser que se encuentre con una grieta, lo que aquí ya no es tan frecuente.

Al pasar el faldón penetrará en la cámara donde, normalmente, se encontrará con una plancha de aislante a la que embeberá. Si por debajo de ella hay una barrera de vapor, no la podrá atravesar hasta no encontrar algún punto débil o encuentro con tabique palomero, y entonces iniciará un recorrido horizontal hasta el mismo. Nuevamente surge el problema de la falta de coincidencia en vertical de la gotera con el punto de filtración.

Si no existe la barrera de vapor puede haber menor distancia entre ambos, pero, en cualquier caso, debe preverse un recorrido horizontal del agua por encima de la superficie del faldón hasta que lo pueda atravesar.

Para otras combinaciones de cubierta, con o sin cámara de aire, se ha de analizar su composición para diagnosticar aproximadamente el recorrido que puede realizar el agua.



1. nuevo solado cerámico **2.** mortero de asiento **3.** geotextil 140 g/m^2 **4.** lámina impermeable LBM 40FP **5.** lámina LO 40FV **6.** cartón asfáltico **7.** solado existente **8.** hormigón de pendiente **9.** impermeabilización **10.** forjado

Repavimentación de una cubierta transitable. Es importante en este tipo de operaciones verificar si la nueva carga podrá ser soportada por el forjado existente.

CUBIERTA PLANA NO TRANSITABLE: la filtración de agua de lluvia es consecuencia de irregularidades en la capa impermeable, los desagües o la junta de dilatación. Las causas pueden ser varias, pero por regla general se debe a una falta de mantenimiento o envejecimiento de los materiales que constituyen la cubierta. Se pueden relacionar las causas en cinco grupos genéricos:

- **MECÁNICAS**: asentamientos, grietas, roturas.
- **TÉRMICAS**: dilataciones, empujes, deslizamientos.
- **ATMOSFÉRICAS**: lluvias, granizo, nieve, viento.
- **AGUA/HIELO**: aumento de volumen en capas.
- **SOLEAMIENTO**: recalentamiento de las capas.

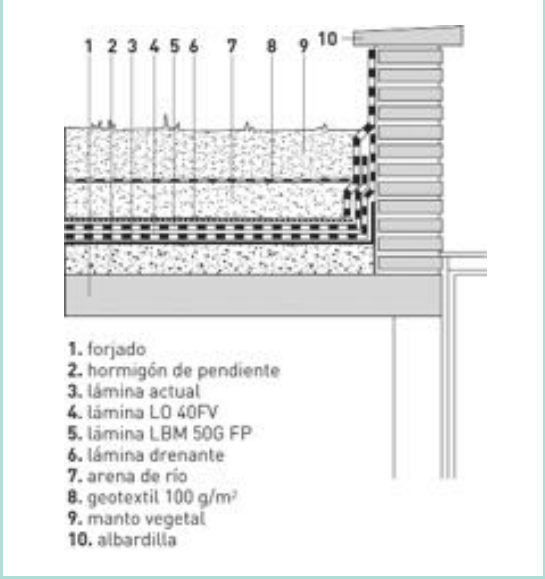
Describimos a continuación el proceso de actuación recomendado para este tipo de cubierta:

- **RETIRAR LA PROTECCIÓN PESADA, GRAVA DE RÍO**, y dejar al descubierto la lámina impermeabilizante existente.
- **COLOCAR UN CARTÓN ASFÁLTICO** –como elemento o capa separadora– sobre la lámina existente solapada entre sí de 5 a 10 cm.
- **IMPERMEABILIZAR CON DOBLE LÁMINA CRUZADA FLOTANTE**, unidas entre sí con adhesivo asfáltico en frío. La primera lámina ha de ser de oxiasfalto catalítico de 4 kg/m², armada con fieltro de fibra de vidrio de 60 g/m² y norma UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm, cumpliendo la norma QB 90 UNE 104 238, tipo LO 40FV. La segunda lámina debe ser a base de betún polimérico tipo APP de 4 kg/m², armada con fieltro de poliéster de 140 g/m² y UNE 104 204, y ha de cumplir la norma QB 90 UNE 104 242/2, tipo LBM 40FP, solapada entre sí de 3 a 5 cm. La instalación de la impermeabilización tiene que cumplir la normativa QB 90, sistema PA 8.
- **EXTENDER UN GEOTÉXTIL DE HILO CONTINUO** de polipropileno soldado térmicamente (140 g/m²), solapado entre sí de 10 a 15 cm.
- **FORMAR LA PROTECCIÓN PESADA** extendiendo la grava existente.

Antes de reimpermeabilizar es conveniente demoler los rodapiés de lámina autoprotegida para poder lavar la nueva lámina o láminas. Posteriormente se debe originar un nuevo rodapié de lámina autoprotegida de grano mineral, de 0,33 m de desarrollo como mínimo, y elevado en el peto de cubierta de 15 a 20 cm, unido con adhesivo asfáltico en frío y anclado mecánicamente con perfil metálico y sellado de poliuretano monocomponente.

Si las dimensiones de la cubierta exigen la existencia de junta de dilatación, se debe demoler la existente y limpiarla profundamente, para a continuación realizar una nueva junta mediante el siguiente proceso:

- **LIMPIAR LA JUNTA Y SUS LABIOS** por métodos abrasivos.



Rehabilitación de una cubierta ajardinada. Los espesores del manto vegetal y de arena deben determinarse según la capacidad portante de los forjados.

- **IMPRIMAR LOS LABIOS** con poliuretano líquido monocomponente en base disolvente y dejar evaporar.

- **INTRODUCIR EN LA JUNTA DE DILATACIÓN** un perfil de espuma de polietileno de célula cerrada, como fondo de junta, con un diámetro superior a un 25 % del ancho y una profundidad de la mitad del mismo, con plantilla de madera que represente el perfil del sellado.

- **SELLAR LA JUNTA** con masilla tixotrópica de poliuretano monocomponente que polimerice a 5 ºC y a humedad ambiente. La profundidad del sellado no debe superar los 10 mm ni ser inferior a los 6 mm. Es recomendable que el sellado se realice con la junta abierta, es decir, cuando la temperatura exterior sea máxima, aunque el módulo de elasticidad o rotura sea superior al 400 %.

- **COLOCAR UNA BANDA DE 0,25 M DE ANCHO DE LÁMINA POLIMÉRICA** con armadura de fieltro de poliéster, adherida en los labios de la junta con adhesivo asfáltico en frío y formando bucle.

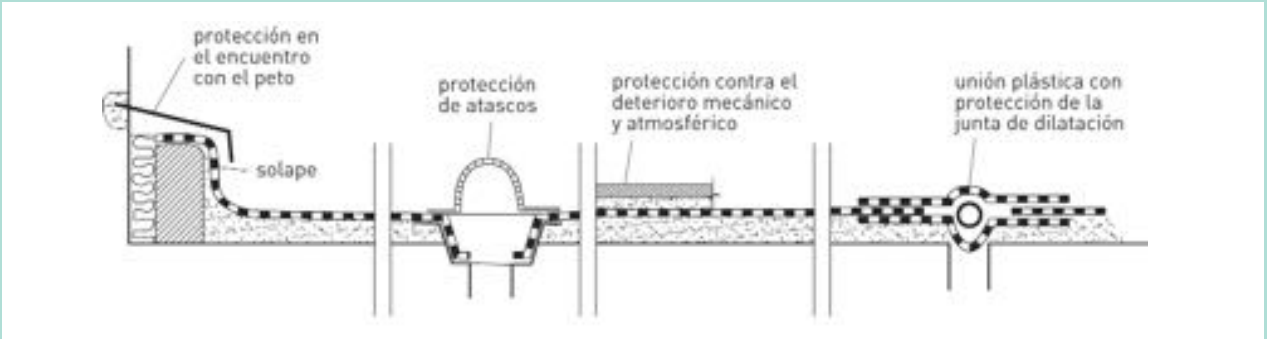
Es aconsejable la inspección de las calderetas de desagüe para efectuar una revisión minuciosa de su estado. En el caso de detectar cualquier anomalía es rentable la sustitución de la caldereta por otra nueva a partir de materiales más modernos y perdurables al paso del tiempo, como pueden ser la «goma Dutral» o PVC de exteriores.

CUBIERTA PLANA TRANSITABLE: por lo general, no es sencillo localizar el origen de una filtración de agua de lluvia. Esto se debe tanto a la existencia de capas que protegen la impermeabilización por encima, como a las que se encuentran por debajo de ella (chapa de mortero, hormigón de pendiente, aislamiento, forjado, enyesado). Son varias capas, entonces, las que pueden cambiar el curso del agua que las atraviese.

Es conveniente realizar un plano con la localización de los puntos de humedad en la parte inferior de la terraza, y luego comprobar su situación por encima de ella.

Por otra parte, existen unas zonas en las cubiertas en general que suelen ser los «puntos negros» o zonas más conflictivas. Estos son:

- **ENTREGAS A PARAMENTOS VERTICALES.**
- **CHIMENEAS, SHUNTS, PATINEJOS.**
- **BAJANTES.**
- **JUNTAS DE DILATACIÓN.**
- **JUNTAS DE EMBALDOSADOS.**
- **ANCLAJES** (tendederos de ropa, antenas de TV o telefonía, fijaciones de cables, rótulos, barandillas metálicas).
- **BASTIDORES DE PUERTAS.**

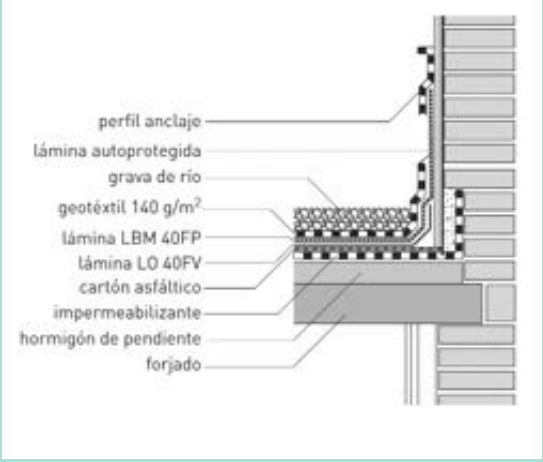


Prevención de filtraciones en cubiertas planas.

Atendiendo a estas zonas conflictivas, lo recomendable en primera instancia es comprobar si las humedades coinciden con alguna de ellas o están en su proximidad. Hay que tener en cuenta que rara vez la humedad aparece en un punto más alto que el lugar de la impermeabilización en el que exista el fallo; por el contrario, casi siempre aparece en un lugar más bajo y precisamente situado según el recorrido del agua a lo largo de la pendiente hacia el desagüe más próximo. Las terrazas cuyo forjado es reticular, de hormigón compacto, pueden ser una excepción a esta norma general, ya que la humedad sólo lo atraviesa en las discontinuidades (juntas de hormigonado, grietas, aberturas para desagües, etc.).

Considerando estos puntos conflictivos tan frecuentes en las cubiertas que nos ocupan, pasaremos a describir las medidas de reparación pertinentes.

ENTREGAS A PARAMENTOS VERTICALES: (mimbeles) los defectos más usuales, causa frecuente de filtraciones, pueden ser la ausencia de rozas perimetrales; defectos de adherencia de la impermeabilización; una roza mal preparada; la ausencia de medias cañas y la falta de junta en el embaldosado perimetral.



Detalle del encuentro de una cubierta no transitable con muro medianero.

Al no existir la roza, el agua que resbala por la pared o barandilla la empapa superficialmente, pasa por detrás de la impermeabilización y llega al interior del edificio. La actuación correcta consiste en retirar el mimbel, cortar la impermeabilización y formar la roza, tratar con imprimación la zona y finalmente reponer la impermeabilización y el mimbel.

Con respecto al segundo defecto señalado, un ejemplo de esta falta de adherencia se puede dar en las impermeabilizaciones asfálticas, cuando no se ha dado una imprimación al contorno o se ha hecho de una forma defectuosa, por ejemplo al pintar cuando la zona todavía está húmeda, al utilizar una pintura de emulsión acuosa y al soldar la impermeabilización antes de su secado total. La reparación implica cortar la impermeabilización del contorno, aplicar una buena imprimación y reponer la impermeabilización cuando aquella esté completamente seca.

En lo correspondiente a las rozas, se debe tener en cuenta que éstas, una vez abiertas, quedan irregulares, por lo que es necesario pulirlas con un poco de mortero de cemento. De esa manera la unión de la impermeabilización con la obra es correcta y se elimina la posibilidad de que los resaltes perforen la lámina.

Otra consideración de importancia es que las láminas impermeabilizantes deben adaptarse perfectamente a los contornos. Teniendo en cuenta que cuanto más gruesa es la lámina más difícil se hace doblarla en ángulo recto, si las aristas no están romadas quedará un hueco entre ellas y la impermeabilización. Este hueco facilita la rotura de la impermeabilización, no sólo por los movimientos de dilatación y contracción que pueda sufrir el pavimento final, sino incluso durante los trabajos de colocación del mismo.

Debido a estos cambios dimensionales a que son propensos los pavimentos, si no se prevén juntas en los contornos, a pesar de que la impermeabilización se halle bien adherida y existan las medias cañas preceptivas, con el tiempo la impermeabilización se corta por efecto de la presión que el pavimento ejerce contra los contornos. Si no existen estas juntas hay que comprobar el estado de la impermeabilización y proceder a su reparación, si está defectuosa. Llegado el momento de reponer el pavimento, se formarán dichas juntas.

SHUNTS, CHIMENEAS Y PATINEJOS: estas zonas suelen ser conflictivas ya que generalmente están construidas con material de obra muy delgado. La formación de rozas es muy difícil y en ocasiones ni siquiera se preparan y, si a esto le sumamos los defectos o la ausencia de imprimación, la posibilidad de filtraciones aumenta considerablemente. Las soluciones son las indicadas para el caso de las entregas a paramentos verticales, pero si verdaderamente no se pueden hacer rozas, se sustituirán por una mejor imprimación y por una mayor altura en las entregas de la impermeabilización. No siempre la humedad que aparece junto a shunts y chimeneas proviene de defectos en la impermeabilización. Ocurre también que el agua, con lluvias intensas, puede entrar por su coronación, cuando esta no existe o es defectuosa. Antes de proceder a levantar mimbeles o embaldosados es conveniente comprobar si el origen de la filtración es el indicado.

BAJANTES: recogen el agua de toda la cubierta y cualquier defecto en ellos se pone de manifiesto de inmediato. Las soluciones de continuidad más frecuentes suelen ser:

- **CORTES EN LA IMPERMEABILIZACIÓN**: como la embocadura del bajante y el forjado no son una única pieza, sino que se hallan unidos por un material de agarre, puede suceder que los resaltes de éste o un defecto de la embocadura hayan dañado la impermeabilización. La posibilidad crece si la embocadura fue cortada para adaptarla al nivel preciso tras colocar la chapa de compresión sobre el hormigón de pendiente. Los resaltes o irregularidades que puedan existir en esta zona deberán pulirse y a continuación se reparará la impermeabilización.

- **ENTREGA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN SIN ADHESIÓN A LA EMBOCADURA**: si el bajante se obtura y se llena de agua, ésta penetra en la cubierta por debajo de la impermeabilización y produce filtraciones. Este problema suele aparecer cuando se emplean embudos prefabricados con la lámina impermeabilizante, ya que rara vez se ajustan al diámetro exacto del bajante y, por otra parte, suelen dejarse sin adhesión. La reparación consiste en adaptar correctamente la entrega y fijarla de forma adecuada.

- **PERFORACIÓN DE LA EMBOCADURA**: cuando se aplica una lámina asfáltica y los desagües son de plástico, puede suceder que el operario funda parcialmente el plástico al soldar la lámina. En este caso debe sustituirse la pieza deteriorada y hacer con cuidado una entrega a la impermeabilización.

- **EMPALMES DEFECTUOSOS DE LA BOCA DE LOS BAJANTES**: con frecuencia se suele aplicar la impermeabilización estando colocada la embocadura, no así la totalidad de la instalación de desagües. Al intentar no deteriorar la unión impermeabilización-boca de desagüe, puede ocurrir que lo que quede defectuoso sea la unión de la embocadura con el resto de la instalación. Es conveniente revisar estas uniones ya que, a menudo, ciertas humedades que se atribuyen a la impermeabilización son en realidad defectos de la instalación de evacuación de aguas.



Elaboración de una nueva aislación para impedir humedades por filtración y condensación en una cubierta plana transitable.

En este tipo de cubiertas planas se tiende a mantener lo existente, evitando de esta manera trabajos costosos y molestos para los usuarios del edificio, siempre y cuando exista en cubierta la suficiente altura en peto y casetón de salida. El proceso de trabajo en estos casos sería el siguiente:

- **LIMPIAR LA SUPERFICIE DE CUBIERTA**, mediante barrido, para recoger restos del solado exfoliado, hojas, papeles y cables.

- **EXTENDER Y COLOCAR UN CARTÓN ASFÁLTICO** como elemento separador sobre el solado existente, solapado entre sí de 5 a 10 cm.

- **IMPERMEABILIZAR CON DOBLE LÁMINA FLOTANTE** y adheridas entre sí con adhesivo asfáltico en frío a razón de 0,40 kg/m^2, a base de: una primera lámina de oxiasfalto catalítico de 4 kg/m^2, armada con fieltro de fibra de vidrio de 60 g/m^2 según UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm, que cumpla la QB-90, apartado UNE 104 238, tipo LO 40FV, sistema PN-1; y una segunda lámina de betún polimérico APP o SBS con peso de 4 kg/m^2, armada con fieltro de poliéster con un gramaje de 140 g/m^2 según UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm ortogonalmente con la anterior, adherida a la misma con adhesivo asfáltico en frío, y que cumpla la norma QB-90, apartado UNE 104 242, tipo LBM 40FP, sistema PA-1.

- **EXTENDER UN GEOTÉXTIL DE HILO CONTINUO DE POLIPROPILENO SOLDADO TÉRMICAMENTE** (140 g/m^2), solapado entre sí de 10 a 15 cm.

- **NUEVO SOLADO DE CUBIERTA CON PIEZAS CERÁMICAS** asentadas mediante mortero de cemento Pórtland continuo.

Cuando no exista altura, habrá que demoler la cubierta existente para realizar, acto seguido, una nueva compuesta de forjado, pendientes, lámina actual, separador, reimpermeabilización, geotéxtil de 140 g/m^2, mortero asiento y solado. Antes de reimpermeabilizar se recomienda demoler los rodapiés existentes para poder elevar y adherir la lámina y anclar las nuevas piezas cerámicas sobre ella.

Si por su dimensión la cubierta exige que haya junta de dilatación, hay que demoler y limpiar en profundidad la existente, para posteriormente realizar una nueva.

Como señaláramos anteriormente, es necesario inspeccionar las calderetas de desagüe para conocer el estado en que se encuentran. Si se detectan anomalías, el proceso de sustitución de las mismas tendrá las siguientes fases de trabajo:

- **RETIRAR LA PROTECCIÓN PESADA Y LIMPIAR CUIDADOSAMENTE**. Extraer la caldereta existente de su ubicación, repasando el taladro de paso, y seguidamente introducir la nueva, adhiriéndola con asfalto en caliente.

- **REALIZAR LA ESTANQUEIDAD DE LA CALDERETA** mediante la colocación de un trozo de lámina oxiasfáltica fundida sobre la placa de la caldereta. De esta manera queda preparado el desagüe para recibir la nueva impermeabilización.

La sustitución de la caldereta de desagüe no implica el olvido de la misma. En muchos casos las filtraciones de la cubierta son consecuencia de la falta de mantenimiento o de una inspección ocular periódica, por lo que se aconseja visitar la cubierta del edificio con regularidad.

Puede ocurrir asimismo que la filtración de agua se produzca debido a características del material. La humedad de la atmósfera se comunica a los materiales más o menos porosos que componen la cubierta del edificio, tratando de establecer constantemente un equilibrio higrotérmico. Así, en días húmedos y durante lluvias y nevadas, la humedad de la atmósfera penetra en los poros de las piedras, ladrillos y morteros, hasta que los satura de agua. Contrariamente, en días secos y de sol, la atmósfera absorbe la humedad contenida en los muros y ésta se evapora.

Cuando se trata de grietas formadas en fábricas de ladrillos, se deben contemplar dos actuaciones normalmente simultáneas: la sustitución de los elementos unitarios rotos y el relleno con argamasa. Para ello, se eliminan y sanean las piezas afectadas y las necesarias de su entorno para facilitar el trabajo, asegurando el enjarje en toda la lesión y, por tanto, la integridad recuperada en la unidad constructiva. Los nuevos ladrillos tienen que ser iguales a los existentes, lo que a veces dificulta la operación, sobre todo en caso de ladrillo visto y en fábricas antiguas. No ofrece ninguna garantía la costumbre de realizar un mortero con polvo de ladrillo viejo y cemento y aplicarlo sobre los restos del antiguo, ya que así no se recupera la integridad del cerramiento –sólo se está tapando la grieta– por lo que probablemente volverá a salir.

Al colocar los nuevos ladrillos hay que recibirlos en toda su superficie con un mortero igual al del resto de la fábrica (de cal o de cemento, según el caso). Es conveniente que tenga cierta plasticidad para que se acomode bien a las juntas y, en algunos casos, cierto componente expansivo que asegure el relleno. Para ello se puede recurrir a la posterior inyección dentro de las juntas y retacado superficial.

CUBIERTA PLANA AJARDINADA: La filtración de agua de lluvia es consecuencia del deterioro por envejecimiento o rigidez de la lámina impermeabilizante, por rotura de su armadura. La actuación, compleja, no ofrece más opciones que la de demoler la cubierta hasta llegar a la aislación hidrófuga. A continuación se expone el proceso de rehabilitación necesario en estos casos:

- **DEMOLER LA CUBIERTA HASTA LLEGAR A LA IMPERMEABILIZACIÓN EXISTENTE**, limpiando la superficie de restos y elementos punzantes.

- **INSPECCIONAR EL ESTADO DE LA LÁMINA Y DEL SISTEMA DE COLOCACIÓN**, es decir, observar si está adherida o flotante con el soporte. Si está adherida se mantiene la impermeabilización como soporte para recibir la nueva lámina; en el caso de lámina flotante hay que levantar la impermeabilización vieja y dejar las pendientes al descubierto. Si es necesario, repasar la superficie para un buen asiento de la nueva lámina.

- **REIMPERMEABILIZAR LA CUBIERTA**: en ambos casos –adherida o flotante– se instalará una doble lámina, adherida entre sí y al soporte. La primera ha de ser de oxiasfalto catalítico de 4 kg/m^2, armada con fieltro de fibra de vidrio de 60 g/m^2 UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm y adherida al soporte con adhesivo asfáltico en frío (0,40 kg/m^2). Debe cumplir la norma QB-90, apartado UNE 104 238, tipo LO 40FV, sistema PA 1. La segunda lámina, autoprotegida con grano mineral a base de betún polimérico APP de 5 kg/m^2 y punto de reblandecimiento de 150 ºC (UNE 104 281/1.3), con tratamiento anti-raíces (UNE 53.420), ha de estar armada con fieltro de poliéster de 180 g/m^2 UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm, y adherida a la anterior con adhesivo asfáltico en frío a razón de 0,20 kg/m^2. Debe cumplir la norma QB-90, apartado UNE 104 242/2, tipo LBM 50G FP, sistema GA 1.

- **PROCEDER AL DRENAJE DE LA CUBIERTA** a base de una membrana de nódulos de poliestireno. Esta membrana debe estar cubierta por ambas caras con geotéxtil de polipropileno de 85 g/m^2, por la cara superior, y por la cara inferior de 136 g/m^2, solapada entre sí 5 cm, abotonando los nódulos, con coeficiente de transmisividad de 2,8 1/seg/m (ASTM D4716) y resistencia a compresión de 517 kN/m^2 (ASTM D1621).

- **EXTENDER UNA CAPA DE ARENA DE RÍO**, lavada y exenta de arcillas, con espesor de 10-15 cm. Posteriormente extender un geotéxtil de polipropileno de 70 g/m², solapado entre sí de 10 a 15 cm.

- **EXTENDER LA CAPA DE MANTO VEGETAL APROPIADO A LA VEGETACIÓN QUE SE VA A IMPLANTAR**, con un espesor mínimo de 20 a 25 cm.

En el caso de la primera lámina, la elevación de las láminas en el peto de cubierta debe ser de 5 a 10 cm y, con respecto a la segunda, debe sobrepasar el nivel del manto vegetal en 10 cm como mínimo.

Si por las dimensiones de la cubierta se precisa junta de dilatación, una vez descubierta la lámina vieja o pendientes se procederá a ejecutar una nueva junta.

***CUBIERTA AUTOPROTEGIDA**:* Si fue impermeabilizada con sistemas resistentes a la intemperie, por ejemplo con láminas asfálticas acabadas con pizarra granular, la reparación suele ser mucho más simple, ya que los defectos o deterioros generalmente son apreciables a simple vista. Los que siguen son algunos defectos frecuentes:

***FORMACIÓN DE BOLSAS DE AIRE**:* ante un fallo en la adherencia de la impermeabilización sobre el soporte, o de las distintas capas de la impermeabilización entre sí, queda una bolsa de aire que, por efecto de los cambios de temperatura, variará su tamaño según el aire se dilate o contraiga. Cuando la tensión del aire interior es muy grande, puede llegar a estallar y perforar la impermeabilización, originando una vía de entrada de agua. También se puede producir esta perforación si se pisa la bolsa, sobre todo si la impermeabilización está rígida a causa de las bajas temperaturas o porque los materiales están algo envejecidos. Se recomienda eliminar la impermeabilización de la zona afectada y reponerla por una pieza nueva. Deberá asegurarse la perfecta unión entre las piezas nuevas y las ya existentes, así como su adherencia total a la base.

***FISURAS EN LA IMPERMEABILIZACIÓN**:* en estos sistemas la impermeabilización se encuentra completamente adherida a la base. Tal adherencia implica que cualquier fisura en la base o movimiento no previsto se transmita a la impermeabilización. Si la grieta es considerable, para su reparación deberá seguirse un tratamiento similar al señalado para las juntas de dilatación. En cambio, si se trata de una simple fisura, bastará con una reparación sencilla, utilizando una lámina afín a la existente que tenga una mayor resistencia al desgarre. Por ejemplo, en una impermeabilización con PVC se utilizará una tira de lámina de PVC armada; y, si se trata de una impermeabilización asfáltica, se empleará una lámina autoprotegida fabricada con betún modificado con elastómeros y con armadura de fieltro de poliéster.

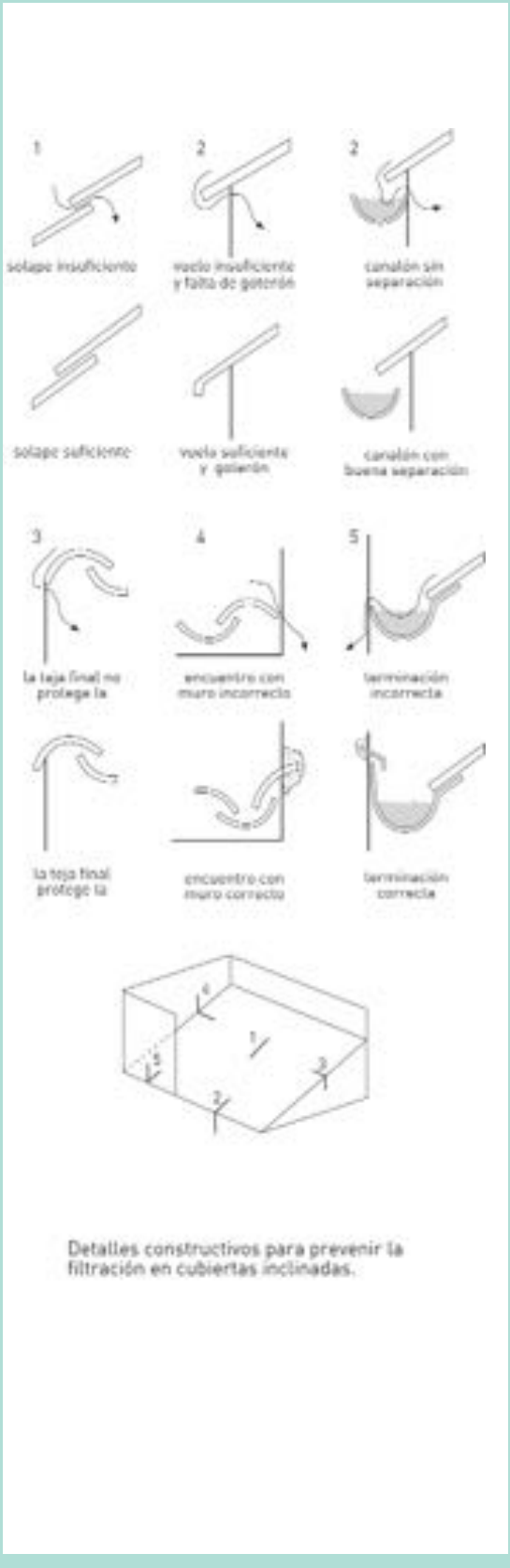
***GRIETAS EN LOS SOLAPES**:* una impermeabilización autoprotegida no suele tener tanta duración como cuando la impermeabilización lleva una protección pesada. Las actuales láminas fabricadas con betún y elastómeros y los PVC resistentes a la intemperie han favorecido la permanencia de este tipo de trabajos; hoy pueden conseguirse cubiertas con estos materiales y su duración es similar a la de las terrazas embaldosadas. Pero en impermeabilizaciones antiguas suelen aparecer cortes que se inician, por lo general, en la zona de los solapes. Si las fisuras son pocas y pequeñas, bastará con hacer un parcheado que sobrepase por lo menos 10 cm a cada lado de la fisura, pero, si se trata de importantes grietas, será preferible rehacer la impermeabilización en las zonas más afectadas.

***CORRIMIENTO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN**:* cuando la cubierta tiene una pendiente considerable (superior al 15 %), la impermeabilización debe ir, además de soldada o pegada, clavada en los solapes. Si no se clava o incluso se pega o suelda mal a la base, puede deslizarse lentamente hacia las partes bajas de la cubierta, despegándose en los solapes y quedando arrugada en las canales laterales. Si este defecto es poco acusado simplemente se eliminan las zonas defectuosas y se reparan –cuidando su perfecta adherencia– pero, si la cubierta está realmente afectada, la única solución consistirá en rehacerla, para lo que se elimina totalmente la impermeabilización existente.

MEDIDAS PREVENTIVAS DE HUMEDADES DE FILTRACIÓN EN CUBIERTA PLANA

Con el fin de asegurar la impermeabilidad y el drenaje de la cubierta, deben aplicarse las correspondientes membranas bituminosas o plásticas (según la construcción) y calcularse y colocarse los sumideros. A continuación presentamos ciertos aspectos conflictivos que es importante tener en cuenta:

- **CONTINUIDAD DE LA MEMBRANA IMPERMEABLE POR SOLAPE Y SOLDADURA ADECUADOS**, así como selección correcta del tipo de membrana, en función del soporte, del clima y del nivel de exposición.
- **INDEPENDENCIA DEL TABLERO SOPORTE DE LA MEMBRANA DE LA ESTRUCTURA Y DE LOS PETOS DEL EDIFICIO**, con el objeto de evitar esfuerzos de tracción.
- **INTRODUCCIÓN DE JUNTAS DE DILATACIÓN EN EL TABLERO SOPORTE Y EN LA MEMBRANA IMPERMEABLE**, en función del material y del clima.
- **SOLAPE SUFICIENTE EN LOS BORDES VERTICALES** (<15 cm), así como su protección, para evitar filtraciones.
- **DISEÑO Y EJECUCIÓN DE ZABALETA** (mimbel) perimetral para marcar la independencia de la membrana con el peto y paramentos verticales en general.
- **PROTECCIÓN ADECUADA DE LA MEMBRANA IMPERMEABLE**, tanto ante la acción de la intemperie como a la de su uso para mantenimiento. En este último caso, establecer pasos de un material que no provoque punzonamientos.
- **SOLUCIÓN ADECUADA DE SUMIDEROS** y número suficiente de los mismos para asegurar un drenaje fácil. Utilización de piezas de protección.
- **MANTENIMIENTO PERIÓDICO Y LIMPIEZA**.



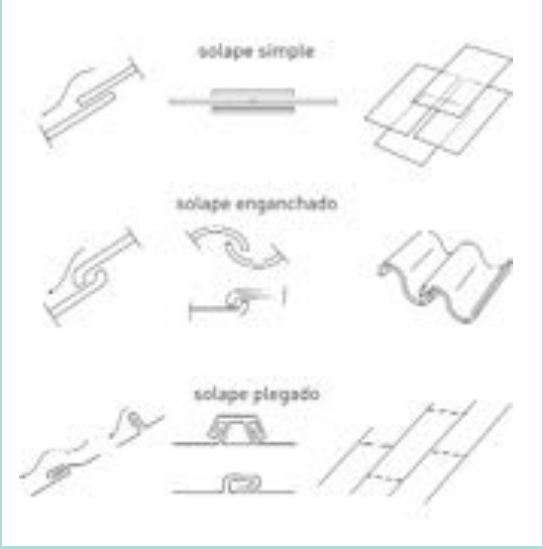
Detalles constructivos para prevenir la filtración en cubiertas inclinadas.

HUMEDAD POR FILTRACIÓN EN CUBIERTA INCLINADA

En las cubiertas inclinadas la estanqueidad y la evacuación del agua se consiguen por solape. Esto es, se van colocando los elementos que constituyen la cobertura –las tejas– con cierta inclinación y con cierto solape de los superiores sobre los inferiores a modo de escamas y, de este modo, el agua drena al ir resbalando por la inclinación y no se filtra. La inclinación y el solape constituyen, pues, las características fundamentales de las cubiertas inclinadas.

La penetración de agua puede producirse por las mismas causas que en las cubiertas planas, sólo que las inclinadas están más protegidas gracias a su pendiente. Como regla general se considera que, a mayor pendiente, menor riesgo de que penetre el agua por gravedad –aunque la brecha sea importante–.

La filtración se puede producir tanto en un solape intermedio entre tejas como en los encuentros con paramentos verticales. Si el solape es insuficiente en algún punto del faldón, ya sea por falta de longitud o de inclinación, la abundancia de la lluvia, ayudada por el viento, puede facilitar la penetración. El solape simple o en paralelo, que se encuentra en las tradicionales tejas curvas y losas de pizarra, es el que necesita mayor longitud de solape.



Distintos tipos de solapes de elementos de terminación de la cubierta.

En el segundo caso, del encuentro de los faldones con paramentos verticales, las filtraciones aparecen principalmente por los laterales y en el encuentro inferior. Ocurre por los laterales cuando no hay solape suficiente del paramento sobre las tejas y si la disposición de aquellas no facilita que se escurra el agua (canal perimetral). Y, con respecto al encuentro inferior, aquí la filtración es inevitable si no existe canalón o si el que está no tiene la disposición adecuada (borde frontal más alto que el del frente de tejas y solape adecuado del paramento vertical). En el caso del arranque superior del faldón a partir de un paramento vertical, no suelen producirse filtraciones a menos que la pendiente sea muy escasa o el solape insuficiente, lo que lo iguala a los elementos laterales.

Corresponde aquí mencionar algunos conceptos generales acerca de las medidas de reparación pertinentes. Si el problema proviene de un ***SOLAPE INSUFICIENTE***, habría que ver si es general o puntual. Si es general, no habrá más remedio que retejar, para lo cual se deben comprobar las pendientes y analizar si es preferible una membrana impermeable previa o si resulta suficiente un aumento del solape con el consiguiente incremento en el número de tejas. Si el estudio nos indica que hay que restituir la estanqueidad, el paso más sencillo es sustituir con piezas nuevas las que se encuentren rotas o en mal estado. Una solución aún más fácil, y que sustituye al retejado, consiste en aplicar un cartón embreado con el perfil de la teja y a continuación asentar la nueva teja sobre él.

No obstante, esta medida de carácter general deberá ser analizada en función del tipo de solape. Así, en el caso de la teja curva, solamente se podrá aumentar el solape frontal, que es plano, ya que el lateral no tiene posibilidades de variación. Por el contrario, en el caso de chapas metálicas o de fibrocemento, pueden aumentarse tanto el frontal como el lateral, a base de incorporar otra onda. Aquí también es factible incorporar una banda de estanqueidad en ambos solapes sin que varíen estos, lo que permite mantener el mismo número y disposición de chapas. De una u otra manera, se debe procurar que el solape simple tenga por lo menos 5 cm medido en vertical, independientemente de la inclinación.

En lo que respecta a las tejas planas no cabe mejorar el solape, ya que está condicionado por los retallos de borde que facilitan los solapes enganchados. Si llegara a fallar el solape por algún problema de fabricación, se podría pensar en incorporar una lámina impermeable por debajo, retejando los faldones con la misma teja.

Si estamos ante roturas puntuales, corrientes en limatesas por su exposición y en algunas limahoyas y aleros, la actuación se concentrará en esos puntos, asegurando siempre que se amplía lo suficiente.

Por último, los problemas de filtración más usuales aparecen en los encuentros con paramentos verticales. La actuación en estos casos estará localizada en el punto conflictivo. Habrá que reponer el elemento impermeable destinado a recoger y canalizar el agua y, asimismo, se asegurará el solape insuficiente de los paramentos verticales y de las tejas sobre esos canalones.

Para el mencionado solape existen varias soluciones en función del material de cobertura que se utilice y del punto de encuentro. Así, en encuentros laterales y superiores los sistemas con chapas de fibrocemento o metálicas suelen tener unas piezas especiales que conviene utilizar siguiendo las instrucciones correspondientes.

Cuando se trata de planchas metálicas con juntas plegadas, las soluciones suelen ser más sencillas, principalmente debido a la horizontalidad de los faldones resultantes.

Sin embargo, si se trata de tejas –especialmente las curvas– las soluciones se complican por la irregularidad del faldón. Se debe procurar que en el ángulo del encuentro se coloque siempre una canal, tanto si es lateral como si es superior, ya que ello facilita el solape del paramento vertical con su babero o trozo de cobija.



Filtraciones múltiples en esta cubierta de chapa provoca manchas de humedad y suciedad en el cielorraso.



La chimenea de mampostería ha sufrido movimientos. No sólo se regis-tran filtraciones por sus grietas sino también en la base por falta de es-tanqueidad de los elementos.

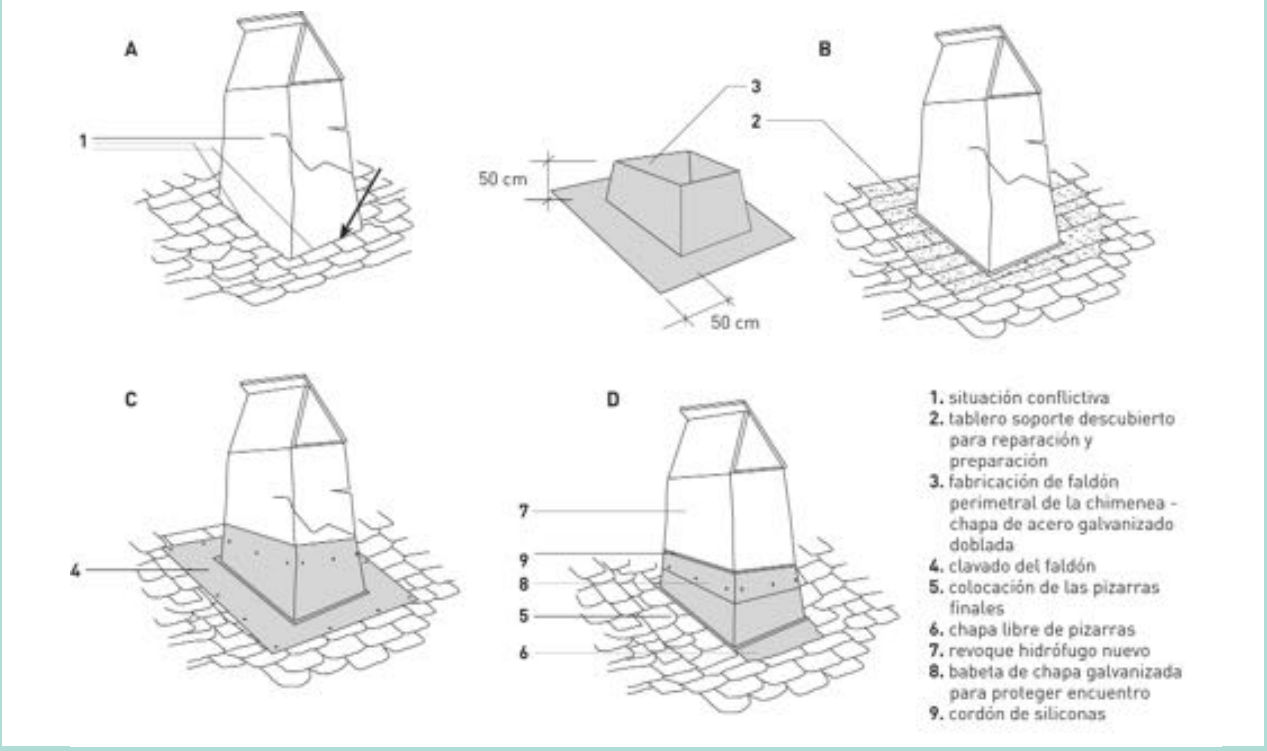
Algo similar se intentará con la teja plana. Se utilizarán las piezas de canal destinadas a las limahoyas, ya que tratar de llegar con la teja hasta el encuentro, además de ser peligroso, requiere algún tipo de babero metálico que acaba funcionando mal. Tampoco es correcta la solución de empotrar la teja en el peto; las variaciones térmicas rápidamente provocan fisuras por donde se filtra el agua.

Si el canalón existe, la filtración puede producirse por alguno de los laterales. Por consiguiente se debe asegurar la capacidad del canalón y la altura de sus bordes, tanto en el solape del faldón como en su encuentro con el paño vertical, donde suele ser corriente la necesidad de elevarlo dándole más altura.

Como norma general, la actuación sobre una cubierta inclinada debe llevarse a cabo sobre faldones enteros, a menos que el problema esté localizado en puntos muy concretos. Ante rotura o levantamiento de piezas en cubiertas antiguas, o ante flechas excesivas en una estructura de faldones de madera, es aconsejable una actuación general.

Del estudio de los factores desencadenantes de la pérdida de estanqueidad en las cubiertas, se llega a la conclusión de que el tipo de cubierta que en principio tiene menos riesgo de sufrir esta lesión, es aquella que tiene una inclinación adecuada al tipo de material de techar y que está formada por dos hojas separadas por una cámara suficientemente ventilada. La hoja superior, en contacto con el exterior, debe ser impermeable, resistente a los cambios de temperatura y a la agresión del medio físico. Por su parte, la hoja inferior debe ser transpirable o poseer una barrera de vapor en la cara más caliente, que comporte además el aislamiento térmico y acústico exigido por norma.

Los problemas de filtración también pueden originarse en las ***chimeneas***. Si aparecen humedades en el techo, alrededor de los puntos donde la chimenea atraviesa la cubierta, el motivo se encuentra en la penetración de agua que se produce a través de la junta que queda entre ambos elementos. En consecuencia, será necesario reforzar la estanqueidad en ese punto, para lo que se levantarán las piezas de pizarra que rodean la chimenea, se dejará el tablero a la vista y se colocará un collar de chapa metálica alrededor.



Reacondicionamiento del encuentro entre la caja de una chimenea y una cubierta de pizarras.

A continuación se volverán a clavar las piezas de pizarra de manera que queden encastradas a la chapa, cuya parte superior se doblará para que pueda proteger el orificio de la fijación y deje un canal para recibir el sellado. La junta entre la chimenea y el collar metálico deberá sellarse con silicona neutra. Los sellados necesitan un mantenimiento cada 5 años.

Si la chimenea es de hierro, se puede aplicar esta misma solución con el collar de hierro. Se puede soldar en lugar de sellar y luego se pintará todo con pintura antioxidante.

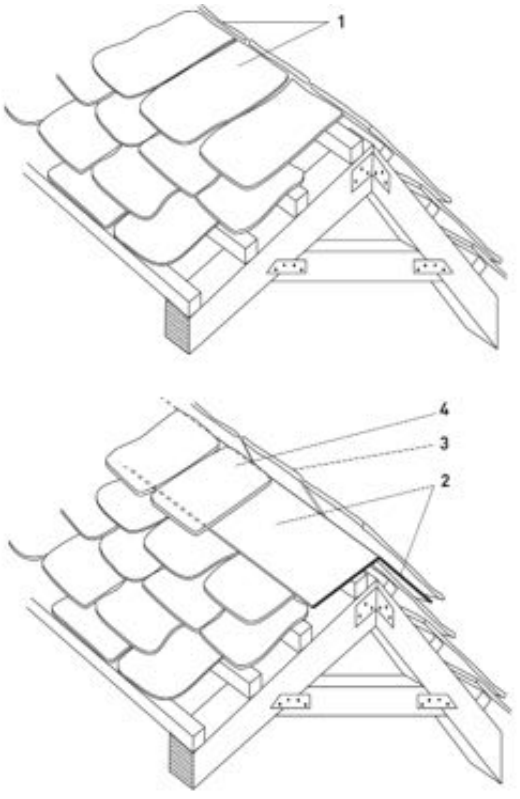
Durante el periodo de calefacción no se producen estos fenómenos de filtración; a veces ni siquiera penetra agua durante el deshielo de la nieve. Solamente se aconseja, entonces, proteger la coronación de la chimenea contra el azote de la lluvia por medio de un revestimiento adicional adecuado. Por ejemplo, pueden emplearse chapas o perfiles de fibrocemento o grandes placas de hormigón. Otras soluciones apuntan a demoler la fábrica de albañilería de la coronación de la chimenea, colocar una lámina que evacue el agua o sustituir la parte de fábrica de ladrillo por una coronación de hormigón, que puede ser prefabricada u hormigonada *in situ*.

CUBIERTA DE PIZARRA: Cuando falta estanqueidad en la cumbrera, con entrada de agua, nieve y frío, la solución más frecuente consiste en colocar dos piezas de manera que una proteja de los vientos dominantes a la arista de la cumbrera. Para esto, se levantarán las piezas que la forman y se clavará una chapa de zinc en forma de V invertida constituyendo una nueva cumbrera que escupa el agua sobre las otras piezas. Finalmente, se volverán a colocar las originales y se las clavará en la misma posición.

En los casos donde se encuentra una pared con una cubierta de pendiente paralela a la misma, pueden aparecer humedades bajo la cubierta, en el techo o en las paredes en contacto con el vecino. Aquí pudo haber fallado la impermeabilización de la pared o de la junta entre ambos elementos.

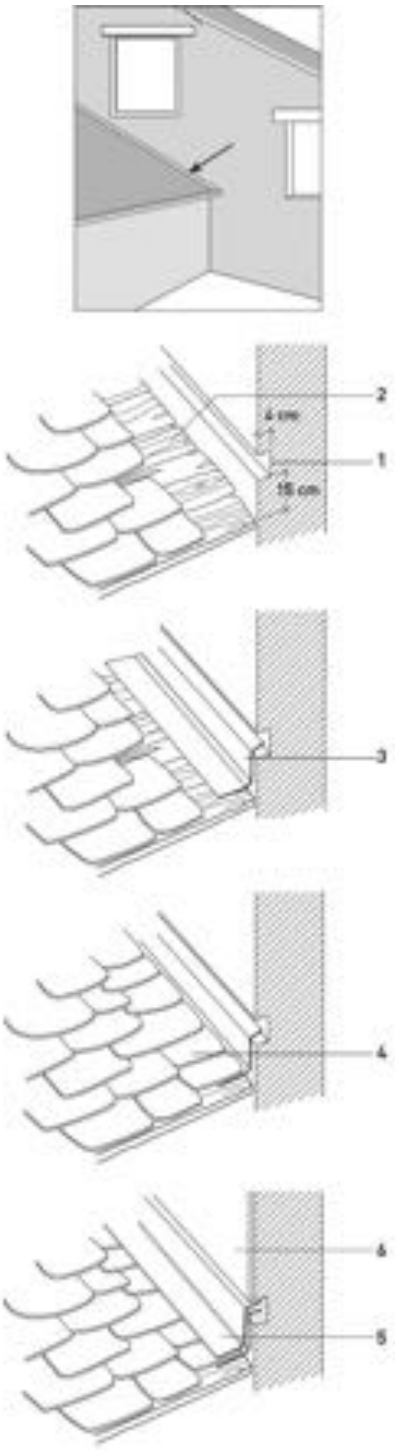
En el caso de que la pared sea compacta e impermeable y permita una regata, se le hará una a la pared, de 4 cm de profundidad, paralela a la pendiente del tejado y a 15 cm de altura. Se levantará la primera fila de piezas de pizarra en sentido de la pendiente. Se colocará una lámina impermeable encastrada a la regata y se tapará la junta entre la pared y el tejado.

Se volverán a poner las piezas levantadas, se colocará una chapa metálica en forma de L –superpuesta a la cubierta y que proteja la lámina impermeable– y por último se rejuntará la regata con mortero de cemento Pórtland.



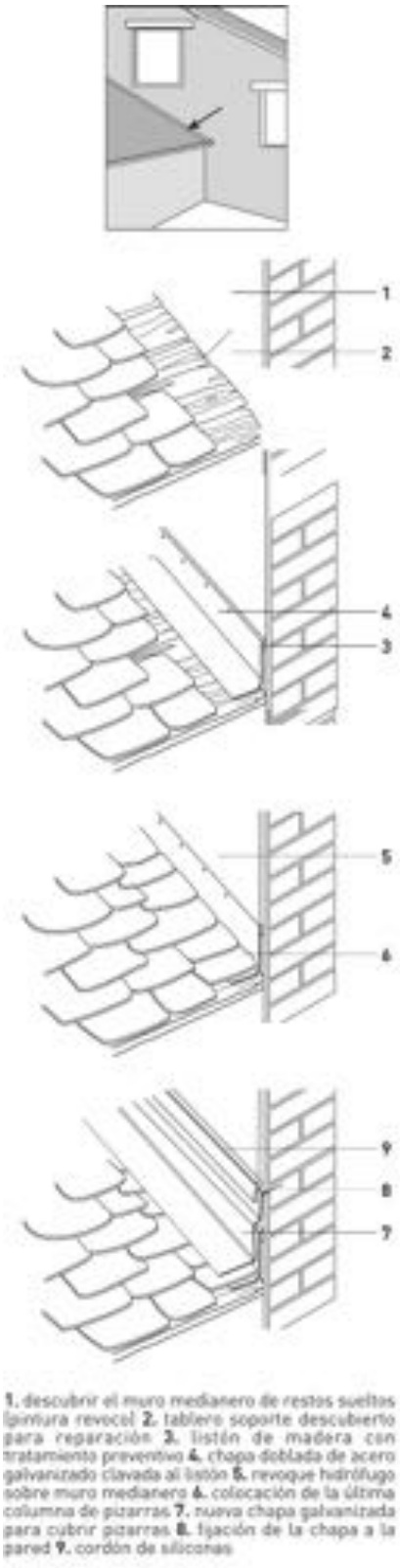
1. penúltima hilada de pizarras **2.** chapa de acero galvanizada que hace de cumbrera **3.** última hilada de pizarras en el faldón a barlovento de los vientos predominantes **4.** última hilada de pizarras en el faldón a sotavento de los vientos predominantes

Reacondicionamiento de una cubierta inclinada de pizarras.



1. regata sobre muro medianero siguiendo la pendiente **2.** tablero soporte descubierto para reparación **3.** chapa zincada continua en ángulo desde la regata hasta el tablero **4.** colocación de la última columna de pizarras **5.** segunda chapa zincada cubriendo las pizarras **6.** sellado de la regata y conformación de revoque hidrófugo sobre muro medianero

Reparación de encuentro de faldón de cubierta de pizarras con muro lateral.



1. descubrir el muro medianero de restos sueltos (pintura revoco) **2.** tablero soporte descubierto para reparación **3.** listón de madera con tratamiento preventivo **4.** chapa doblada de acero galvanizado clavada al listón **5.** revoque hidrófugo sobre muro medianero **6.** colocación de la última columna de pizarras **7.** nueva chapa galvanizada para cubrir pizarras **8.** fijación de la chapa a la pared **9.** cordón de siliconas

Reparación del encuentro entre el faldón de una cubierta de pizarras y un muro lateral.

Por el contrario, si la pared no es lo suficientemente compacta y no se puede hacer ninguna regata, se prepara la pared tapando todas las irregularidades.

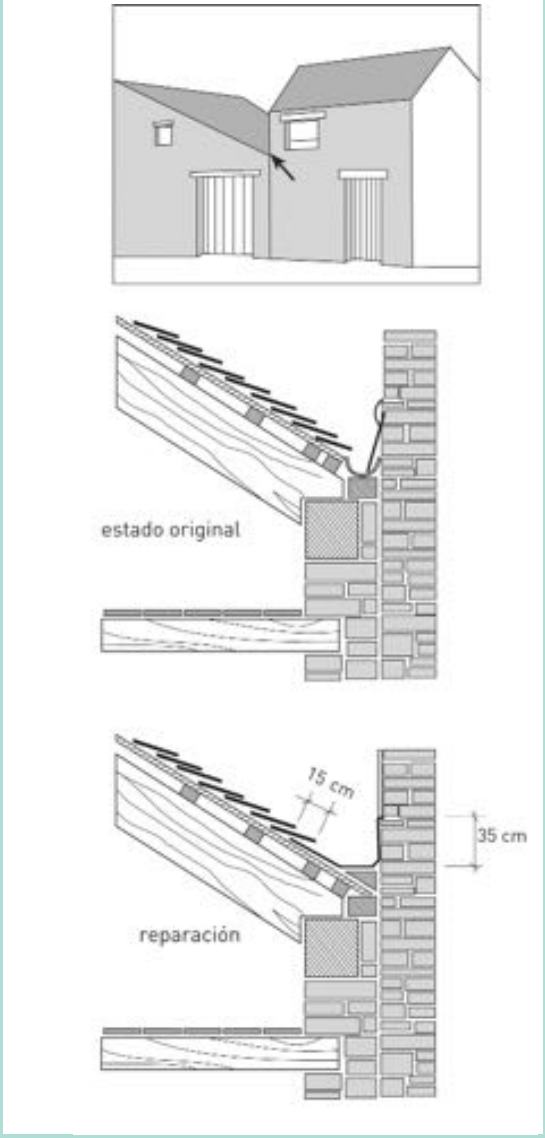
Luego se levantará la primera fila de piezas en el sentido de la pendiente. Se colocará una lámina impermeable en la junta, entre la cubierta y la pared, del ancho de una pieza. Finalmente se doblará la chapa hacia fuera para proteger los orificios de los tornillos y para hacer un canal entre ésta y el enlucido, que se sellará con silicona neutra.

CUBIERTA DE TEJA CERÁMICA: la filtración de agua de lluvia puede ser ocasionada por una gran variedad de factores, pero lo cierto es que la impermeabilidad de la teja ha desaparecido. Los factores responsables pueden ser el envejecimiento de los elementos que la integran, por paso del tiempo y acciones atmosféricas; las sobrecargas no calculadas de nieve o granizo; el uso indebido de la cubierta e instalaciones no previstas; la rotura, desaparición o desplazamiento de tejas por acción del viento; los fallos en las entregas; los asentamientos diferenciales y/o excesivos de la estructura y, por último, la acción de las heladas en las diferentes capas que componen la cubierta.

Para determinar el punto por donde se produce la filtración hay que penetrar en el interior de la cámara de aire, que se encuentra debajo de las tejas y que no siempre está a la vista desde el interior del edificio. Como la base sobre la que se asientan las tejas suele ser muy permeable al agua, es fácil determinar su vía de entrada. En líneas generales las reparaciones se deducen sin mayores problemas: sustitución de tejas rotas o agrietadas, colocación correcta de las tejas desplazadas asegurando su fijación, o reparación de las entregas. Si el mortero presenta agrietamiento, se lo reparará prestando especial atención a su estanqueidad y se lo tratará con una pintura adecuada o con lámina impermeabilizante.

La actuación en esta patología consiste en restablecer la estanqueidad de la cubierta. Si la zona afectada es pequeña esto se consigue retejando la filtración con la misma teja o con piezas nuevas y similares. Pero si el problema está muy extendido, lo lógico es desmontar la cubierta y realizar una nueva que cumpla con la NBE de impermeabilización y aislamiento.

Es aconsejable efectuar una impermeabilización de «riesgo», cuya puesta en obra está condicionada al tipo de tablero o soporte de la cubierta, para evitar posibles filtraciones no deseadas.



Reacondicionamiento de un canalón de una cubierta inclinada junto a muro medianero.

Si la cubierta es anterior al siglo XX, la estructura es de madera y tiene una cubrición de apoyo de la teja de tablazón de madera de ripia, que con el paso del tiempo probablemente se ha deteriorado. En consecuencia la actuación consiste en desmontarla y sustituirla por un tablero hidrófugo, no hidrofugado, de láminas de madera encoladas entre sí con resinas vinílicas con espesor de 12 mm, anclado a la estructura con clavos de madera. Posteriormente se instala una impermeabilización a base de una lámina de betún polimérico autoadhesivo a dos caras, previa imprimación del tablero con emulsión bituminosa en frío a razón de 0,25 kg/m², solapada entre sí 5 a 10 cm y con una pendiente máxima del 26 %.

Si, por el contrario, la cubierta es más actual, el tablero de la misma es un forjado cerámico con capa de mortero de cemento o forjado de hormigón armado. La ejecución de la impermeabilización es similar a la descripta en el párrafo anterior.

En ambos casos, la terminación de la cubierta con teja cerámica se efectúa mediante clavos al soporte. No hay que preocuparse por perforar la impermeabilización, ya que los betunes poliméricos poseen la propiedad de retraerse al ser punzonados y atravesados.

Además de la filtración, en este tipo de cubiertas pueden aparecer condensaciones interiores. Esta patología se produce como consecuencia de la falta de estanqueidad en la cubierta, por ausencia, desaparición o rotura de la teja, y en segundo lugar por falta de aislamiento correcto o espesor inadecuado.

La actuación en este caso, siempre que el tablero de cubierta sea un forjado cerámico o de hormigón, es desmantelar toda la cubrición para ejecutar a continuación una de las dos siguientes soluciones.

PRIMERA VARIANTE:

- **UNA VEZ LIMPIO EL TABLERO DE LA CUBIERTA**, aplicar a rodillo dos capas cruzadas de emulsión polimérica, a razón de 1,5 kg/m², dejando secar la primera.

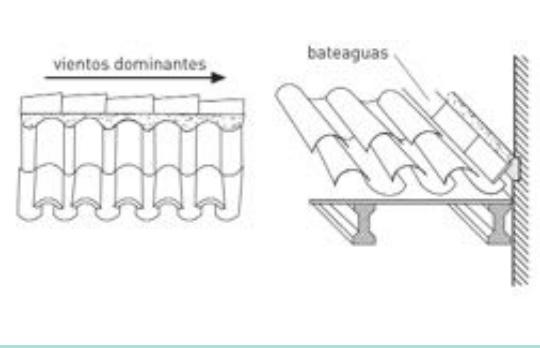
- **COLOCAR UN PANEL DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO**, mecanizado a media madera en su perímetro y acanalada su cara superior, con espesor adecuado a la zona de ubicación cumpliendo la norma NBE CT-79, anclado mecánicamente al soporte con espigas expansivas de 9 cm de largo y acanalado ortogonal a la línea de máxima pendiente.

- **COLOCAR LAS TEJAS CERÁMICAS APOYADAS EN RASTRELES DE MORTERO HIDRÁULICO ADHESIVO**, entallado en el acanalado del panel aislante EXP.

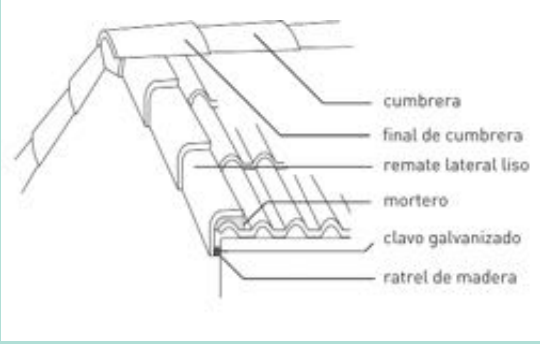
SEGUNDA VARIANTE:

- **UNA VEZ LIMPIO EL SOPORTE DE POLVO, GRASAS Y PARTÍCULAS SUELTAS**, aplicar una capa de emulsión asfáltica en frío a razón de 0,25 kg/m².

- **COLOCAR LA LÁMINA DE BETÚN POLIMÉRICO AUTOADHESIVO**, a las dos caras, con resistencia a tracción transversal superior a 200 N/5 cm, armada con polietileno de alta densidad de 100 micras, solapada entre sí de 5 a 10 cm, con pendiente máxima del 26 % y adherida a presión mediante rodillo.



Medidas constructivas tendientes a reducir las posibilidades de filtración en una cubierta inclinada de teja árabe.



Correcta terminación de una cubierta inclinada de tejas mecánicas.

- **COLOCAR UN PANEL DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO**, con superficie ranurada y perímetro mecanizado a media madera, con espesor que cumpla la norma NBE CT-79, presionado el mismo sobre la lámina autoadhesiva y dejando el ranurado perpendicular a la pendiente.

- **COLOCAR LA TEJA**, asentada sobre rastreles de mortero hidráulico adhesivo, entallados en el ranurado del panel aislante EXP.

CUBIERTA DE FIBROCEMENTO: las humedades y filtraciones suelen aparecer en el punto de formación o muy poco alejadas de él. Debido al diseño de la plancha, el agua suele deslizarse por la parte inferior de una canal y gotear en el espacio comprendido entre su entrada y el final de la plancha, frecuentemente en el punto de apoyo sobre una vigueta que interrumpe el recorrido del agua. El origen de la filtración puede ser:

- **UNA FIJACIÓN FLOJA O ROTA**, que debe ser repuesta y sellada con masilla.

- **UNA GRIETA EN LA PLANCHA**: si es pequeña se tapará con lámina asfáltica autoprotegida con aluminio o con lámina PVC resistente a la intemperie; si es grande se sustituirán las planchas.

- **UN SOLAPE MUY ESTRECHO**: se sustituirá la placa por otra mayor.

- **UNA PERFORACIÓN EN LA PLANCHA.**

- **UNA ENTREGA DEFECTUOSA AL CONTORNO**. En este caso las entregas se rematarán adecuadamente, reforzando la zona con lámina asfáltica autoprotegida con aluminio o formando un mimbel con rasillas.

Si la gotera aparece en una canal, además de los anteriores, debería añadirse:

- **DEFECTO EN LA EMBOCADURA DE LOS DESAGÜES**, lo que se subsana cambiando las piezas o prolongando la embocadura hacia el interior del desagüe.

- **OBTURACIÓN DEL DESAGÜE.**

- **FALLO EN LA UNIÓN ENTRE PIEZAS CONTIGUAS**, por deterioro de la masilla de sellado o movimiento de las piezas: cuando las uniones entre las piezas de la canal han perdido masilla, o se ha deteriorado, habrá que sustituirla procurando eliminar completamente la masilla anterior y limpiando bien la zona antes de sellarla de nuevo; si las piezas de la canal se han movido, conviene comprobar las bridas de sujeción y sustituir las oxidadas o rotas.

La tendencia es mantener lo existente y rehabilitar la cubierta siempre que sea posible. Existen dos soluciones para resolver la filtración de agua de lluvia; la primera de ellas consiste en una regularización de la superficie e impermeabilización y sigue este proceso de trabajo:

- **ANCLAJE MECÁNICO CON TIRAFONDOS DE PANELES DE POLIESTIRENO EXTRUIDO** –de 3 a 4 cm de espesor– machihembrado en todo su perímetro y con resistencia a compresión de 180 kPa (DIN 53421), para conseguir una superficie plana regular donde asentar el impermeabilizante, previa extensión de barrera contra incendios cumpliendo la norma NBE CPI-96.

- **COLOCACIÓN DE LÁMINA DE BETÚN POLIMÉRICO APP O SBS**, de 5 kg/m², armada con fieltro de poliéster punzonado, con gramaje de 180g/m² cumpliendo la norma UNE 104 204 y acabado exterior con gránulo mineral. La lámina, anclada mecánicamente al soporte, ha de cumplir la norma UNE 104 242, tipo LBM 50G FP, sistema GC1 de la NBE QB-90.

También es procedente colocar láminas sintéticas de PVC de intemperie o láminas de polietileno clorosulfonado.

La segunda solución ofrece la posibilidad de cubrir aguas con tejas cerámicas o de cemento, si es necesario reforzando la estructura, e instalando sobre el fibrocemento un panel de poliestireno expandido de alta densidad anclado al soporte con tirafondos. La cara inferior del panel irá desarrollada con el ondulado de la placa y la superior será acanalada. Posteriormente se pueden colocar las tejas asentadas en rastreles de mortero hidráulico polimérico adhesivo, que se entalla en el panel y proporciona la unión entre el poliestireno y la cerámica.

Como en el caso de la cubierta de teja cerámica, para la de fibrocemento también presentamos soluciones que contemplen tanto la filtración de agua de lluvia como las condensaciones.

La patología es consecuencia de la rotura o fisura de las planchas de fibrocemento y la ausencia de material aislante. La actuación en este tipo de cubierta se inicia manteniendo la existente y realizando una nueva que sea estanca y cumpla con la norma NBE-CT 79. El proceso de trabajo de la nueva cubierta se desarrolla de la siguiente manera:

- **COLOCAR PANELES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO** (EPS), con el perfil de la plancha de fibrocemento en su cara inferior, anclado mecánicamente al soporte con tirafondos.

- **DISPONER UNA LÁMINA DE BETÚN POLIMÉRICO AUTOADHESIVO A DOS CARAS**, armada con polietileno de alta densidad de 100 micras, sobre el panel EPS mediante presión, solapada entre sí de 5 a 10 cm y con pendiente máxima del 26 %.

- **COLOCAR PANELES DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO** (EXP), con superficie ranurada y perímetro mecanizado a media madera, que cumpla con la NBE-CT 79 de la zona, presionándolo contra la lámina autoadhesiva y situando el ranurado ortogonalmente a la pendiente de la cubierta.

- **EMPLAZAR LA TEJA CERÁMICA**, apoyada en rastreles de mortero hidráulico adhesivo entallados en el ranurado del panel aislante EXP

CUBIERTA DE MADERA: las flechas acusadas en pares y cumbreras pueden propiciar la penetración y retención del agua y, en general, el comienzo de la ruina de la misma. El aligeramiento de la terminación o revestimiento exterior tiene un efecto relativo, ya que el vicio de la pieza suele ser suficientemente potente como para que la posibilidad de recuperación sea baja. Es necesario recurrir a prótesis complementarias pero, en varios casos, directamente se debe sustituir el elemento.

La penetración de agua puede traer inconvenientes en correas y chillas, generalmente traducidos en procesos de pudrición.

Las correas son elementos auxiliares cuya reparación o sustitución no genera mayor problema, a menos que por fallo de otros elementos principales estén funcionando como codales o tirantes. En estos casos la secuencia de la reparación ha de ir de los elementos básicos a los complementarios, ya que la actuación contraria puede provocar mayores perjuicios. No hay que olvidar que otras causas de rotura de correas pueden ser la sobrecarga por reparaciones o las ruinas en elementos colindantes.

En cuanto a las deformaciones, alabeos y desencuadernado de nudos de correas –además del daño que ocasiona la penetración de agua– pueden influir otros motivos como la pérdida de cobertura con insolación por una sola cara, el estado de la madera en el momento de su colocación y la transmisión de esfuerzos por el mal funcionamiento de los elementos principales.

El estado de la chilla, elemento final de apoyo de la cobertura, tiene mucho que ver con el de aquella. Las reparaciones que solamente afectan a la chilla y que van siempre acompañadas de retejado, a no ser que tengan otras implicaciones, no requerirán mayor cuidado que la correcta elección del material. En este caso, además de la pudrición por penetración de agua, otros motivos de daño pueden ser:

- **INSUFICIENCIA DE SECCIÓN** con respecto a la luz salvada e insolación directa por pérdida de cobertura.
- **PROCESOS DE SEQUEDAD-HUMEDAD** debidos a la pérdida de cobertura.
- **EXCESIVA SEQUEDAD** que en algunos tipos de madera provocan una agilidad que no resiste sobrecargas de nieve o reparaciones.
- **ARRASTRE POR PÉRDIDA DE EJIONES** o codales de correas y/o rotura de la propia correa.

Existe un principio básico en la intervención sobre cubiertas con estructura de madera que se quieran reparar y conservar: no comenzar el desmontado antes de entender perfectamente su funcionamiento y el motivo de los daños de todos los elementos constituyentes.

Las reparaciones más frecuentes se dirigen a resolver puntual y temporalmente los problemas, sin llegar al foco de los mismos. Las prótesis más comunes son de apuntalamiento (apuntalamiento vertical o prótesis acodoladas o en tornapunta) y de aportación de material (con igual madera u otro material como el hierro o morteros epoxi), que funcionan por pareado de pieza o en *sándwich*. Por regla general, las prótesis de aportación generan menos problemas que las de apuntalamiento, ya que son más intuitivas y no alteran el comportamiento estructural, mientras que las segundas pueden variarlo.

MEDIDAS PREVENTIVAS DE HUMEDADES DE FILTRACIÓN EN CUBIERTAS INCLINADAS

Las siguientes son consideraciones prácticas que pueden impedir el origen de ciertas patologías vistas. Se trata de soluciones correctas para los elementos constructivos que nos ocupan:

- **PARA LA COLOCACIÓN DE LAS TEJAS**, un solape suficiente de acuerdo con su constitución y según la inclinación del faldón, la orientación y la zona climática.
- **CON RESPECTO A LOS ALEROS**, un vuelo suficiente para las tejas canales.
- **EN CUANTO A LOS BORDES DEL FALDÓN**, y si tienen encuentro con paramento vertical, asegurar cuando sea necesario la impermeabilidad de la unión mediante canalón y solape del elemento impermeable y proteger.
- **EN LO QUE RESPECTA AL DRENAJE**, colocación correcta del canalón del alero, con separación de 5 cm del paramento, sujeción adecuada, inclinación necesaria y suficiente número de bajantes para evitar acumulación de suciedad y tierra. Siempre ponderar la necesidad real del canalón que, de hecho, se da muy pocas veces. Por lo tanto, si el canalón no es necesario para la recogida de agua de lluvia para su posterior utilización o para evitar la caída directa del agua sobre un punto concreto, lo mejor es no poner canalón y dejar la caída libre, ya que ello introduce menos riesgos de lesión.
- **MANTENIMIENTO PERIÓDICO Y ADECUADO**, limpieza del conjunto (sobre todo de canalones) y revisión de elementos metálicos.

ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA LA REPARACIÓN DE IMPERMEABILIZACIONES

DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE LAS FILTRACIONES. Si la filtración no puede localizarse a simple vista o por un defecto constructivo conocido, deberá determinarse por otros medios. Los más usuales son:

- **VERTIDO DE AGUA EN LA ZONA AFECTADA**, por ejemplo con una manguera, sin formar un abanico muy grande (50 a 100 cm de ancho como máximo), iniciándose en el mismo lugar en que aparece la humedad. Si la filtración se percibe a los pocos minutos de iniciar la lluvia, con este medio también debe aparecer con rapidez. Si la humedad no asoma, se aleja la manguera en sentido contrario al del recorrido del agua, pero en línea recta con la dirección del bajante. Se prosigue el desplazamiento, dejando la manguera en reposo unos 30 minutos hasta que aparezca la filtración. El fallo de la impermeabilización estará en el punto donde esté situada la manguera en aquel momento o a poca distancia del mismo en dirección al bajante.

- **SI LA HUMEDAD NO SE MANIFIESTA DE INMEDIATO AL INICIAR LA LLUVIA**, se aconseja formar una pequeña balsa encima de la zona perjudicada que se irá desplazando o modificando en días sucesivos, hasta que aparezca la misma.

- **SI LAS MANCHAS DE HUMEDAD COINCIDEN CON ALGÚN ENTORNO DE LA CUBIERTA**, probablemente se tratará de un defecto de entrega. Al formar una balsa no se presentará la gotera, pero sí al verter agua por encima del mimbel.

RETIRADA DE LA PROTECCIÓN. La zona a reparar se ampliará por lo menos unos 25 cm a cada lado de la parte afectada y deberá comprobarse el buen estado de la impermeabilización descubierta en estos laterales. A veces puede ocurrir que, al reparar una gotera, se produzcan otras nuevas en la zona descubierta.

Si la protección no está adherida, será más fácil retirarla y el riesgo de deterioro de las zonas contiguas será mucho menor.

Cuando se trate de impermeabilizaciones asfálticas autoprotegidas (con revestimiento metálico), se aconseja eliminar la autoprotección para facilitar la unión de las nuevas láminas. Así, la pizarra o áridos minerales se arrancarán calentando la lámina con un soplete; en las láminas acabadas con aluminio, se cortará primero el aluminio alrededor de la zona a tratar, con una espátula o un cuchillo, procurando no cortar la parte asfáltica de la lámina, y se levantará calentándolo suavemente.

Si la impermeabilización está hecha en PVC, caucho sintético o alquitrán modificado con PVC, la eliminación de la protección será más sencilla, ya que su adherencia a la lámina no suele ser muy fuerte.

REPARACIÓN DE LA IMPERMEABILIZACIÓN. En impermeabilizaciones asfálticas se procurará poner, por lo menos, dos capas de lámina. Se comprobará la perfecta soldadura entre las nuevas láminas y los contornos de la zona afectada y se solaparán 20 cm entre sí como mínimo. La segunda capa se alargará unos 5-10 cm hacia la zona no afectada, con el fin de suavizar el aumento de grosor.

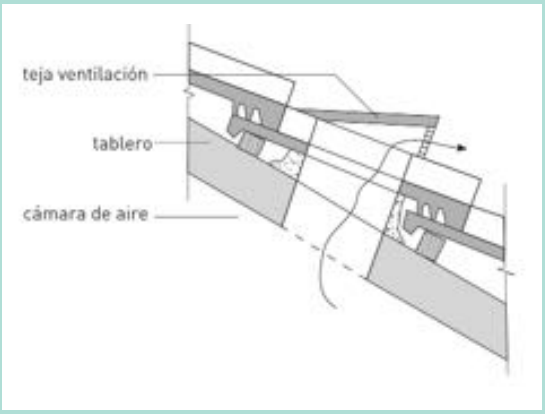
Si se utilizan láminas de PVC el procedimiento será similar pero se emplearán láminas de 1 mm de espesor, como mínimo, provistas de armadura. Al tratarse de monocapas, se asegurará la unión con la lámina existente mediante doble soldadura.

Con las láminas de caucho tampoco variará el procedimiento. A ser posible los solapes se unirán con tiras de caucho crudo, vulcanizable en frío y sólo en casos excepcionales se utilizará pegamento.

En las láminas de alquitrán modificado con PVC la unión se efectuará con pasta y no con pegamento, a no ser que se trate de superficies muy grandes y que la lámina existente esté completamente limpia.

COMPROBACIÓN. En cualquier caso, una vez efectuada la reparación, y antes de reponer la protección si ha de haberla, se comprobará la desaparición de las humedades. Si no fuera posible embalsar la cubierta se formará una balsa en la zona reparada, de dimensiones algo mayores, con el fin de asegurar que no se ha deteriorado la impermeabilización durante los trabajos de reparación.

REPOSICIÓN DEL PAVIMENTO. El pavimento que haya que reponer se colocará teniendo en cuenta las incompatibilidades de algunos materiales de construcción. Por ejemplo, no se pondrá embaldosado con mortero asfáltico sobre el PVC, ni mortero de cal sobre materiales asfálticos.



Detalle de la teja de ventilación superior de una cubierta inclinada. Esta teja junto con la inferior, aseguran un flujo de aire debajo del tablero, evitando que éste y los demás componentes de la estructura de la cubierta se degraden por acumulación de humedad.

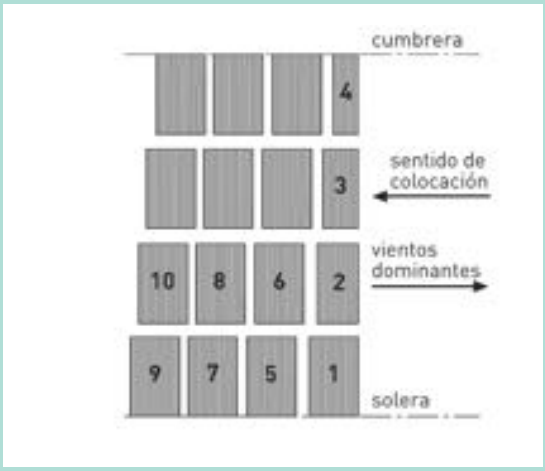
HUMEDAD POR CAUSAS ATMOSFÉRICAS (LLUVIA, VIENTO, NIEVE, CONDENSACIÓN)

No sólo las condiciones atmosféricas externas pueden provocar humedad al interior del edificio. También la procedente de la atmósfera interior puede condensarse en los paramentos interiores de los muros exteriores o de los techos, resultando difícil dictaminar a veces el origen real de la humedad.

Salvo casos excepcionales, la humedad debida a condensaciones suele producirse antes de llover o tras lluvias muy ligeras, sobre todo cuando se pasa de un frío fuerte a uno más templado y húmedo.

Por el contrario, la debida a infiltraciones se manifiesta después de fuertes lluvias, mucho más pronunciada en las partes altas del edificio y menos en los sitios protegidos por aleros y cornisas.

Estas humedades por lo general son difíciles de eliminar, mientras que las primeras desaparecen rápidamente con buena ventilación.



Orden de colocación de las chapas metálicas de una cubierta inclinada.

La humedad infiltrada se acrecienta con las precipitaciones que en forma de lluvia, granizo y nieve, y ayudadas por el viento, penetran profundamente en los poros de los materiales donde produce las lesiones y defectos característicos: infiltración general a través de muros y cubierta con formación de goteras; aparición de manchas de humedad y eflorescencias; desconchamiento de ladrillos y morteros por heladas; criptoflorescencias y otras acciones químicas; putrefacción de las maderas y corrosiones y oxidación de metales.

Por regla general, las acciones atmosféricas comienzan a ejercer su acción cuando los elementos componentes absorben agua, lo que es controlable desde un primer momento si se diseña la cubierta con materiales impermeables de primera calidad.

La acción conjunta de agua y hielo tiene un carácter destructivo importante por el aumento volumétrico del agua al helarse y por las fuerzas expansivas que se originan con este cambio de estado y que se desarrollan en el interior de la cubierta. A menudo la nieve es causa de infiltraciones de agua debido a la acumulación de hielo, principalmente en las canales. La nieve que funde el sol durante el día, se hiela de noche en las canales e impide el desagüe, provocando que las aguas de fusión se remonten por debajo de las tejas. El calor que escapa del interior de las casas puede fundirla y permitir la formación de carámbanos en los aleros. Este proceso es particularmente peligroso en limahoyas y lucernarios, en donde es causa de numerosas goteras.

En las regiones de clima no muy riguroso, generalmente es posible atenuar la formación de hielo por fusión de nieve mediante un buen aislamiento térmico de la cubierta –por ejemplo con lana de vidrio– y con una correcta ventilación debajo de las tejas y a través de la cornisa.

En condiciones climáticas más crudas, o en edificios que exigen mayores comodidades, se puede instalar un sistema de deshielo térmico como se realiza en ocasiones en aceras y entradas de hoteles. Estas instalaciones se efectúan a partir de tubos de agua caliente o de cables eléctricos colocados bajo la zona a deshelar. La nieve se elimina por fusión y el sistema puede funcionar automáticamente mediante conmutadores accionados por gravedad (el peso de la nevada provoca el encendido), por fusión (la formación de agua por fusión natural de la nieve genera un contacto eléctrico), o por una célula fotoeléctrica (por la reflexión luminosa de la nieve). La instalación es semejante a una calefacción central con radiadores bajo tierra. Suelen colocarse tubos espaciados de 40 a 60 cm y embutidos en una placa de hormigón de 6 a 8 cm.

Las heladas, por el aumento del volumen del agua, pueden provocar lesiones que se manifiestan como una pulverización de la superficie de ladrillos o piedras blandas; el desmoronamiento de la superficie de las juntas; desconchados en ladrillos o piedras; y desplazamientos del mortero del enfoscado o del rejuntado. Al ser tan similares a las lesiones producidas por criptoflorescencias, habrá que diagnosticar por la eliminación de las segundas y atendiendo a las condiciones atmosféricas.

También deben tenerse en cuenta las consecuencias de las heladas en obras en ejecución. Son especialmente graves en los hormigones, ya que impiden su fraguado. Por lo tanto, o bien se evitará hormigonar cuando se prevean bajas temperaturas, o bien se tomarán precauciones protegiendo el hormigón y en lo posible agregándole aditivos anticongelantes durante el amasado. Ya que el descenso de la temperatura del hormigón no sólo se debe a una temperatura ambiente muy baja, sino también al enfriamiento que le produce el aire, es aconsejable una buena protección con plásticos, serrín, algún otro material aislante o simplemente arena.

HUMEDAD DE CONDENSACIÓN

Se designa de esta manera a la aparición de humedad en un cerramiento como consecuencia de la condensación del vapor de agua que tiende a atravesarlo para alcanzar, en algún punto de su recorrido, la temperatura de saturación o de rocío en función de la presión de dicho vapor. Es un tipo de humedad algo especial ya que implica la confluencia de una presión de vapor lo suficientemente alta con una temperatura baja, ambas en la superficie o al interior del cerramiento. De esta manera puede surgir la humedad donde antes no la había.

HUMEDADES DE CONDENSACIÓN EN CUBIERTAS NO VENTILADAS (INCLINADAS O PLANAS)

Puede presentarse con facilidad en las cubiertas sin cámara (no ventiladas o «calientes»), ya que en ellas el vapor de agua producido en el local bajo tejado cruza el faldón con regularidad y éste, debido a su alto nivel de exposición, tiene temperaturas intersticiales o superficiales interiores muy bajas.

En el caso de los faldones de base estructural de hormigón armado y de tablero de hormigones ligeros, estos últimos aíslan muy poco y, por lo tanto, las superficies interiores suelen presentar una falta de aislamiento. Por su parte, las condensaciones intersticiales se dan no sólo por la falta de aislamiento sino, además, por la presencia de la barrera de vapor colocada sobre el forjado y por debajo de la capa de mortero aligerado (soporte de la terminación de la cubierta) que, a pesar de las caperuzas de ventilación –cuando se colocan–, facilita la acumulación de vapor de agua bajo la barrera, lo que aumenta el peligro de condensación. En este caso, la humedad intersticial aparece entre el forjado y el tablero y traspasa la estructura de a poco.

Por la forma de manifestarse se confunde muchas veces con otros tipos de humedad, lo que provoca procesos de reparación contraproducentes.

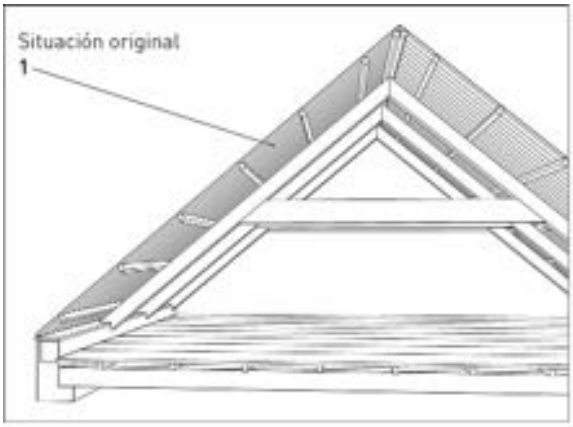
CONDENSACIÓN SUPERFICIAL INTERIOR: la humedad se aprecia muy pronto, en función del tipo de superficie donde se dé. Si es pulida, directamente se forman gotas de agua. Si, por el contrario, es porosa, el agua que se condensa se aloja en los poros y tarda algo en notarse, hasta que finalmente se forma una mancha de humedad. En cualquiera de las dos situaciones, existen dos líneas distintas de actuación: evitar que haya condensación o preparar la superficie para que el agua no produzca una lesión en ella.

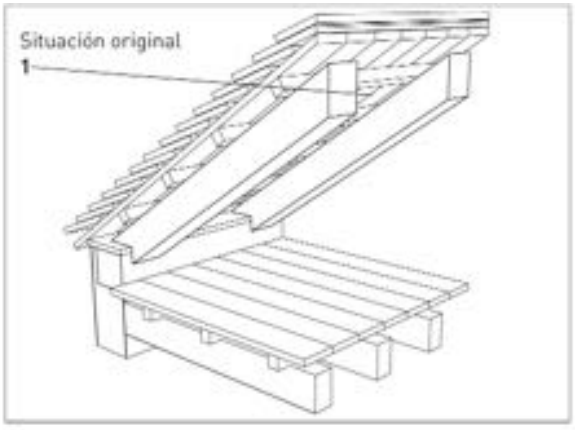
Para la primera de las líneas mencionadas, evitar que haya condensación, existen dos caminos, ambos dirigidos a impedir que se alcance la temperatura de rocío sobre el techo: aumentar la temperatura superficial interior del cerramiento o disminuir la presión de vapor de agua del local. Veamos entonces en qué consisten cada una de estas actuaciones.

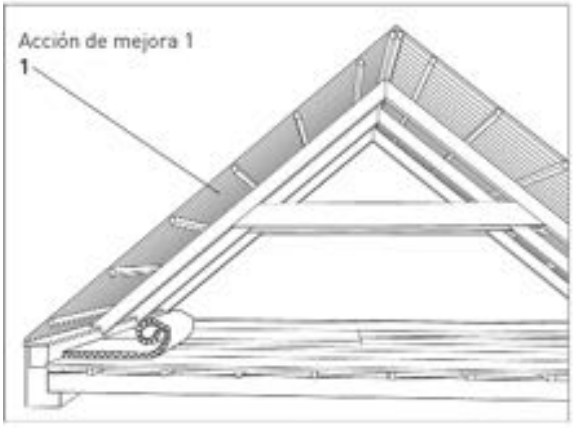
PARA AUMENTAR LA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR es posible recurrir a medios activos (aumento de la calefacción interior). Pero esto, además de ser costoso, no da una seguridad permanente. Por otro lado, se puede recurrir a métodos constructivos o «pasivos», sin más que aumentar el coeficiente de aislamiento del propio cerramiento. Para ello, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **ES NECESARIO VER SI AFECTA A TODO EL FALDÓN** o a los encuentros del mismo con la estructura u otros cerramientos, provocando los conocidos puentes térmicos.

- **EL AUMENTO DE DICHO COEFICIENTE** se consigue al incrementar el aislamiento del cerramiento.











1. Penetración de humedad, frío y corriente de aire
2. Rollos de pavimento aislante
3. Paneles rígidos de espuma aislante, con barreras de vapor si la golfa es fría
4. Nuevo cielorraso que conforma una cámara de aire
5. Paneles rígidos de espuma aislante con barreras de vapor incluida.
6. Nuevo cielorraso con o sin cámara de aire.
Las medidas **5** y **6** complementan las anteriores y permiten obtener golfas calientes.

Acciones a llevar a cabo para mejorar la aislación térmica de una golfa.

- **LA SITUACIÓN Y TIPO DE AISLAMIENTO** son decisivos para el funcionamiento de la reparación.

- **EL AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR** tiende a aumentar uniformemente dicho coeficiente, cubriendo incluso los puentes térmicos.

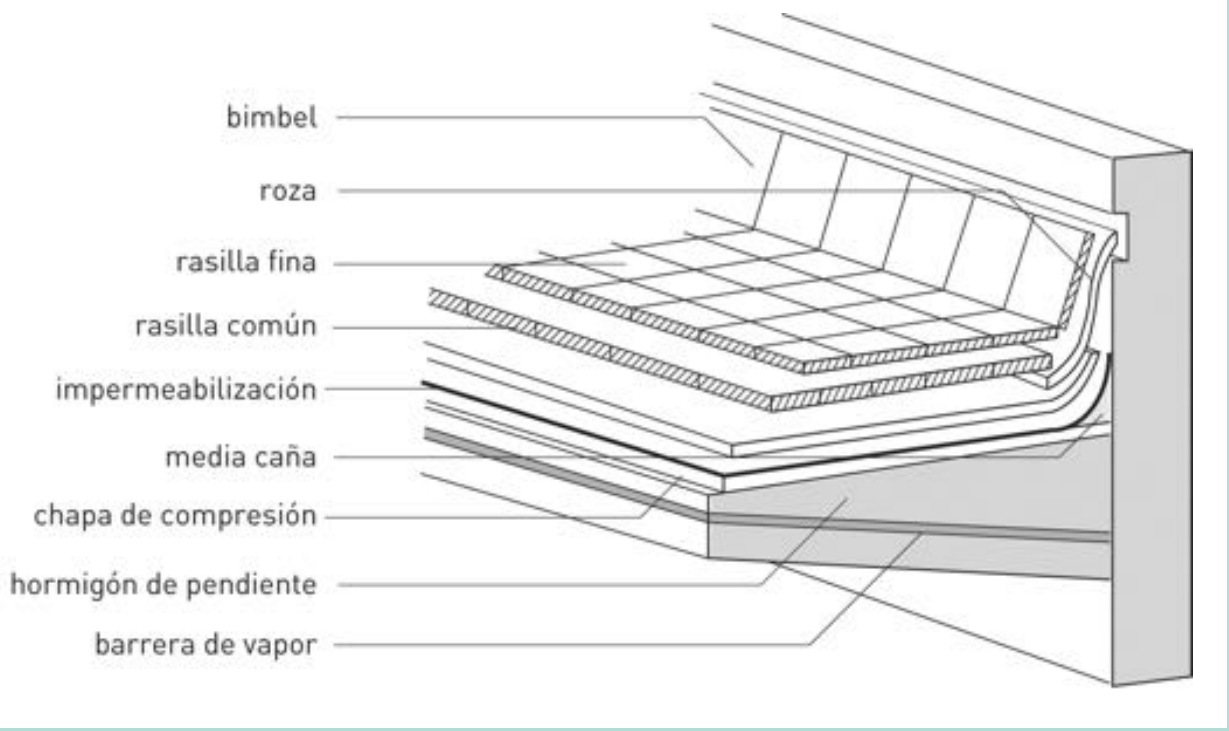
- **UN AISLAMIENTO POR EL INTERIOR,** por el contrario, suele quedar interrumpido en forjados y tabiques, por lo que no anula los puentes térmicos, sino que los resalta aún más.

En función de estas consideraciones, las medidas de reparación más adecuadas para aumentar la temperatura superficial interior consisten en:

- **APLICAR UNA HOJA EXTERIOR DE MATERIAL AISLANTE** bajo las tejas de forma continua, o puntual sobre los puentes térmicos, a base de retejar. Dicha hoja tendrá el espesor necesario según sus características aislantes y el aumento de coeficiente que se necesite, estudiado en función de los grados de temperatura que se quiera elevar y de las condiciones climáticas previsiblemente más adversas.

Por otra parte, habrá que resolver la protección exterior de la hoja al recibir el apoyo de las tejas, o darle la rigidez necesaria. La solución más sencilla implica colocar planchas de aislante de poro cerrado (poliestireno extruido, espuma de vidrio, etc.) convenientemente solapadas y sujetas, y protegidas al exterior mediante una capa de mortero armado con malla de poliéster o fibra de vidrio. Si la cubierta es de chapa, no suele necesitar ningún tipo de protección y si es de loseta de pizarra y se utilizan rastreles, tampoco.

- **RELLENAR LA CÁMARA DE AIRE CON ESPUMAS**, siempre que el faldón disponga de dicha cámara vacía dentro del plano del mismo y que el estudio del gradiente de temperaturas confirme que esta posibilidad es beneficiosa. No se trata de cámaras entre forjado y faldón y, en cualquier caso, este relleno suele presentar algunos problemas. En primer lugar, no anula los puentes térmicos ya que la cámara suele estar interrumpida en los elementos estructurales.



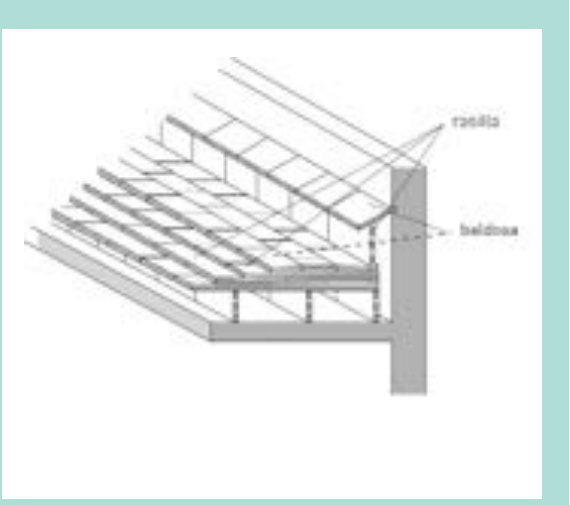
Desarrollo constructivo de una cubierta plana transitable.

Por otra parte, no es sencillo asegurar la uniformidad de reparto de la espuma y, por consiguiente, del coeficiente de aislamiento. Para contrarrestar este efecto hay que medir la intensidad de la espuma inyectada mediante orificios y testigos. Pese a los inconvenientes, este sistema resulta más fácil de aplicar que el desarrollado en el punto anterior.

- **COLOCAR PLANCHAS AISLANTES POR EL INTERIOR DE LA CUBIERTA**. Si bien esta solución no es recomendable, en muchas ocasiones es la única posible. En estos casos hay que tener en cuenta que la plancha solamente aísla y que se conseguirá, en efecto, aumentar la temperatura superficial interior.

  No obstante, el vapor de agua seguirá pasando hasta la vieja superficie, donde puede alcanzar la temperatura de rocío, y, por tanto, se producirá la condensación superficial.

  Al estar oculta, la humedad se descubrirá más tarde. Para evitar esto, hay que usar un material aislante con barrera de vapor hacia el interior del local.



Correcta ejecución de una azotea a la catalana.

Continuemos ahora con la segunda medida propuesta para evitar que haya condensación. ***PARA DISMINUIR LA PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA*** del local, suponiendo que se mantiene su uso, sólo queda como recurso el disipar dicho vapor mediante la ventilación natural o mecánica. La ventilación natural puede ser permanente o temporal. Esta última supone un control de los usuarios que, en cualquier caso, no afecta a las soluciones de reparación constructiva más que en aumentar la superficie de ventana practicable, por lo que resulta más conveniente pensar en la de carácter permanente, la cual se consigue de dos maneras:

- **ACTUANDO SOBRE LAS CARPINTERÍAS Y SUS SISTEMAS DE OBSTRUCCIÓN**: se trata de aumentar la permeabilidad del aire de las ventanas. Esta solución en un principio parece paradójica, pero en la realidad suele ser necesaria, sobre todo en climas húmedos. De hecho, la norma NBE CT-79 exige una permeabilidad mayor de las ventanas en dichos climas (A-3 para climas húmedos y A-2 para los secos). En la práctica esto puede exigir el cambio de las carpinterías o la eliminación de burletes y topes de goma.

- **PRACTICANDO ABERTURAS PERMANENTES (REJILLAS) CONVENIENTEMENTE COLOCADAS**: es similar a la alternativa usada para la ventilación obligatoria cuando existen instalaciones de gas y permite ahorrar la actuación sobre las carpinterías.

No obstante, estas soluciones señaladas no son las más beneficiosas para lograr un mayor confort en lo que se refiere a la temperatura interior del local, que disminuye al aumentar la ventilación en invierno. Por esta razón estas medidas son más apropiadas en locales que no son de reposo (en los cuales, de todos modos, habrá que prever esa ventilación permanente). En los locales para estancia o descanso, si se quiere actuar sobre la ventilación habrá que hacerlo mediante un control temporal, a menos que se trate de casos más serios.

La segunda línea de actuación factible, preparar la superficie del cerramiento para la posible condensación, puede ser complementaria a la anterior y se trata, básicamente, de disponer de una superficie pulida e impermeable que no se vea afectada por el agua que se condensa sobre ella y que permita su secado y limpieza con relativa facilidad.

Esta actuación se refiere a aquellos casos en los que la condensación se produce sobre superficies porosas y no se puede anular por la vía anterior. Entonces, si el local lo admite, se procederá a impermeabilizar su superficie mediante la aplicación de un acabado pulido.

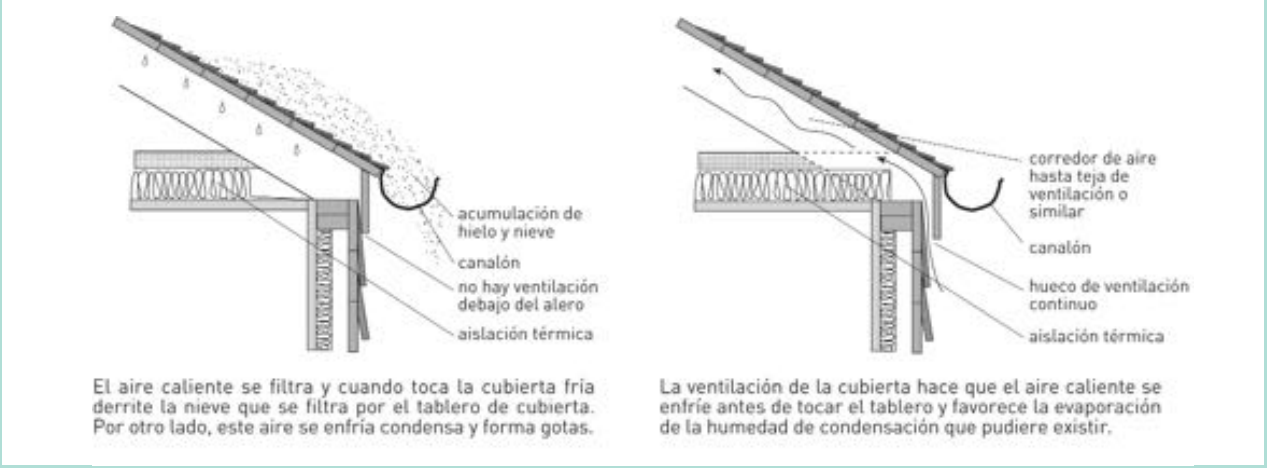
Si solamente actuamos sobre el incremento del aislamiento o de la ventilación y la superficie interior era porosa, se habrán producido manchas o desprendimientos que habrá que reparar mediante la reposición de los acabados, una vez que comprobemos que la superficie se ha secado.

En cambio, si aplicamos un acabado impermeable sobre la superficie interior, esta intervención constituye de por sí la reparación del efecto.

CONDENSACIÓN INTERSTICIAL: la actuación sólo puede seguir una de las líneas mencionadas en el punto anterior, la de evitar que se alcance la temperatura de rocío en algún punto del cerramiento, para lo que se pueden tomar las medidas detalladas a continuación:

- ***AUMENTAR LA TEMPERATURA GENERAL*** en el interior de la sección del cerramiento, lo que se logra incrementando su coeficiente de aislamiento lo más al exterior posible, añadiendo aislante por su cara externa o, en contadas ocasiones y si el estudio de los gradientes de temperatura así lo indica, inyectando aislante en su cámara de aire. Sin embargo, nunca se podrá resolver el problema añadiendo aislamiento por el interior; en este caso resulta fundamental anular los puentes térmicos, donde se produce la lesión con más frecuencia.

- ***DISMINUIR LA TEMPERATURA DE ROCÍO*** en la misma sección, para lo cual se deberá disminuir la presión de vapor de agua. Esto se consigue al aumentar la ventilación mediante los mismos sistemas detallados en el punto anterior, pero aquí sirven también las barreras de vapor. En efecto, se puede añadir por la cara interior del faldón una barrera de vapor que corta el paso del mismo al interior y provoca, en consecuencia, un descenso de la temperatura de rocío.



Ventajas y funcionamiento de una cubierta inclinada ventilada.

Dicha barrera, no obstante, provoca una acumulación de vapor delante de ella que puede llegar a producir la condensación superficial interior. Por ello, antes de aplicarla es importante estudiar bien los gradientes de temperatura y conocer la permisividad al paso de vapor de agua de la barrera que se pondrá.

En los casos de condensación intersticial o superficial sobre tuberías y, una vez aplicadas las medidas correctoras y asegurado el secado del paramento al menos en su cara exterior, se procederá a la eliminación de las manchas o a la reposición del acabado erosionado o desprendido.

HUMEDADES DE CONDENSACIÓN EN CUBIERTAS VENTILADAS (CÁMARAS DE AIRE EXTERIORES)

Si se consigue disipar el vapor de agua que cruza el cerramiento antes de que alcance la temperatura de rocío también se evita la condensación. Para ello existe una solución relativamente antigua que consiste en introducir una cámara de aire en el interior del cerramiento, ventilada hacia el exterior, que disminuye la presión de vapor. Es un recurso bastante corriente en países húmedos y se conoce en el Reino Unido con el nombre de cavity wall para los paramentos verticales, es decir, un doble muro con cámara interior, algo parecido al «muro capuchino» en España.

En actuaciones de reparación se podría añadir al muro o cubierta afectados por la condensación intersticial una cámara de aire ventilada por el exterior, siempre que sea aceptable desde el punto de vista formal y constructivo.

Si se admite cambiar la imagen de la fachada, se puede dotar a la antigua cubierta (normalmente una cubierta caliente) de una capa superior que deje una cámara ventilada hacia afuera.

Se puede pensar en una «terraza flotante» de baldosas sobre torretas regulables, de una chapa metálica o de fibrocemento sobre perfiles metálicos, de un tablero de rasillones sobre tabiquillos palomeros o, incluso, consistente en una tela tensada.

CONDENSACIÓN HIGROSCÓPICA habría que deshacerse de los materiales higroscópicos contenidos en el acabado del cerramiento ya que pueden ser causa de humedades. Estos materiales tienen la propiedad de absorber la humedad y conservarla, impidiendo la libre evaporación a través de los poros. Consisten principalmente en sales, como las contenidas en el agua del mar o en su arena, y en las obras no se debe emplear ninguna de ellas, salvo la arena si se lava bien. Su peligro consiste en que, al absorber la humedad atmosférica, se disuelven y extienden y de esta forma transmiten la causa absorbente al resto de las fábricas. Así, si se emplea arena de mar en los revocos, lo más probable será que la sal contenida en ella se propague a la fábrica, de donde será muy difícil de eliminar.

Para deshacerse de estas sales higroscópicas se pueden seguir dos métodos diferentes. El primero, más drástico, consiste en eliminar la capa de revoco que aloja las sales a partir de una demolición y saneado. En cualquier caso, hay que comprobar que no queda rastro de las mismas, para lo cual se aconseja provocar vapor de agua cerca del cerramiento y medir la humedad en el paramento.

El segundo método es más complicado; sólo se utiliza cuando no se puede eliminar el acabado afectado por algún motivo histórico o artístico. Entonces se procede mediante un sistema controlado que permita humedecer el revoco para disolver las sales higroscópicas y se absorbe la humedad mediante apósitos o productos secantes como arcillas o fieltros.

Antes de llevar a cabo cualquiera de estas actuaciones se deben anular humedades de capilaridad o de filtración que puedan aparecer en el cerramiento generando más sales higroscópicas.

CUBIERTA METÁLICA: Las condensaciones son consecuencia de la ausencia de material aislante o de un espesor inadecuado para la zona de ubicación.

La actuación consiste es instalar un aislamiento de espesor correcto sobre la base de un estudio higrotérmico cumpliendo la norma NBE CT-79, protegido por un impermeabilizante de intemperie, con el siguiente proceso de trabajo:

- **COLOCAR, SOBRE LA CHAPA METÁLICA, PANELES DE POLIESTIRENO EXTRUIDO**, mecanizados a media madera en su perímetro y espesor cumpliendo la norma NBE CT-79, anclados mecánicamente a la chapa con tacos expansivos de polipropileno de 9 cm o, en su lugar, con tirafondos galvanizados de rosca chapa con arandela de polipropileno.

- **INSTALAR UNA LÁMINA DE BETÚN POLIMÉRICO ADHESIVO A LAS DOS CARAS** mediante presión con rodillo hasta el 26 % de pendiente máxima, armada con polietileno continuo de alta densidad, solapada entre sí de 5 a 10 cm.

- **DISPONER UNA LÁMINA AUTOPROTEGIDA DE BETÚN POLIMÉRICO** con doble armadura de fieltro de poliéster punzonado de 140 g/m², más un velo de fibra de vidrio de 50 g/m², con acabado granular y peso de 4 kg/m². Debe cumplir la norma UNE 104 242/2, tipo LBM 40G FP+FV, sistema GA2 de la NBE QB-90, y estar adherida a la anterior mediante presión o por calor, en función de la pendiente de cubierta.

Si se pretende una cubierta más ligera y que conlleve un menor tiempo de actuación, se puede sustituir la impermeabilización anterior por una lámina sintética de caucho sintético, anclada mecánicamente a la chapa metálica con tacos de polipropileno.

CUBIERTAS CON DESVANES NO HABITABLES: pueden producirse condensaciones en la parte inferior del techo, que separa la vivienda de los desvanes o buhardillas ventiladas. Bajo el mismo se crea una sensación de frío, siendo sus motivos la falta de aislamiento térmico, las temperaturas exteriores extremas y la excesiva ventilación de los desvanes que producen temperaturas muy bajas.

Para aislar por arriba del techo se debe colocar una manta de lana mineral o planchas de poliéster expandido, de 5 a 10 cm de espesor, que cubran toda la superficie y tapen un posible punto térmico. En cambio, si se quiere aislar por debajo del techo, se han de colocar planchas aislantes de 5 cm de espesor como mínimo, adheridas o clavadas al envigado. A continuación se coloca un cielo raso de madera o de planchas de yeso.

CUBIERTA PLANA AJARDINADA: se observasen condensaciones interiores, habrá que dotar a la misma del espesor de aislamiento suficiente para cumplir la norma NBE CT-79, para lo cual se intercala entre la lámina de reimpermeabilización y el drenaje un panel de espuma rígida de poliestireno extruido mecanizado a media madera en todo su perímetro y espesor, según la normativa vigente.

CONDENSACIONES EN CUBIERTA PLANA TRANSITABLE

Es consecuencia de irregularidades en la capa impermeable, desagües o junta de dilatación, o debidas a condensaciones interiores originadas por falta de aislamiento o espesor incorrecto.

Lo importante en este caso, además de solucionar la estanqueidad de la cubierta, es realizar un estudio higrotérmico completo del elemento constructivo y conocer las condensaciones superficiales e intersticiales para corregirlas y poder realizar una rehabilitación de cubierta apropiada.

A continuación detallamos el proceso de trabajo necesario:

- **LIMPIAR LA SUPERFICIE DE LA CUBIERTA MEDIANTE BARRIDO**, para recoger restos del solado exfoliado, hojas, papeles y cables.

- **EXTENDER Y COLOCAR SOBRE EL SOLADO EXISTENTE UN CARTÓN ASFÁLTICO COMO ELEMENTO SEPARADOR**, solapado entre sí de 5 a 10 cm.

- **IMPERMEABILIZAR CON DOBLE LÁMINA FLOTANTE**, unidas con adhesivo asfáltico en frío a razón de 0,40 kg/m², a partir de: una primera lámina de oxiasfalto catalítico de 4 kg/m², armada con fieltro de fibra de vidrio de 60 g/m² según UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm, que cumpla la norma QB-90, apartado UNE 104 238, tipo LO 40FV, sistema PN-1; y una segunda lámina de betún polimérico APP o SBS con peso de 4 kg/m², armada con fieltro de poliéster con un gramaje de 140 g/m² según UNE 104 204, solapada entre sí de 3 a 5 cm ortogonalmente con la anterior, que respete la norma QB-90, apartado UNE 104 242, tipo LBM 40FP, sistema PA-1.

- **COLOCAR PANELES DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO**, mecanizados a media madera en todo su perímetro y espesor de acuerdo con la norma NBE-CT 79 de la zona.

- **EXTENDER UN DIFUSOR DE VAPOR** a partir de un estructurado de polietileno y geotéxtil punzonado, con resistencia a la compresión de 250 Kpa y volumen de aire de 5,71 l/m², solapado entre sí de 10 a 15 cm.

- **NUEVO SOLADO DE CUBIERTA CON PIEZAS CERÁMICAS**, asentadas mediante mortero de cemento Pórtland continuo, como último paso.

HUMEDAD POR DISCONTINUIDADES

Inestabilidad en forma y posición en estructuras continuas y discontinuas

El grado de continuidad estructural incide en la magnitud y tipo de deformaciones de las estructuras. Por lo general, las estructuras hiperestáticas son menos deformables que las isostáticas. La continuidad en las primeras no genera zonas o líneas importantes de discontinuidad, mientras que en las segundas, y principalmente en las zonas de los apoyos, pueden aparecer serias deformaciones capaces de afectar a todos los elementos sobrepuestos a la estructura resistente.

El agrietamiento o formación de fisuras en las impermeabilizaciones continuas con materiales laminares, pastas, másticos y morteros, se debe fundamentalmente a las causas siguientes:

- **CAMBIOS DE TEMPERATURA** que provocan el endurecimiento del material y su pérdida de elasticidad.

- **HELADICIDAD**.

- **SAPONIFICACIÓN Y PÉRDIDA DE PLASTIFICANTES** de algunas láminas que actúan en detrimento de la resistencia al desgarramiento.

- **ENVEJECIMIENTO PREMATURO DEL MATERIAL** por una falta de protección adecuada.

- **TIPO DE FIJACIÓN AL SUBSTRATO**: los sistemas adheridos usualmente plantean problemas de fisuración al hacerse solidarios con el substrato o con el soporte base.

- **APARICIÓN DE AMPOLLAS DEBAJO DE LAS LÁMINAS** por la formación de burbujas de vapor de agua a presión, procedente de los estratos o capas inferiores del cerramiento de la cubierta.

- **DEFORMACIONES** originadas por esfuerzos mecánicos y/o dinámicos no compatibles con el material de la impermeabilización.

- **JUNTAS ESTRUCTURALES** y/o de los estratos en contacto con la impermeabilización.

JUNTAS DE DILATACIÓN

Las juntas de dilatación entre edificios, o en un mismo edificio de grandes dimensiones, suelen ser puntos singulares donde la penetración de agua es más fácil y, de hecho, constituyen uno de los elementos más conflictivos de las cubiertas.

Para su tratamiento, tanto en los paramentos verticales como en las terminaciones de la cubierta, suele colocarse un material de relleno a presión consistente en un plástico espumado blando (placa de poliestireno expandido, cordón celular, etc.).

El sellado se efectúa con masilla elástica y resistente a la intemperie. Para evitar que la masilla sobresalga al contraer la junta, su espesor deberá estar comprendido entre el 50 % y el 100 % del ancho total de la junta. También existen perfiles de caucho sintético o PVC para cubrir las juntas exteriores y su colocación es muy simple, ya que se introducen a presión y, por su diseño, son difíciles de extraer.

En los paramentos horizontales o cubierta la intervención suele ser más compleja, ya que la junta atraviesa distintas capas de la misma. Las juntas se mantienen en los hormigones de formación de pendientes y en las chapas de compresión. La impermeabilización viene reforzada con una capa de más, preferentemente de un material elástico igual o compatible con el utilizado en el resto de la cubierta. En el refuerzo se forma un bucle que absorba los movimientos de la junta y se debe rellenar el vacío interior del mismo con un material elástico (tubo de goma o cordón celular, por ejemplo). Finalmente, en los embaldosados, la junta se sellará con una masilla elástica.

Las causas de humedades a raíz de las juntas que se presentan más usualmente son las siguientes:

***ROTURAS EN LA IMPERMEABILIZACIÓN**:* frecuentes cuando se han utilizado materiales poco elásticos o que envejecen con rapidez. Debe descubrirse y repararse la junta.

***JUNTAS EN BARANDILLAS**:* la humedad puede entrar por los laterales o las coronaciones de las barandillas en la zona de la junta de dilatación. Por lo tanto, no basta con solucionar correctamente la junta en la zona plana sino que hay que atender los laterales. Generalmente se aplica una lámina impermeabilizante elástica (de betún elastómero con armadura de fieltro de poliéster, de PVC armado o de caucho butílico), perfectamente adherida a los laterales y formando un bucle central. Si no fuera posible tratar la junta de esta forma, se sellará con una masilla de muy buena calidad, apta para juntas anchas.

***JUNTAS EN LIMAHOYAS O EN CANALES**:* las juntas nunca deben coincidir con las partes bajas de las cubiertas y menos con las canales. Si una junta corta una canal, hay que dividirla en dos mediante un murete que reparta las aguas. Si coincide con una limahoya, también dividir la vertiente, elevando la zona de la junta.

En lo que respecta a las juntas de embaldosados, pueden manifestarse humedades por los motivos siguientes:

***INSUFICIENCIA DE JUNTAS**:* cuando la cubierta no tiene juntas o no tiene las adecuadas, la obra las abre por su cuenta, formando grietas y levantando baldosas. Si el pavimento está adherido a la impermeabilización, la arrastra en su movimiento y le produce fisuras. Ante una situación así se debe descubrir la zona afectada y reparar la impermeabilización. Al componer el pavimento, formar juntas allí donde la misma obra las ha marcado.

***JUNTAS POCO ANCHAS**:* tienen consecuencias similares a las del caso anterior. Cuando la punta se contrae, la masilla sobresale con exceso. Se aconseja rehacer la junta aumentando su anchura.



Las juntas de esta azotea han sido reparadas muchas veces. El origen de estas reparaciones es que antes no existía ninguna junta y el pavimento se encontraba multiplemente fisurado por dilataciones.

***JUNTAS SIN SELLAR**:* el sellado de las juntas evita la penetración de materiales extraños, piedras, grava y elementos rígidos en general. Cuando la junta está vacía estos materiales entran libremente, pero al contraerse la junta por efecto de un cambio de temperatura, quedan comprimidos en su interior y pueden perforar la impermeabilización. En consecuencia, será necesario reparar la junta y sellarla con masilla elástica.

***MASILLAS DESPRENDIDAS LATERALMENTE**:* antes de aplicar la masilla deben tratarse los bordes de la junta con una imprimación. Si no se ha actuado de esta manera, cuando la junta se ensancha la masilla se desprende de uno de los lados y suele aparecer una grieta. Los problemas que puede ocasionar este defecto son similares a los de los casos anteriores; por lo tanto, si se ha producido una filtración de agua hay que reparar la impermeabilización y el pavimento. Si aún no ha aparecido humedad alguna, basta con eliminar la masilla mal adherida y sustituirla por otra nueva, teniendo en cuenta el tratamiento de imprimación previo.

La falta de juntas en el soporte tiene una mayor o menor importancia dependiendo del sistema de colocación de la impermeabilización y de las características de la lámina. En general conviene despiezar la cubierta (substrato) en superficies de 25 a 100 m^2, para evitar movimientos excesivos que no se puedan compatibilizar con la lámina impermeabilizante.

ANCLAJES

En muchas ocasiones las humedades se originan por perforaciones efectuadas en la cubierta o terraza, antes o después de su impermeabilización. Estas aberturas representan un tipo de discontinuidad que exige una ejecución cuidadosa. Algunas de las más significativas son:

***BARANDILLAS METÁLICAS**:* suelen instalarse antes de la impermeabilización. Aunque las entregas se efectúen con esmero, con el tiempo pueden causar problemas, en especial si se agrieta por el cimbreo de la barandilla o si se oxida el metal, lo que podría llegar a perforarla. Los tratamientos son fácilmente deducibles. En el primer caso, si no se puede evitar el cimbreo, se reforzará la impermeabilización con un material más elástico y compatible con el ya existente. En el segundo caso se descubrirá la zona, se tratará el metal con pintura antioxidante, se reparará la impermeabilización y se establecerán controles periódicos del estado de la pintura y del metal. Si el metal ha sido perforado, puede resultar necesaria la sustitución de la zona dañada.

***TENDEDEROS**:* las fijaciones de los tendederos generalmente son metálicas. Si están empotradas en el pavimento suelen crear problemas semejantes a los de las barandillas, por lo que el tratamiento será similar. No obstante, y siempre que sea posible, se recomienda sustituir estas fijaciones por otras situadas en las barandillas u otros paramentos verticales. Con ello, tanto el control como la reparación de cualquier deterioro se hacen más simples.

***ANTENAS DE TV Y TELEFONÍA**:* además de poder presentar los mismos defectos expuestos hasta ahora, en estos casos se debe atender a los que se pudieran originar por los cables tensores que se fijan en distintos puntos de la cubierta. Deberán cuidarse estos anclajes y evitar que perforen la impermeabilización. Más allá de la posibilidad de cambiar los anclajes y situarlos en las paredes, existe la opción de recurrir a dados de hormigón superpuestos al pavimento.

Otras fijaciones: carteles de publicidad, rótulos luminosos y tuberías de agua o gas. En cualquier caso los problemas y soluciones son similares a los anteriormente indicados.

LESIÓN TERAPÉUTICA

Tejados de teja	
Piezas rotas (casos puntuales)	Sustituir la pieza
Piezas rotas (casos generales)	Sustituir s/placa de fibrocemento
Desplazamientos	Corregir posición
Solape escaso (casos puntuales)	Corregir posición
Solape escaso (generalizado)	Sustituir s/placa de fibrocemento
Cubiertas de fibrocemento	
Grietas o perforacines pequeñas	Sellar o tapar
Grietas o perforaciones grandes	Sustituir placa
Solape insuficiente (casos puntuales)	Sustituir o sellar
Solape insuficiente (generalizado)	Remodelar la cubierta
Entregas mal resueltas	Sellar o colocar baberos
Cubiertas calientes (actuación puntual)	
Levantamiento de la protección (aprox. 25 cm)	Grava o solados sin problemas
	Láminas adheridas, con cuidado
Reparación	Monocapas de PVC: Otra de 1mm
	Alquitrán o caucho: Una de 15 a 17,5 cm
	Otra de 20 a 25 cm
Prueba de estanqueidad	
Reposición de la protección	
Cubiertas calientes (actuación generalizada)	
C/ Solado deteriorado	Levantarlo manteniendo impermeabilización
C/ Solado irregular	Interponer capa reguladora
C/ Solado en buen uso	Sobreponer nueva impermeabilización
C/ Grava	Retirar
C/ Láminas PVC	Despegar y regularizar
C/ Láminas asfálticas	Levantar protección
	Despegar o sobreponer

REPARACIONES A REALIZAR EN DISTINTOS TIPOS DE CUBIERTA SEGÚN LAS LESIONES

LESIONES MECÁNICAS Y EROSIONES

DEFORMACIONES

EN CUBIERTAS INCLINADAS

Si bien las deformaciones aparecen principalmente en cubiertas antiguas con estructura soporte de madera, también pueden manifestarse en cubiertas actuales.

Los faldones con una estructura debilitada pueden presentar flechas, corrientes en edificios con estructura de madera que con el paso del tiempo se ha ido debilitando por el ataque de hongos o xilófagos. Asimismo, la falta de previsión del efecto de la nieve puede llevar al flechado excesivo del faldón y hasta puede terminar con el colapso de la cubierta. Siempre se deben tener en cuenta las probabilidades de nieve, aunque sean ínfimas, ya que una única nevada fuerte basta para comprometer toda la estructura. Las lesiones de tipo mecánico se revelan con un hundimiento del plano del faldón, puntual o generalizado, que tiene efectos en la integridad de las tejas y en la estanqueidad del conjunto. En la ac-tualidad se pueden alcanzar flechas importantes en las cubiertas de chapa, sobre todo metálica, cuando no tiene rigidez suficiente para la luz de apoyo. El resultado es la pérdida de solape lateral con filtración inmediata.

Los desplazamientos tienen lugar en las cubiertas muy peraltadas (mansardas y chapiteles) que presenten algún problema estructural, como la falta de arriostramiento suficiente o el fallo puntual de algún elemento que daña al conjunto. Las consecuencias serán la falta de integridad y estanqueidad de la cubierta.

Si las flechas han aparecido en la estructura soporte, para su reparación se debe desmontar el tejado y sustituir desde arriba las piezas afectadas para volver a retejar. Si la deformación no es excesiva y existe algún tipo de buhardilla, se puede ape-ar desde abajo y sustituir las piezas afectadas (lo que no quita que desde el exterior se deban solucionar los problemas de integridad o estanqueidad).

Si las flechas se encuentran en chapas metálicas, se analizan las causas y se reponen todas las chapas afectadas. En el caso de que se trate de una deformación puntual por una carga temporal excesiva (paso erróneo de personas o cargas) basta con reponer la chapa deformada. Pero si, por el contrario, la deformación se debe a la falta de inercia de las chapas, hay que proceder a reponerlas todas o a aumentar el número de apoyos con correas intermedias.

Con respecto a los desplazamientos, generalmente terminan en unas deformaciones serias que requieren una actuación importante. Así pues, se vuelve necesario desmontar la cubierta y reconstruirla, tomando las medidas preventivas para evitar nuevas deformaciones.

En las estructuras pesadas las cargas permanentes son más significativas que las sobrecargas y, en consecuencia, sufren deformaciones diferidas menores que son la que afectan a la impermeabilización. En las estructuras livianas ocurre todo lo contrario y existe un riesgo mayor de que las deformaciones diferidas la dañen. En el caso de las cubiertas con estructuras portantes más bien livianas, el viento ejerce una carga de valor negativo en el faldón de sotavento y una carga adicional en el faldón de barlovento (lado de donde viene el viento).

EL SOPORTE DE LA CUBIERTA

COMPORTAMIENTO	AFECCIÓN	INTERVENCIÓN
Fisuras-Grietas	Membrana (adherida)	Capa separadora
Empujes horizontales	Rotura petos	Juntas
Contra pendiente	Agua estancada	Aumentar pendiente (Placas H. celular)
Terminación superficie	Membrana (punzonamiento)	Capa separadora
Grado humedad	Membrana (bolsas-vapor ocluido)	Ventilación
Pérdida capacidad aislamiento	Confort-ºT	Aislamiento-Cubierta invertida

LAS MEMBRANAS

COMPORTAMIENTO	AFECCIÓN	INTERVENCIÓN
Punzonamiento (estático/dinámico)	Membrana aislamiento (roturas)	Protección capa separadora. Cumplir Niveles solicitación UEA tc
Fisuración	Membrana	Mejora soporte. Cambio sistema de fijación
Movimientos (solapes/soldadura)	Membrana	Sustitución parcial/total
Traumatismos	Total cubierta	Sustitución parcial/total

BASE ESTRUCTURAL

COMPORTAMIENTO	AFECCIÓN	INTERVENCIÓN
Dilataciones Retracciones	Roturas (soporte/membrana)	Mayor aislamiento exterior Aumentar juntas
Deformaciones (flechas)	Retención de agua	Mayor pendiente (más carga permanente)
Cambios de dirección	Grietas - Roturas	Juntas

LOS FALLOS EN LAS DISTINTAS PARTES COMPONENTES DE UNA CUBIERTA NO VENTILADA

Si bien estas cargas afectan poco a las estructuras pesadas, en las livianas pueden llevar a un desgaste progresivo de las uniones, cuya consecuencia más seria puede ser la pérdida de la cubierta por falta de uniones y encuentros calculados para tales solicitaciones.

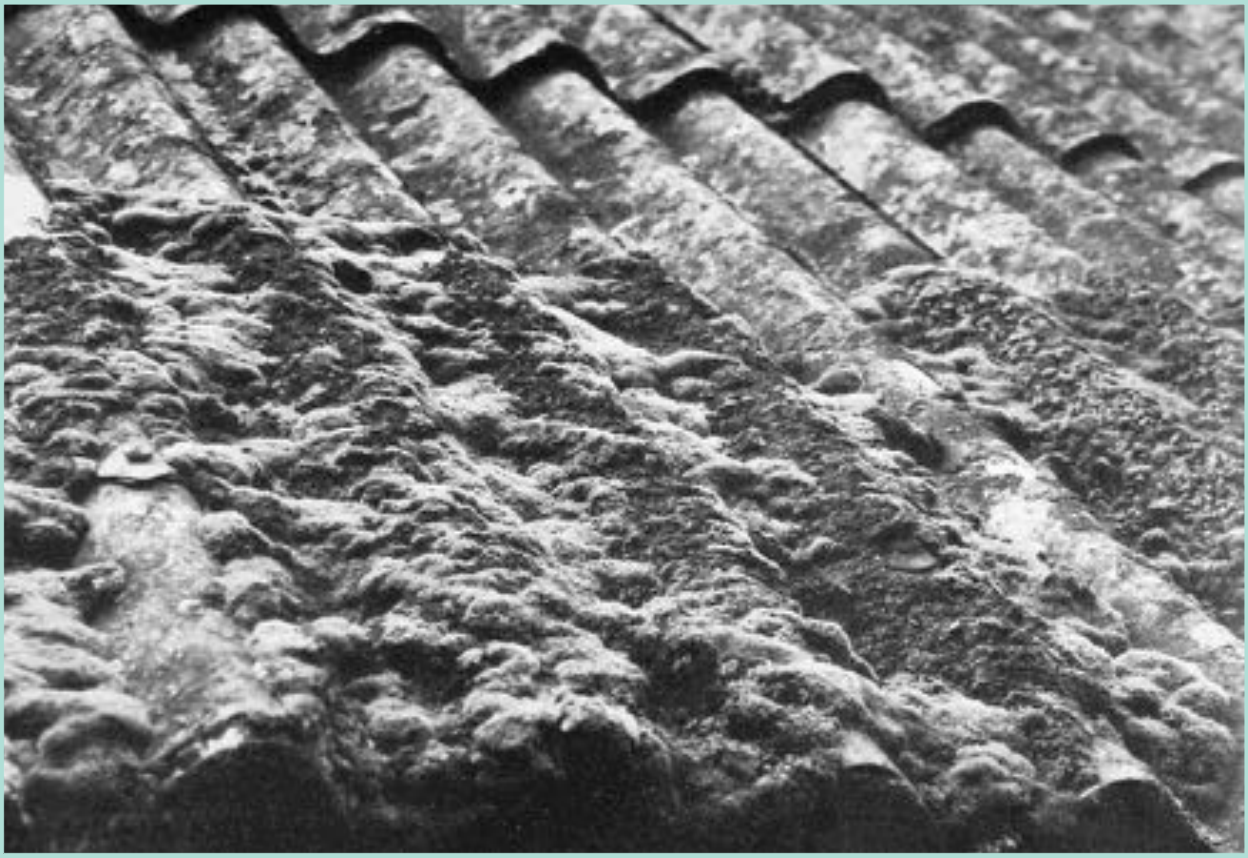
En el caso de las construcciones rurales o de aquellas muy expuestas a la acción eólica es primordial el estudio de las características de los vientos predominantes. En ellas se deben reforzar todos los nudos de la estructura portante y es esencial realizar un anclaje solvente en los pilares o muros portantes, teniendo siempre en cuenta que las fuerzas pueden ser indistintamente de tracción (faldón de sotavento succionado hacia arriba), o de compresión (faldón a barlovento).

En la mayoría de los casos el peso de los muros perimetrales alcanza para contrarrestar el efecto de succión del viento, con lo cual un anclaje uniforme y bien hecho garantiza una correcta sujeción.

Pero si esto no es posible, se calcularán fundaciones más pesadas y pilares que puedan resistir cargas de tracción para transmitirlas a dichas bases. Todo esto debe realizarse sin que se comprometa a los desplazamientos higrotérmicos de la cubierta, para lo cual se tendrán en cuenta anclajes sin restricción de movimiento en dirección horizontal.

EN CUBIERTAS PLANAS

En este tipo de cubiertas fundamentalmente aparecen flechas. Provocadas por la rotura o debilitación de la estructura soporte –por múltiples causas–, introducen peligrosos cambios de pendiente que pueden generar embolsamientos de agua, con aumento de peso y riesgo de que se originen filtraciones. Lo primero que se aconseja es analizar las causas de la deformación y conocer la posibilidad de sustitución o reparación.



Este moho quizá se haya formado por falta de pendiente en la cubierta, o bien el envejecimiento del material y un aumento de la porosidad del mismo haya favorecido la acumulación de humedad.

Si los elementos estructurales no son recuperables, habrá que demoler y sustituir. Pero si la estructura es accesible desde abajo y se ve la posibilidad de su recuperación, se procederá a un apeo permanente por diversos sistemas (vigas cortando la luz de las deformadas, refuerzo individual de cada una). A continuación se debe comprobar el estado de los faldones y, sobre todo, el de sus pendientes, para asegurar el drenaje de la cubierta. En casos extremos se vuelve necesario rehacer los faldones y su impermeabilización.

OTROS AGENTES

ORGANISMOS EN CUBIERTAS INCLINADAS

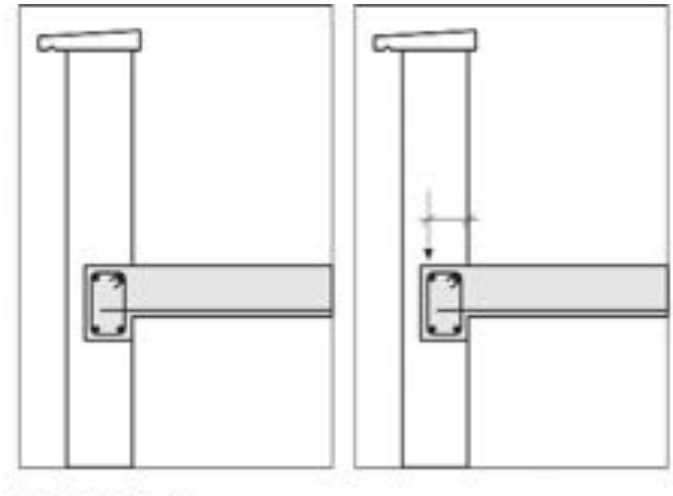
Nos referiremos a los aspectos generales de la lesión. Normalmente, para que estos organismos provoquen un daño se requiere un nivel elevado de protección, pero como veremos puede ocurrir también en algunos casos de cubiertas en los que el resguardo no es tal.

- **SI BIEN LOS NIDOS DE PÁJAROS SE INSTALAN CON FRECUENCIA BAJO LOS ALEROS**, también pueden aparecer en faldones bajo tejas cobijas o en aquellos totalmente exentos de ellas, como los nidos de cigüeñas, que introducen un sobrepeso en ocasiones peligroso.

- **LOS LÍQUENES APARECEN SOBRE TEJAS CERÁMICAS Y DE MORTERO CON ORIENTACIONES HÚMEDAS**. Dan una pátina que en muchas ocasiones hace más estimable las piezas.

- **LOS MUSGOS Y GRAMÍNEAS NECESITAN UN VOLUMEN DE TIERRA SUFICIENTE PARA SUS RAÍCES**, por lo que crecen siempre que falte un mantenimiento periódico, principalmente en tejas canales de todo el faldón y sobre todo en el mismo borde.

- **LAS ESTRUCTURAS SOPORTE DE MADERA PUEDEN VERSE ATACADAS POR INSECTOS XILÓFAGOS Y POR LA PUDRICIÓN DE MOHOS**, lo que provoca su deterioro e, incluso, su colapso.



Características
Fisura en cara superior
Ancho de medio a alto (0.15 a 0.3 mm)
Trazado paralelo a fachada y muy próximo al apoyo
Generalmente aparece una sola fisura

Causas
La fisura es debida a la escasez o ausencia de armadura de momentos negativos junto al apoyo, derivada de suponer que la situación es de simple apoyo. En realidad aparece un momento N, o, siendo N el peso del murete.

Fisura en cara superior, junto al apoyo extremo, en forjados de azotea.

El asentamiento de organismos en un elemento como la cubierta, que tiene un alto nivel de exposición, se debe básicamente a la falta de mantenimiento. Solamente en los casos en que aparecen insectos xilófagos en la estructura, la causa puede ser independiente, pero sin duda también la facilita.

En cualquier caso, las actuaciones de reparación se orientan a eliminar la causa antes de actuar sobre el efecto. Se debe establecer una limpieza periódica que impida la acumulación de tierra en canalones, tejas canales y rincones (necesaria para el asentamiento de los organismos vegetales). En cuanto a los nidos de pájaros, también la limpieza será la única defensa.

Para eliminar el efecto, y dado el carácter orgánico de la lesión, hay que limpiar con la ayuda de productos químicos, siempre con precaución y considerando su capacidad de alterar la superficie de los elementos constructivos.

En lo que respecta a la existencia de líquenes, por lo general no se toma ninguna medida especial ya que además de que no suelen ser nocivos, dan un aspecto de antigüedad a la cubierta que suele ser buscado.

El ataque por hongos aparece con más facilidad en armaduras de cubierta que han resistido al paso del tiempo. Cuando por condiciones particulares del edificio existe tierra vegetal y materia orgánica bajo cubierta, los hongos encuentran unas condiciones adecuadas para su desarrollo.

Independientemente del daño que pueden ocasionar los hongos, el hecho favorece la aparición de insectos xilófagos que prefieren las maderas atacadas, como sucede con los cerambícidos.

En el caso de los escolítidos y los platipódidos, que se alimentan de los hongos de ambrosia propios de las maderas húmedas, no existe peligro de usar la madera invadida ya que los daños que ocasionan no son muy serios.

La presencia prolongada de xilófagos puede arruinar una estructura de cubierta. Si al hacer las pruebas pertinentes se advierte que la estructura todavía es útil, se deben considerar los costos de erradicación de los insectos y las posibilidades de mantenimiento.



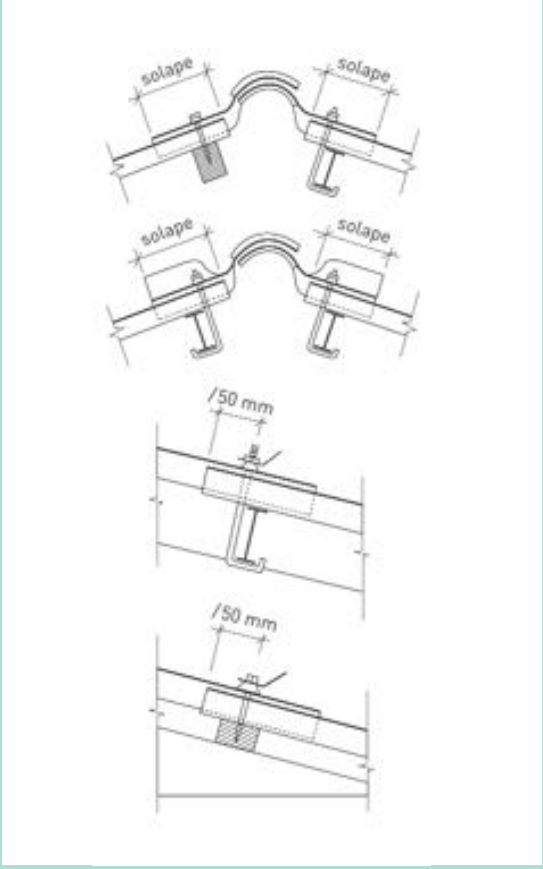
Mala colocación, tránsito indebido de personas o tormentas pueden ser la causa del estado de estas tejas planas. Por supuesto el nulo mantenimiento o verificación periódica del estado de la cubierta genera una situación de riesgo.



Estas pizarras desconchadas han perdido espesor y peso y por lo tanto es muy probable que empiecen a desprenderse.

ORGANISMOS EN CUBIERTA PLANA

En las cubiertas planas pueden aparecer los mismos tipos de organismos mencionados para las inclinadas, pero los vegetales son los que tienen mayor incidencia ya que estas cubiertas constan de plataformas horizontales donde tienen fácil cabida las acumulaciones de tierra. Los líquenes son corrientes en las baldosas de las terrazas, especialmente en las cerámicas porosas y en albardillas del mismo material. Los musgos y las gramíneas son frecuentes en aquellos rincones de cubiertas que reciben poco mantenimiento. Al crecer, sobre todo las segundas, pueden provocar otro tipo de lesiones, como grietas o desprendimientos de baldosas, que facilitan la posterior filtración del agua.



Detalles de la cumbrera y solapes de una cubierta metálica inclinada.

En ocasiones, cuando la falta de mantenimiento es relevante, las gramíneas pueden crecer hasta formarse arbustos.

Si la estructura soporte es de madera, también pueden desarrollarse hongos e insectos xilófagos que la atacan, facilitando así la aparición de flechas y deformaciones.

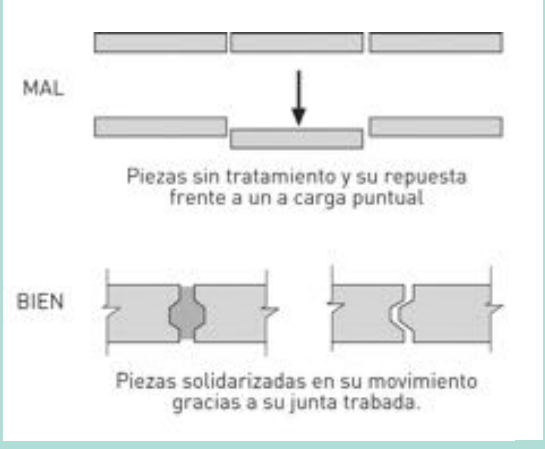
Considerando lo dicho, lo aconsejable es un mantenimiento periódico que impida la acumulación de tierra y basura en los rincones. Pero si la presencia de los organismos ha provocado lesiones secundarias como erosiones o desprendimientos, se procederá a su reparación.

PERSONAS

El tránsito de personas o el apoyo de equipos en cubiertas que no fueron calculadas para tal fin representan un evidente problema.

Las lesiones tienen lugar básicamente sobre la terminación de la cubierta y, en el caso del montaje de equipos pesados (aire acondicionado, torres de enfriamiento, canteros, etc.), puede implicar un compromiso en la estabilidad de la cubierta.

En definitiva, un mal uso de la cubierta conlleva siempre lesiones a corto y largo plazo.



Consideraciones preventivas en el momento de elegir solados y pavimentos para terrazos. Un buen diseño de junta minimiza los desprendimientos y por lo tanto las posibles filtraciones.

LESIÓN	CAUSAS
Grietas, roturas o deformaciones en elementos portantes	Asientos Solicitaciones de flexión o compresión por encima de sus posibilidades Tensiones producidas por los elementos de la cubierta mediante empujes directos –caso de fachadas y hastiales– o desequilibrio de cargas –caso de apoyos centrales–
Roturas en cumbrera o pares	Sobrecarga Pudriciones o acción de xilófagos
Roturas en elementos auxiliares, tornapuntas, tirantillas	Sobrecarga Pudriciones Sobrecarga inducida por mal funcionamiento de elementos principales
Deformaciones por flecha en cumbrera, pares o tirantes	Sección insuficiente Colocación antes de culminar el proceso de secado Deformación remanente –agudizada por sobrecargas en reparaciones o reformas– y peso propio Calentamiento por incidencia solar en una cara
Desencuadernado de nudos, ya sea en cumbrera, zonas de cuchillo o sobre durmientes	En cubierta a la molinera: por deformación de piñones; por alabeos o torsión de durmientes en contacto con muro y mala ventilación; por deformaciones o pudrición de correas. En cubierta de par y picadero: por descompensación de cargas a ambos lados de cumbrera; por daños en elementos sustentantes laterales o centrales; por deformación de pares; por alabeo o torsión de durmiente o picadero En cuchillos: por sobrecargas asimétricas; por rotura, pudrición o deformación de componentes; por defecto de ejecución de esperas o trabas, con la consiguiente fragilidad de ensamble
Alabeos en durmientes, cumbrera y pares	Estado de la madera en el momento de su colocación Pérdida desigual de humedad por insolación parcial
Rotura en correas	Pudrición por penetración de agua Sobrecargas por reparaciones o ruina de elementos colindantes
Deformaciones, alabeos y desencuadernado de nudos de correas	Penetración de agua Pérdida de cobertura, con insolación por una sola cara Estado de la madera en el momento de colocación Transmisión de esfuerzos debidos a mal funcionamiento de los elementos principales
Rotura de chilla Deformaciones de chilla	Pudrición por penetración de agua o por procesos de sequedad-humedad debidos a pérdida de cobertura Falta de sección Excesiva sequedad que en algunos tipos de madera provoca fragilidad que no resiste sobrecargas por nieve o reparaciones Arrastre por pérdida de ejiones o codales de correas, o rotura de la propia correa

LESIONES MÁS FRECUENTES EN ENTRAMADOS DE MADERA Y SUS CAUSAS

DESPRENDIMIENTOS

Es una de las lesiones más habituales en las cubiertas con una terminación por elementos, ya sean aquellas planas o inclinadas. La causa deestos desprendimientos pueden ser varias y actuar en conjunto. Entre las más comunes citamos:

- **MALA COLOCACIÓN DE ELEMENTOS.**
- **ELECCIÓN INCORRECTA DEL MATERIAL DE TERMINACIÓN** (por ejemplo, uno muy pesado para una fuerte pendiente).
- **DISEÑO Y/O EJECUCIÓN DEFICIENTE DEL SISTEMA DE ANCLAJE O SUJECIÓN.**
- **CÁLCULO ERRÓNEO EN LAS CARGAS** que deben soportar los anclajes y soportes de los elementos.
- **MOVIMIENTOS HIGROTÉRMICOS DE LA CUBIERTA.**
- **FALTA DE JUNTAS DE DILATACIÓN Y UNIONES DEFICIENTES** que permiten la actuación de ciclos de saturación y desaturación de la cubierta y la consiguiente acción de las heladas.
- **LA ACCIÓN EXTREMA DE ALGUNOS AGENTES ATMOSFÉRICOS** (fuertes vientos, granizo, lluvia, etc.).
- **LA ACCIÓN DE AGENTES BIÓTICOS DESDE PEQUEÑOS VEGETALES HASTA AVES Y ROEDORES**.
- **LA FALTA DE MANTENIMIENTO.**

EROSIONES

EROSIONES EN CUBIERTAS INCLINADAS

EROSIONES MECÁNICAS: La causa fundamental es el viento acompañado de partículas abrasivas (arena, tierra) que azota los puntos más expuestos como cumbreras y limatesas.

Resulta una erosión muy escasa, previsible solamente para materiales cerámicos o pétreos y en una geografía próxima a playas y a zonas más o menos desérticas.

EROSIONES FÍSICAS: Son las más corrientes. Su origen está en la humedad previa y los cambios de temperatura, sobre todo cuando hay heladas, y afectan a cualquier material pétreo o cerámico, siendo mayor el efecto cuanto más poroso sea.

Si bien actúan más en los bordes de cada teja, también pueden provocar roturas de piezas. En este caso se debe analizar la integridad resultante del elemento constructivo, y decidir en consecuencia la actuación más conveniente.

Si se decide sustituir el elemento por otro nuevo, se debe elegir uno de similar apariencia pero, a ser posible, de mayor resistencia a la intemperie (menor coeficiente de absorción y mayor resistencia a la helada).

	ELEMENTO	DAÑO	ACTUACIÓN
BASE ESTRUCTURAL	Apoyos	Asiento. Fractura	Ampliación zona apoyo
		Empujes	Elemento deslizante. Apoyo
		Corrosión	Protección. Refuerzo
	Pares tirantes. Correas	Corrosión Sección insuficiente	Protección. Refuerzo Refuerzo (tipo de acero)
TABLERO SOPORTE	Tablero s/correas (metálicas)	Rotura. Fisuración	Refuerzo correas
		Sección insuficiente	Mortero + malla
		Aumento cargas	Juntas. Cuarteles (máx. 3 x 3 m)
		Movimientos	Soltar enlaces bordes
		Penetraciones	Mejorar estanqueidad (membrana)
	Tablero prefabricado	Rotura	Sustitución (ruina)
		Penetraciones	Mejora estanqueidad (membrana)
TABLERO COBERTURA	Fibrocemento chapa	Rotura	Sustitución (parcial o total)
		Penetraciones	Mejora solapes y uniones Estanqueidad juntas Estanqueidad anclajes
AISLANTE TÉRMICO	Aislamiento	Deterioro -Tablero soporte -Tablero cobertura	Incorporación exterior (CI) Incorporación exterior + 2ª cobertura
		No existencia -Tablero soporte -Tablero cobertura	Incorporación exterior (CI) <5 % Incorporación exterior + 2ª cobertura Incorporación interior (CV) Incorporación exterior + 2ª cobertura Incorporación interior (CV)

POSIBLES PROBLEMAS EN CUBIERTAS CON ESTRUCTURA METÁLICA Y LAS MEDIDAS A ADOPTAR

	ELEMENTO	DAÑO	ACTUACIÓN
BASE ESTRUCTURAL	Apoyos	Asiento. Fractura	Ampliación zona apoyo Elemento deslizante.
		Empujes	Separación.
		Pudriciones	Sustitución/Refuerzo/ Ventilación
	Pares tirantes / Correas	Pudriciones	Refuerzo. Acoplamientos
		Sección insuficiente	Refuerzo. Acoplamientos
	Cuchillos	Desajuste de nudos	Refuerzo de nudos Prótesis general Sustitución
	Auxiliares		Refuerzo. Acoplamientos
SOPORTE TABLERO	Parecillos	Pudriciones	Refuerzo. Interposición
		Sección insuficiente	Sustitución
	Tablero	Pudrición	Sustitución: T. aglomerados "Omegas" + Tableros Parecillos + Onduline
		Movimientos	Anclaje. Sujeción.
AISLAMIENTO TÉRMICO	Aislamiento	No existencia	Incorporación exterior Incorporación interior
COBERTURA	Discontinua	Pérdida de piezas	Retejado
		Rotura	Retejado
		Movimientos	Nueva ordenación. Sujeción
		Penetraciones	Pendiente/Solape Incorporación membrana
		Encuentros/Bordes	Nuevo diseño

POSIBLES PROBLEMAS EN CUBIERTAS CON ESTRUCTURA DE MADERA Y LAS SOLUCIONES A APLICAR

Esta solución afecta, sobre todo, a las tejas sueltas de faldón y de cumbrera o limatesa. Si es necesario reparar el elemento se hará mediante productos especiales conocidos como morteros de reparación, a partir de mezclas de aglomerantes hidráulicos, resinas y pigmentos minerales, que se utilizan especialmente para reparar morteros y piedras de elementos especiales de remate.

Por último, si no es fácil movilizar a los elementos afectados y si el daño ha sido muy ligero, es posible protegerlos mediante productos selladores o endurecedores hidrofugantes, a partir de resinas acrílicas, epoxídicas o de siliconas, que taponan los poros superficiales y endurecen el material.

EROSIONES QUÍMICAS: por su parte, suelen ser consecuencia de la confluencia de dos factores: la humedad de filtración y la aparición de contaminantes, ya sean los contenidos en la atmósfera o los provocados por los organismos que aparezcan como lesión previa.

Su situación coincide con la de las lesiones previas que los originan, aunque se deben distinguir dos tipos en función del contaminante. Si se trata de uno atmosférico (SO_2, CO, etc.) puede aparecer en coincidencia con las humedades y depende del material constitutivo. Los materiales más afectados son las piedras, sobre todo las calizas y el hormigón, todo ello según las reacciones químicas típicas de este tipo de lesión.

Por el contrario, si se trata de sustancias químicas provocadas por organismos, aparecen allí donde se establecen aquellos.

La actuación para la reparación de este tipo de erosiones comienza por la anulación de la humedad y de los organismos que sean origen de la lesión.

A continuación se lleva a cabo un análisis químico del compuesto resultante de la erosión con diagnóstico de los productos químicos que han incidido en ella, y se realiza el análisis petroquímico y petrofísico del material afectado, para conocer las consecuencias de utilizar ciertos productos para la reparación.

Luego se procede a eliminar todo el material erosionado hasta alcanzar la parte sana del mismo.

Finalmente, la reparación propiamente dicha seguirá alguna de las alternativas válidas para los casos de erosión física: sustitución del elemento constructivo, reparación del mismo mediante productos especiales o protección de la superficie mediante selladores o endurecedores.

De cualquier manera, se estudiarán los materiales afectados y sus respectivas diagnosis y medidas de reparación y prevención.

	ELEMENTO	DAÑO	ACTUACIÓN
BASE ESTRUCTURAL	Vigas principales	Daños mecánicos	
		-Flexión	Postensado exterior Refuerzo pletinas y resinas epoxi
		-Cortante	Refuerzo pletinas y resinas epoxi
	Correas	Daños mecánicos	Sustitución
	Placas	Daños mecánicos	Estructura auxiliar
	Apoyos	Asiento. Fractura Empujes	Ampliación zona apoyo Neoprenos + “Gato”
SOPORTE TABLERO	Tablero s/correas	Rotura. Fisuración	Mortero + malla
		Sección insuficiente	Juntas. Cuarteles (máx. 3 x 3 m)
		Movimientos	Soltar enlaces bordes
		Penetraciones	Mejora estanqueidad (membrana)
	Tablero prefabricado	Rotura	Sustitución
		Penetraciones	Mejora estanqueidad (membrana)
AISLAMIENTO TÉRMICO	Fibrocemento	Rotura	Sustitución (parcial o total)
		Penetraciones	Mejora solapes y uniones Estanqueidad juntas Estanqueidad anclajes

POSIBLES PROBLEMAS EN CUBIERTAS DE ESTRUCTURA A BASE DE HORMIGÓN Y LAS MEDIDAS CURATIVAS A ADOPTAR

EROSIONES EN CUBIERTAS PLANAS

En las cubiertas planas las erosiones pueden afectar al pavimento de las terrazas y aparecer en las albardillas en general. Al igual que en las inclinadas, las erosiones pueden ser mecánicas, producidas por el uso de las terrazas (rozamientos, golpes); físicas, provocadas por agentes meteorológicos, sobre todo lluvia infiltrada y agua helada; y químicas, si existen contaminantes de la atmósfera que puedan atacar a los componentes mineralógicos de esos pavimentos.

La reparación de las zonas dañadas por la erosión pasa por el estudio previo de su intensidad y la consideración de las dos alternativas posibles, sustitución o reparación.

La primera alternativa implica la demolición parcial o total del conjunto de elementos en el que se hallan los afectados y la reposición de elementos constructivos similares pero de mayor resistencia. Por lo general se recomienda la sustitución total, especialmente si se detecta la falta de adecuación de las piezas a las acciones que van a sufrir, o si se trata de erosiones físicas y químicas, ya que la lesión implica una mala respuesta a las condiciones atmosféricas.

La reparación se lleva a cabo cuando el nivel de erosión es muy bajo, de tal modo que no afecta a la integridad de las piezas y éstas, tras un correcto saneado, pueden ser protegidas con endurecedores. Otras veces, la reparación consiste en el uso del material erosionado como soporte de un nuevo sistema de pavimentación, ya sea continuo (poliéster reforzado con fibra) o por elementos (nuevas baldosas o cubierta flotante).

DEFECTOS DE PROYECTO Y EJECUCIÓN

Uno de los fines de la cubierta es evitar que la lluvia penetre al interior de las construcciones, para lo cual se han ideado sistemas que varían en su eficacia y necesidades de cuidado. Sea cual fuere el sistema elegido, si no se ejecuta con esmero y siguiendo con atención las reglas de la buena construcción, con el tiempo se presentan goteras que exigen reparaciones costosas y que, fundamentalmente, se pueden evitar si la cubierta se realiza correctamente desde un principio.

En líneas generales, se puede considerar que la diferencia de precio entre una impermeabilización buena y una deficiente rara vez supera el 5 % del coste total de la cubierta; en cambio, rehacer una terraza transitable suele costar el doble del monto original.

DEFINICIONES Y CASOS

DEFICIENCIAS DE CÁLCULO Y DISEÑO: pueden favorecer la infiltración de agua a través de la unión con los paramentos verticales, que puede originarse por la inexistencia de la roza o del goterón, por una defectuosa ejecución de la misma o por dilatación del solado, al no haberse previsto juntas de dilatación.

DEFECTOS DE PROYECTO: se entiende el conjunto de errores cometidos tanto en la elección del material a emplear (su constitución fisicoquímica) y de la técnica o sistema constructivos, como en el diseño de los distintos elementos y unidades constructivas (su forma y características fisicomecánicas) y de sus encuentros (detalles de uniones y juntas).

De este modo, es posible distinguir varios subtipos de causas indirectas de lesiones, de los cuales los más representativos son:

- **ELECCIÓN INCORRECTA DEL MATERIAL O FALTA DE DEFINICIÓN** (especificación fisicoquímica).
- **TÉCNICA O SISTEMA CONSTRUCTIVO INADECUADOS**, tanto por el tipo de material como por la función constructiva que debe cumplir el elemento en cuestión (no es lo mismo una cubierta plana que una inclinada, o un drenaje en vertido libre que otro canalizado, etc.).
- **DISEÑO DEFECTUOSO DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO**, sin la forma o dimensión adecuadas (vierteaguas sin goterón, vigas de poco canto, etc.).
- **CÁLCULO EQUIVOCADO DEL NÚMERO DE REJILLAS COLECTORAS Y DE BAJANTES.**

Un claro defecto con origen en un proyecto con problemas se puede apreciar en las juntas en limahoyas o canales: las juntas nunca deben coincidir con las partes bajas de las cubiertas y menos con las canales. Si una junta corta una canal, se la dividirá en dos mediante un murete que reparta las aguas. En el caso de que coincida con una limahoya, también se separará la vertiente en dos, elevando la zona de la junta.

DEFECTOS DE EJECUCIÓN: comprenden aquellos factores inherentes a la obra construida que provienen de errores en su ejecución o de cualquiera de sus unidades. Afectan a la integridad o al aspecto del cerramiento, por lo que la actuación contra ellos implica asimismo una actuación sobre el efecto.

Por lo general se trata de la falta de cumplimiento de las condiciones técnicas o especificaciones indicadas. Algunos de los errores más frecuentes son:

- **COLOCACIÓN DEFECTUOSA DE ARMADURAS EN PILARES Y VIGAS.**
- **MAL VIBRADO Y CURADO DE HORMIGONES Y MORTEROS.**
- **ALICATADO DE PARAMENTOS EXTERIORES SIN LLAGA NI JUNTAS DE RETRACCIÓN.**
- **UNIÓN DEL TABLERO HORIZONTAL Y PETO DE TERRAZAS CON LA MEMBRANA IMPERMEABLE.**
- **USO DE MORTEROS MUY RICOS PARA REVOCOS.**
- **ROTURA EN LA ENTREGA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN.**
- **ROTURA DE LA EMBOCADURA.**
- **DESPEGUE DE IMPERMEABILIZACIÓN.**
- **CUBIERTAS CON LA PENDIENTE INSUFICIENTE.**

Cualquier defecto de construcción en los sumideros, por tratarse de elementos de recogida de aguas, se manifiesta rápidamente con humedades. Cuando no se dan las pendientes adecuadas para la fácil evacuación hacia los puntos de desagüe, se producen embolsamientos y estancamientos de agua por encima de la impermeabilización que facilitan la penetración a su través y la formación de microorganismos que la atacan y destruyen.

DEFECTOS DE MATERIAL: hace referencia a irregularidades en la fabricación del mismo y, por lo tanto, a la falta de cumplimiento de las características fisicoquímicas necesarias.

Todo material o elemento constructivo debe llegar a la obra con un «nivel de acabado» que implica un conjunto de propiedades mecánicas, físicas y químicas previamente definidas e imprescindibles para la misión constructiva que se le va a encomendar en el edificio en cuestión.





La poca o nula pendiente de la cubierta, un drenaje insuficiente o falta de mantenimiento producen este tipo de situaciones donde las filtraciones no tardan en aparecer.

Al no cumplir con alguna de ellas, sea por defecto de fabricación o por falsificación del suministrador, el proceso patológico puede aparecer en cualquier momento. El abanico de posibilidades es muy amplio y, por ejemplo, podemos hablar de un hormigón con resistencia inferior a la estimada en cálculo, o de un ladrillo con una cantidad elevada de sales.

Los defectos en el material de impermeabilización generalmente no son detectados porque no se suelen hacer ensayos de control de calidad de los materiales. El técnico debe exigir que todos ellos lleguen a obra con certificado de origen industrial y etiquetado en los que se acredite el cumplimiento de las normas y disposiciones vigentes relativas a su fabricación y control industrial.

Entre las lesiones producidas por materiales defectuosos se pueden encontrar pequeños hoyos con módulos de material desmenuzable en sus bases, desplazamientos del mortero rejuntado y la aparición de hoyos en el mortero más débil en las fábricas de ladrillo. Otras, del mismo género, se manifiestan como expansiones generales del mortero con la consiguiente deformación y rotura de la fábrica, acompañada de una desintegración del mismo y de ladrillos reventados porque contienen módulos de cal. Se trata de lesiones similares a las producidas por los sulfatos, pero sin su característica laminación del mortero en las juntas.

Las causas pueden estar en unas cales mal apagadas que suelen contener partículas de cal viva que al hidratarse, una vez construida la fábrica, producen un aumento de volumen. Al no poder dilatarse, provocan la destrucción de la fábrica. Análogos efectos suelen producir las cenizas o harinas de clinker mezcladas en los morteros o las arenas contaminadas. En estos casos se debe eliminar la fuente de humedad y proceder a un nuevo rejuntado.

En consecuencia, para prevenir este problema se deben emplear cales bien apagadas, limitar las adicionales de cenizas y clinker y preservar el muro de humedades excesivas, así como comprobar la limpieza de la arena empleada y lavarla si es necesario.

REVOCOS

El revoco –enfoscado, enlucido o estucado– constituye el revestimiento más usado para evitar infiltraciones de humedad. Cuando falta adherencia o aparece un agrietamiento, su protección contra las lluvias es nula e incluso más perjudicial que si no estuviera, ya que el revoco, sobre todo si es impermeable, dificulta la evaporación del agua penetrada durante la lluvia.

Un mortero muy resistente pero poco adherente presentará grandes grietas, separadas unas de otras. En cambio, un mortero de menos resistencia pero muy adherido a la pared, o no se agrieta o lo hace con aberturas bien próximas entre sí. Para evitar estas irregularidades en los revocos impermeables (de cemento), se recomienda su extensión en paneles, con juntas de contracción que se rellenan con material elástico o se disimulan con la decoración.

En todos los revocos, tanto porosos como impermeables, se debe tener un cuidado especial en evitar tanto el exceso de agua de amasado como el humedecimiento insuficiente de la obra de fábrica.

La adherencia de los revocos puede reducirse como consecuencia de su agrietamiento, al permitir la entrada de la humedad con arrastre de sales solubles. Pero también puede depender de la naturaleza del soporte ya que, si es muy denso, la adherencia suele ser escasa (por ejemplo, en un soporte formado con hormigón compacto, piedra granítica o ladrillos recochos o vitrificados).

FALDÓN		
Integridad	Resistencia al golpe y al punzonamiento	- Si el mortero es aligerado, la última capa debe ser más resistente - Si el tablero es de rasillas o placas, rasear con mortero armado, e /2 cm. - Si es una cubierta deck, asegurar la rigidez de la chapa metálica soporte.
Pendiente	Drenaje	- Establecer pendiente igual o superior al 1,5% con un máximo de 5 %, y evitar que se formen bolsas (asegurar planidad con tolerancia inferior al 2 %)
Aislamiento térmico	Transmisión de calor	- Evitar cubiertas calientes, son preferibles las cubiertas con cámara de aire ventilada. - Añadir aislante en la cámara, con barrera de vapor y, de ser posible, aislante superior, sobre la membrana de poro cerrado que, a la vez, la protege de la radiación solar y de punzonamientos.
MEMBRANA IMPERMEABLE		
Estanqueidad	Adherencia	- Seleccionar el tipo de adherencia en función del tipo de lámina y de soporte, según recomendaciones del fabricante y de la norma NBE-QB-90. Tener en cuenta que la adherencia continua solidariza la membrana con el soporte y puede introducirle tensiones anormales por movimientos de dilatación/contracción.
	Elasticidad	- Además de cumplir con las especificaciones de la norma NBE-QB-90, se aconseja un coeficiente de elasticidad / 300 %, lo que va unido a dos condiciones de colocación: • La lámina suelta sufre menos tracciones ya que se dilata sola y libremente. • En los bordes del faldón nunca unir a los petos y planos verticales, sino que debe terminar en el borde levantado del faldón, introduciendo junta de dilatación perimetral en todo el borde. - Introducir juntas de dilatación necesarias en función de la zona climática.
	Continuidad	- Asegurar las uniones entre láminas con los solapes exigidos por NBE-QB-90.

MEDIDAS CONSTRUCTIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS EN CUBIERTAS PLANAS

PROTECCIÓN		
Protección de la membrana	Deterioro polimérico	- Autoprotección de la lámina, por arenilla o por aluminio gofrado en las bituminosas para evitar los rayos UV. - Protección ventilada para evitar el efecto del calentamiento, mediante baldosas ligeras o terraza flotante.
	Punzonamiento	- Establecer pasos de mantenimiento o cubrir toda la superficie con: • Baldosa aligerada • Terraza flotante • Pavimento de baldosas sobre capa de mortero armado. - Introducir fieltro antipunzonante sobre la membrana.
PAVIMENTO		
Superficie visible previamente	Desprendimiento	- Sujeción como pavimento exterior con junta abierta, sobre capa de protección de la membrana impermeable (nunca directamente sobre ella).
	Erosión	- Selección de pavimento adecuado al uso ante: punzonamientos, roturas, fricciones y/o heladas.
SUMIDEROS Y BAJANTES		
Drenaje y conducción de aguas	Filtración	- Solape adecuado de membrana y continuidad de material impermeable hasta la bajante.
	Obstrucción	- Colocación de rejilla peraltada y limpieza periódica.

MEDIDAS CONSTRUCTIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS EN CUBIERTAS PLANAS

FALDÓN

Integridad en soportes con entramado de pares y correas	Flechas del entramado	- Cálculo de perfiles (flecha inferior a L/300).
	Flechas de las chapas	- Rigidez de las chapas y mantenimiento.
	Desplazamiento ante esfuerzos horizontales	- Arriostramiento suficiente.
Integridad en general	Hundimiento	- Cálculo adecuado de la estructura soporte.
	Desprendimiento de tejas o chapas	- Agarre de tejas y losetas.
Estanqueidad	Solape	- Solape adecuado (/5 cm en vertical). - Banda de estanqueidad adicional, sobre todo en cubiertas de chapa. - Lámina impermeable adicional, en cubiertas de obra con pendiente inferior al 20 % (posible uso de planchas de fibrocemento o asfálticas onduladas).
Aislamiento térmico	Coeficiente de transmisión (K) elevado	- Aislamiento superficie - Plancha aislante, poro cerrado superior, protegida con mortero armado o entre rastreles. - Aislante proyectado. - Cámara de aire ventilada con aislante inferior. - Cámara de aire estanca con aislante superior. - Plancha aislante bajo chapa con barrera de vapor. - Panel sándwich de chapa.

MEDIDAS CONSTRUCTIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS EN CUBIERTAS INCLINADAS

CUMBRERA Y LIMATESA		
Integridad	Desprendimientos	- Agarre de todas las piezas en tejas y losetas. - Orientación adecuada del solape (contra el viento dominante). - Anclaje de chapas suficiente.
Estanqueidad	Filtraciones	- Solape suficiente y adecuado. - Bandas auxiliares de estanqueidad en chapas.
LIMAHOYAS Y CANALONES CENTRALES		
Capacidad y pendiente	Desbordamiento en limahoyas	- Pendiente suficiente. - Solape adecuado de faldones. - Banda de estanqueidad adicional. - Material impermeable.
	Desbordamiento en canalones	- Cálculo de capacidad (NTE). - Altura suficiente bajo faldón. - Pendiente / 1,5 %. - Número suficiente de bajantes. - Limpieza periódica.
ENCUENTROS CON PARAMENTOS VERTICALES		
Estanqueidad y holgura	Grietas por dilatación -contracción	- Junta de dilatación con solape.
	Filtración	- Pendiente adecuada y sellado. - En límite inferior, canalón oculto con mínimas exigencias y protección de pared vertical. - En bordes laterales y superior, unión con pieza canal y solape suficiente.
MEDIDAS CONSTRUCTIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS EN CUBIERTAS INCLINADAS		

La adherencia propia de los materiales entre sí puede favorecerse artificialmente, cuidando que las piedras, hormigón o ladrillos tengan ranuras que traben el mortero. Es por esta razón que muchos albañiles rasan las juntas de los ladrillos antes de aplicar el revoco, pero siempre será mejor emplear materiales que presenten una adherencia apropiada entre ellos.

DAÑOS EN LA MEMBRANA PROCEDENTES DEL SOPORTE

Los soportes de origen hidráulico –morteros aligerados– causan punzonamientos a la membrana debido a su superficie irregular y agresiva.

Asimismo, el proceso de fraguado puede fisurar por retracción a la superficie del soporte y afectar a las membranas, sobre todo en soluciones adheridas.

Ante situaciones de este tipo se proponen soluciones de independencia de los componentes como las que siguen:

- **LEVANTAR LA MEMBRANA AFECTADA Y MEJORAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS MATERIALES** mediante la incorporación de capas separadoras antipunzonantes y antiadhesivas.

- **ELEGIR UNA NUEVA MEMBRANA** que cumpla con los niveles de punzonamiento establecidos por la UEAtc ante los requerimientos de esa cubierta.

DESPRENDIMIENTOS EN CUBIERTAS INCLINADAS: tienen como consecuencia inmediata la falta de estanqueidad. Son corrientes en todo tipo de cobertura, pero sobre todo en aquellas a base de tejas sujetas simplemente con mortero o con clavazón.

Las losetas de pizarra suelen ser clavadas directamente sobre guarnecido de yeso como acabado superior del soporte, pero la humedad que este elemento capta por su higroscopicidad, corroe con facilidad a la clavazón facilitando el desprendimiento de las piezas.

En el caso de las chapas de fibrocemento, el desprendimiento se puede producir por rotura de las chapas en la proximidad de los anclajes, al fragilizarse aquellas con el paso del tiempo.

Quizás sean las planchas metálicas engarzadas las que menos se desprenden al formar un todo en el conjunto del faldón, pero, en cualquier caso, los elementos que más fácilmente lo hacen son las tejas en aleros, los canalones y los bajantes.

Por lo general, en lo que respecta a la intervención en los desprendimientos, su reparación consiste en reponer las piezas desprendidas. No obstante, en primer lugar se deben analizar las causas que lo han originado para tomar las medidas necesarias en la reposición.

Si se trata de tejas curvas, probablemente la razón del desprendimiento es la falta de agarre suficiente. En consecuencia, la reposición afecta normalmente a todo el faldón, procurando que las canales estén adheridas con mortero y que las cobijas lo estén una de cada cinco filas y una de cada cinco hiladas, aproximadamente.

En el caso de aquellos faldones excesivamente expuestos (mar, alta montaña) se debe considerar el aumento de la frecuencia de su adhesión. Por otro lado, si se trata de losetas clavadas, las razones del desprendimiento pueden ser una clavazón deficiente y un solape insuficiente. Si están clavadas, basta con un clavo para dimensiones inferiores a 30 cm y, si están «enganchadas» por su base, se necesita un gancho cada 20 cm.

En cualquier caso, tanto los clavos como los ganchos tienen que estar protegidos contra la corrosión (galvanizados, cadmiados o de acero inoxidable) y deben clavarse sobre rastreles –nunca sobre yeso– de tal manera que, si ésta es la causa del desprendimiento, lo más adecuado es desmontar, sanear el yeso, colocar rastreles recibidos con mortero de cemento y retejar.

DESPRENDIMIENTOS EN CUBIERTAS PLANAS: no son tan corrientes como en las inclinadas, al no disponer de elementos realmente sueltos. Solamente las baldosas aligeradas podrían considerarse elementos susceptibles de desprenderse, pero su peso lo dificulta.

También podrían aparecer desprendimientos en las terrazas transitables resueltas con baldosas donde, si no están bien recibidas o los faldones no tienen la libertad suficiente para moverse con las variaciones de temperatura y la falta de juntas de dilatación, se forman grietas y pueden provocarse levantamientos de baldosas con el consiguiente peligro de punzonamientos de la membrana impermeable y filtraciones.

Sin embargo, donde suelen ser más frecuentes es en las albardillas de petos y de resaltos en general. En una situación así, la pieza de la albardilla tiene una sujeción de agarre mínima, mientras que el nivel de exposición es extremado con lo que la probabilidad de desprendimiento resulta elevada, máxime cuando no se dejan juntas suficientes para los movimientos inevitables.

Para reparar, ante todo se debe conocer el origen del desprendimiento. Si es puntual, se pueden reponer las piezas levantadas. Si es general, o puntual pero se comprueba que es generalizable, la intervención consiste en demoler todo el acabado o remate y colocarlo nuevamente.

En líneas generales, es posible afirmar que la actuación sobre las causas de lesiones por defectos de proyecto, ejecución o mantenimiento, debe ser conjunta con la reparación del efecto.

DEFECTOS POR MANTENIMIENTO*:* estos pueden ser causas indirectas inherentes al uso del edificio, bien porque se le someta a una serie de acciones para las que no estaba diseñado, bien porque las distintas unidades constructivas no reciban un mantenimiento periódico.

A veces ocurre que, por desconocer el funcionamiento de las cubiertas con faldones de pendiente < 3 %, se cierran o sellan las perforaciones de ventilación de la cámara, produciendo de esa manera daños en el tablero. En consecuencia, los orificios de ventilación siempre deben mantenerse abiertos y limpios.

El sistema de evacuación es interno y está solucionado mediante cazoletas sifónicas pegadas a los paramentos verticales. Los daños que producen son de diversa índole y las actuaciones a que dan lugar son de mantenimiento, reduciéndose las reparaciones a los daños específicos. Los siguientes son algunos de los problemas que pueden aparecer:

- **RETENCIÓN DE AGUA EN EL SIFÓN**, que puede helarse en épocas frías.
- **OBSTRUCCIÓN EN LAS REJILLAS DE PROTECCIÓN** por acumulación de distintos elementos, como por ejemplo hojas de árboles.
- **TRANSMISIÓN DE HUMEDAD DE LAS CAZOLETAS** a los paramentos próximos por retenciones.

DEFECTOS DE PUESTA EN OBRA: pueden ser motivo de numerosas lesiones por pérdida de estanqueidad de las impermeabilizaciones –sobre todo las de tipo continuo laminar–, debido al desconocimiento de las técnicas especiales de colocación de los nuevos materiales que aparecen en el mercado y que obligan a que su puesta en obra la realice mano de obra especializada con los medios adecuados. Es corriente que materiales no tradicionales se coloquen en la obra como si lo fueran.

DEFECTOS EN LA TERMINACIÓN DE LA CUBIERTA: encontramos irregularidades que se han originado en la protección causando que la impermeabilización se degrade, por lo que su tratamiento adquiere una importancia relevante. Las que siguen son algunas de las deficiencias posibles de hallar:

- **TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS MECÁNICOS NO COMPATIBLES**: en cubiertas planas transitables o no transitables hay que evitar traspasar esfuerzos mecánicos, de corte, punzonamiento y desgarramiento, no compatibles con el material utilizado en la impermeabilización.

- **INCOMPATIBILIDAD QUÍMICA CON LA IMPERMEABILIZACIÓN**: en todos los casos se debe comprobar la compatibilidad química del material de protección con la impermeabilización. En caso de duda conviene interponer una capa entre los mismos para independizarlos. Al respecto hay que destacar la incompatibilidad existente entre los materiales bituminosos asfálticos y los compuestos de alquitrán, así como la de los poliestirenos con los plastificantes y/o disolventes utilizados en ciertas láminas.

- **PÉRDIDA DE LA FUNCIÓN DE PROTECCIÓN**: una cobertura adecuada es aquella que cumple con lo siguiente:

  - PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN SOLAR, para prolongar la vida de los materiales y disminuir la ganancia de calor

  - AISLAMIENTO DE LA MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE para reducir el contacto con el ozono

  - PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN HIDRÁULICA, EÓLICA Y MECÁNICA.

La pérdida de la función de protección se produce en los siguientes casos:

- **CUANDO PRESENTA UNA FIJACIÓN DEFICIENTE** a la pendiente del faldón provocando su desplazamiento o corrimiento y dejando zonas desprotegidas.

- **CUANDO SE EMPLEAN PINTURAS Y/O TRATAMIENTOS LIGEROS DE DURABILIDAD ESCASA**, que precisan de períodos de mantenimiento muy cortos que en general no se cumplen, o cuando no se utilizan materiales que protejan adecuadamente a la impermeabilización.

- **CUANDO NO SE PREVÉN ZONAS DE PASO PARA LA INSPECCIÓN O REPARACIÓN**, sobre todo en aquellas cubiertas no transitables en donde el tránsito puede provocar un tipo de erosión mecánica.

FORMACIÓN DE PAR GALVÁNICO ENTRE DISTINTOS MATERIALES

La humedad es particularmente perniciosa en presencia de ciertos materiales incompatibles, cuyo contacto entre sí debe evitarse en toda buena construcción. A continuación se detallan aquellos pares que, por su incompatibilidad, hay que impedir que se encuentren:

- **COBRE Y ZINC.**
- **COBRE Y ACERO GALVANIZADO.**
- **ALUMINIO Y COBRE.**
- **COBRE O BRONCE Y CIERTAS GOMAS VULCANIZADAS.**
- **PLOMO Y ALGUNAS ALEACIONES DE ALUMINIO Y HORMIGÓN O MORTERO FRESCO.**
- **METALES Y OXIDACIONES DE MAGNESIO (CEMENTO MAGNÉSICO, SUELOS CONTINUOS).**
- **ACERO O PLOMO Y HAYA (Y ALGUNA OTRA MADERA) HÚMEDA.**
- **CIERTAS PIEDRAS O LADRILLOS ENTRE SÍ.**
- **CEMENTO Y AGREGADOS IMPROPIOS (ARCILLOSOS, CON SALES AGRESIVAS, ETC.).**
- **PINTURA Y SOPORTE ALCALINO, POR EJEMPLO, CIERTOS REVOQUES DE CEMENTO O CAL.**
- **ASFALTO Y CAL.**
- **ASFALTO Y PVC.**

Muchos defectos son consecuencia de no haberse tenido en cuenta dichas incompatibilidades. Veamos algunos ejemplos:

- **SUPERFICIES QUE PRESENTAN EFLORESCENCIAS** porque la pintura contiene sales solubles.
- **PINTURAS QUE ATACAN LOS TUBOS DE ACERO** porque se utilizó demasiado cloruro de calcio en su preparación.
- **HORMIGONES Y ARMADURAS QUE SE CORROEN** por el contacto con gravas o escorias sulfurosas.
- **PINTADOS QUE SE DESPRENDEN O DECOLORAN** a causa del limpiado insuficiente del soporte.
- **ENLUCIDOS DE CEMENTO QUE SE DESPRENDEN** de un hormigón porque se le agregó yeso.
- **ENLUCIDOS DE CAL QUE PRESENTAN PEQUEÑOS CRÁTERES CON POLVO BLANCO** en su fondo porque la caliza empleada en la fabricación de la cal era demasiado rica en magnesia.
- **ENLUCIDOS QUE SE DESPRENDEN** porque el hormigón que lo lleva contiene escorias con demasiadas cenizas.
- **HORMIGONES QUE SE DISGREGAN** porque se utilizó agua azucarada en su fabricación.
- **ARMADURAS DE HORMIGÓN QUE SE CORROEN** porque en su confección se utilizó agua de mar o arena de mar mal lavada.

1. FACTORES AJENOS O EXTERNOS

LESIÓN	CAUSA
Movimientos estructurales	Acciones estáticas Acciones dinámicas Acciones térmicas Acciones eólicas Tipos de estructura: - hiperestática - isostática
Movimientos de la cimentación	Asientos diferenciales Fallas localizadas Socavaciones Hinchamientos Hundimientos Cedimientos...
Variaciones del medio físico	Contaminación química Contaminación física Contaminación mecánica Vibraciones
Desastres naturales	Terremotos Ciclones Huracanes Tormentas
Siniestros	Incendios Explosiones Guerras

2. FACTORES PROPIOS - En la estructura de la cubierta

LESIÓN	CAUSA
Deterioro del material	Pudriciones Corrosiones Descomposiciones
Soluciones constructivas inadecuadas a los plan-teamientos de cálculo	Nudos y enlaces
Ejecución defectuosa	Replanteos Enlaces Soldaduras
Movimientos no previstos	Acciones térmicas Acciones eólicas Acciones en la ejecución
Falta de previsión de juntas	No existen Son defectuosas

CLASIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE PRODUCEN LESIONES EN LAS CUBIERTAS
(Fuente: Curso de Rehabilitación Nº 6. La Cubierta).

3. FACTORES PROPIOS - En el cerramiento

LESIÓN	CAUSA
Soporte base	
Inestabilidad en forma y posición en	Estructuras pesadas o livianas Estructuras continuas o discontinuas Estructuras monolíticas o piezas Afectadas por: - cambio de humedad - cambio de temperatura - procesos de fraguado y endurecimiento
Substrato	
Presencia de agua	De la construcción De lluvia infiltrada De condensación
Pendientes inadecuadas a los materiales	Colonias de hongos Embolsamientos Vegetación
Acabado defectuoso	Superficies angulosas Terminación inadecuada Falta de limpieza
Incompatibilidad	Química Mecánica
Juntas	No existen Defectuosas
Impermeabilización	
Defectos del material	No adecuado Sin control de calidad
Defectos de ejecución	Mano de obra no especializada Tratamiento incorrecto de los materiales no tradicionales
Fisuras en láminas	Cambios de temperatura Heladicidad Saponificación Pérdida de plastificantes Envejecimiento prematuro Fijación inadecuada Ampollamiento Deformaciones incompatibles Puntos singulares

CLASIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE PRODUCEN LESIONES EN LAS CUBIERTAS
(Fuente: Curso de Rehabilitación Nº 6. La Cubierta).

3. FACTORES PROPIOS - En el cerramiento

LESIÓN	CAUSA
Impermeabilización	
Penetración de agua en cubiertas inclinadas	Gravedad Presión hidrostática Presión del viento Energía cinética Capilaridad
Penetración de agua en cubiertas planas	Las anteriores y además: Falta de pendiente Ataques biológicos
Deterioro de la protección	
Envejecimiento del material	
Resolución incorrecta de los puntos singulares	
Protección	
Transmisión de esfuerzos incompatibles	De corte De punzonamiento De desgarramiento
Incompatibilidad con la impermeabilización	Poliestireno-plastificante Morteros de cal-láminas
Pérdida de la protección contra	Radiación solar Ozono Erosión hidráulica Erosión mecánica Medio contaminante
Colocación deficiente	
Protección escasa o ineficiente	
Falta de previsión de zonas de tránsito	

CLASIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE PRODUCEN LESIONES EN LAS CUBIERTAS
(Fuente: Curso de Rehabilitación Nº 6. La Cubierta).

Finalmente, es frecuente el caso de terrazas correctamente impermeabilizadas con láminas asfálticas que, pasados unos años, muestran humedades e incluso goteras.

Esto se debe a que el embaldosado se llevó a cabo con mortero de cal directamente encima de la impermeabilización. Es de suma importancia, entonces, tener especial cuidado en evitar estos contactos incompatibles.

La corrosión por par galvánico es un tipo de lesión de aparición muy localizada. Surge cuando se da una diferencia de potencial electroquímico entre dos metales distintos, o entre un metal y un álcali de un cemento, o un ácido contenido en maderas u otros materiales.

En todos los casos se necesitará un electrolito en forma de fluido como conductor de la corriente eléctrica que se forma.

El potencial eléctrico de cada metal no depende solamente de él, sino también de la naturaleza del fluido en el que se halle, ya que es entonces cuando dicho metal se ioniza, emite electrones y, en consecuencia, adquiere un determinado potencial electroquímico que lo hace convertirse en ánodo o cátodo, en función del otro metal o elemento al otro lado de la pila formada. Asimismo, pueden crearse pares galvánicos entre metales y otros productos no metálicos.

Lo primero que debe hacerse, en consecuencia, es comprobar la compatibilidad química entre el material utilizado en la impermeabilización y aquellos pertenecientes al substrato con los que entra en contacto.

Hay que destacar la incompatibilidad de los morteros de cal o bastardos y/o hormigones en los que se empleen aditivos de carácter alcalino (aceleradores del fraguado), que pueden producir saponificación de las resinas que forman parte de la composición de ciertas láminas impermeabilizantes.

Como norma general, la utilización de estas láminas, directamente sobre un substrato aislante térmico, debe ser objeto de un control de compatibilidad.

Dadas las características físicas, mecánicas y de resistencia a la intemperie del cobre, el plomo y el aluminio (con la posibilidad de fabricarlos en láminas de espesor reducido), se utilizan en la formación de membranas impermeabilizantes.

El más empleado por consideraciones de tipo económico es el aluminio, usado como capa protectora pero incompatible con morteros, hormigones y aguas alcalinizadas que pueden llegar a destruirlo.

También es atacado si entra en contacto con otros metales con los que forma una cuba electrolítica y actúa como polo negativo, resultando protegido cuando ocupa la posición electropositiva.

Con respecto al hierro y el acero, una de las principales lesiones que pueden producir, cuando se hallan embebidos en una construcción, es el teñido amarillento o rojizo característico de la herrumbre.

Asimismo, es factible que en sus inmediaciones originen un ensanchamiento de las juntas de los ladrillos o un agrietamiento, tanto en ladrillos como en hormigones. Si el metal se corroe, puede incluso causar la destrucción parcial o total de dichas fábricas.

La humedad de la fábrica y la del aire provocan la corrosión del acero y del hierro no protegidos, acelerándose con los ácidos, sulfatos y cloruros que suele contener el aire de las zonas industriales.

Las posibilidades se incrementan cuando en el hormigón han quedado zonas porosas o con coqueras, por defectos del vibrado o cuando las varillas quedan a poca profundidad. La corrosión provoca un aumento de volumen del hierro y el consiguiente agrietamiento de la obra.

Para prevenir esta situación, todo acero o hierro que deba embeberse en una fábrica de ladrillo deberá recubrirse totalmente con una capa de mortero denso como, por ejemplo, un compuesto de una parte de cemento Pórtland por tres de arena. Los hierros parcialmente embebidos deberán rodearse, al entrar en el ladrillo, de una mezcla bituminosa.

En los hormigones se cuidará que el vibrado sea suficiente y uniforme y, si es necesario, se añadirán fluidificantes o plastificantes.

Por otra parte, también se ha de prestar atención a que las varillas queden lo suficientemente lejos de la superficie para evitar que se oxiden por efectos de la humedad exterior.

Las manchas de color de la herrumbre revelan por sí mismas las causas de la lesión. Pero si el ensanchamiento de las juntas y las roturas de los ladrillos no van acompañadas de este teñido característico, pueden confundirse con lesiones debidas a otros motivos. Para determinar la causante del daño bastará con poner de manifiesto la pieza embebida y ver si está corroída.

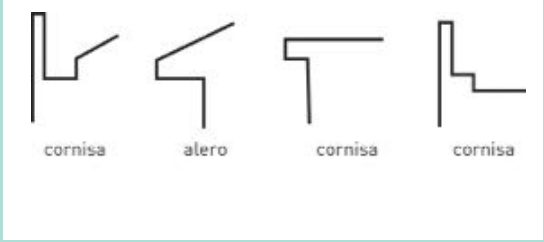
ALEROS Y CORNISAS

Aleros y cornisas constituyen un elemento arquitectónico característico de los edificios y relevante en la definición volumétrica de los mismos. Se trata de la línea que une los planos de cubierta y fachada, cualquiera sean sus tipos, y que depende de los sistemas constructivos de aquellos.

De este modo, se habla de aleros cuando se trata de una cubierta inclinada que llega hasta la misma fachada y la sobrepasa y, de cornisas, cuando es el plano de fachada el que pasa por delante de la cubierta, ya sea plana o inclinada.

Con respecto a las cornisas, las hay de coronaciones lisas, donde la línea afectada es básicamente la superior, y aquellas otras con impostas o barandillas de diversos tipos, donde el proceso patológico afecta a toda una franja de un ancho determinado.

Los cambios de temperatura son determinantes, tanto por sí solos como combinados con la humedad, provocando lesiones mecánicas (desprendimientos, grietas y fisuras) o físicas (erosiones).



Identificación de aleros y cornisas.

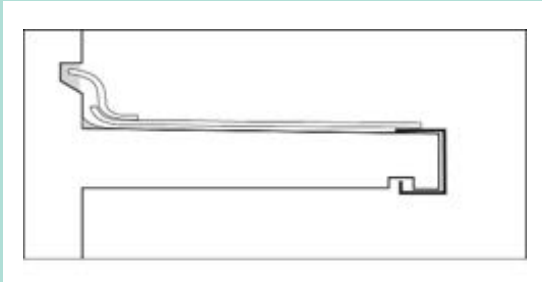
HUMEDADES DE FILTRACIÓN Y CONDENSACIÓN

HUMEDAD EN ALEROS

Se han de distinguir varios casos en función del sistema de drenaje en sus tres variantes: caída libre del agua, canalón visto y canalón oculto. Se puede considerar además una cuarta variante cuando se trate de un alero lateral paralelo a la pendiente de la cubierta.

CAÍDA LIBRE DEL AGUA: En el primero de los casos –salida del agua por caída libre al exterior– la filtración, al margen de la existencia de roturas o errores de colocación entre los elementos de la terminación o revestimiento exterior de la cubierta (tejas, losetas, chapas, etc.), se produce por la vuelta hacia atrás de la gota de agua una vez que rebasa la línea de borde.

Esto sólo es posible si no existe vuelo suficiente del elemento de la terminación en cuestión, o si carece de goterón o inclinación suficiente, y, en ambos casos, la intervención del viento contra el alero puede causar la filtración.



Impermeabilización de voladizos.

En estas clases de alero hay que corregir la situación relativa de las piezas de cobertura del borde, ya sea sustituyéndolas o actuando sobre el soporte del alero.

En cualquier caso, de lo que se trata es de obtener un vuelo o una inclinación mayor o de introducir un goterón en el borde. Asimismo, se vuelve conveniente introducir una protección impermeable en el frente del alero, bajo el vuelo de las tejas, sobre todo si no es posible aumentarlo. Dicha protección por lo general se realiza con chapa metálica lacada o aluminio.

CANALÓN VISTO: Para la segunda variante, cuando el drenaje se realiza por canalón visto, la filtración puede provocarse por alguna de las causas anteriores o bien por un mal funcionamiento del canalón.

Esto ocurre si el agua supera la capacidad del canalón y éste, demasiado próximo a la fachada e incluso pegado a ella o alojado sobre algún tipo de imposta, facilita que el agua se acumule sobre ella y se filtre.

La otra posibilidad es que la unión del canalón con la bajante sea defectuosa o se atasque, saliendo el agua por ese punto y penetrando directamente en la fachada o resbalando por la bajante con efectos similares.

El hecho de que el agua supere la capacidad del canalón puede deberse a diversas razones, siendo las más usuales:

- **LA AUSENCIA, FALTA O CAMBIO DE PENDIENTE.**
- **UNA CAPACIDAD INSUFICIENTE DESDE EL PROYECTO Y/O LA EJECUCIÓN.**
- **LA OBSTRUCCIÓN DE LA BAJANTE.**



La corrosion en balconeras y salientes metálicos no sólo afecta estructuralmente a dichos elementos sino que también provoca manchas en la fachadas.

Si la filtración se produce porque se supera la capacidad del canalón, hay que hacer los cálculos correspondientes y sustituirlo por uno de mayor capacidad.

En cambio, si ocurre que el canalón está desprendido con pendientes invertidas, hay que comprobar el cálculo y volver a sujetar adecuadamente, procurando no cometer los errores que provocaron el desprendimiento, a saber:

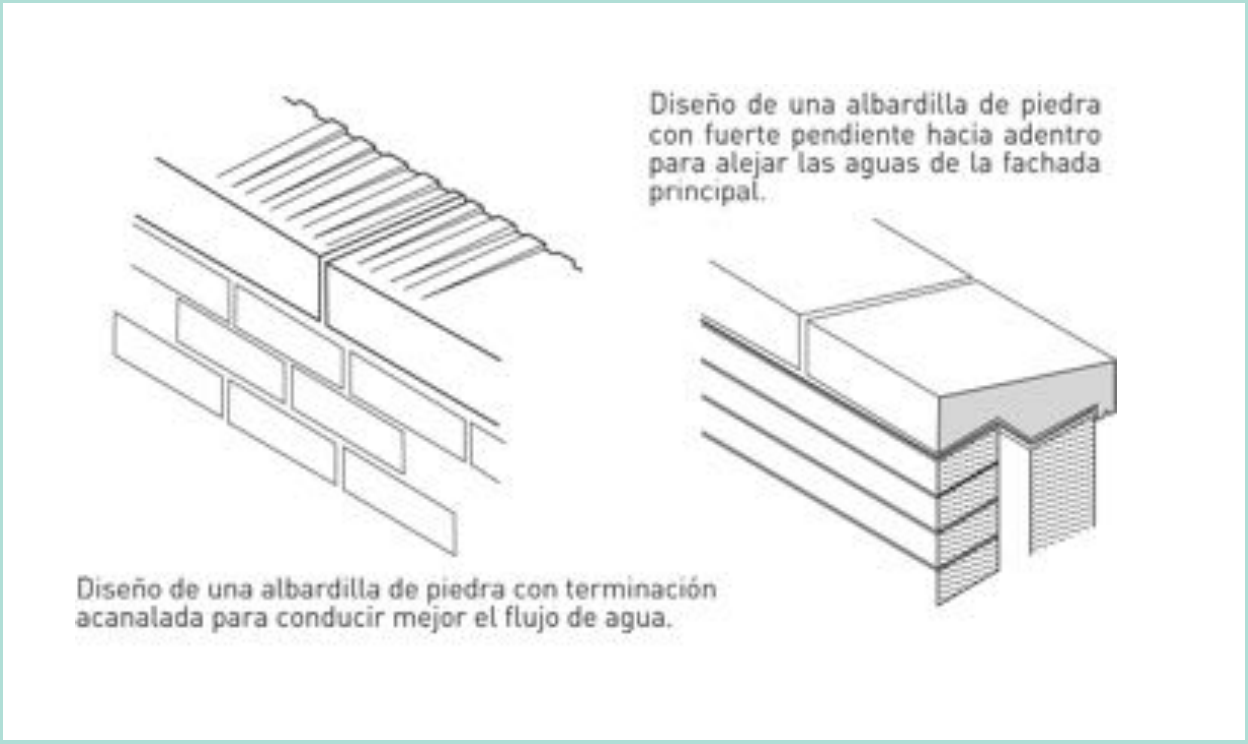
- **SUJECIONES DÉBILES O SUJECIONES MUY SEPARADAS.**

- **SUJECIONES METÁLICAS SIN LA IMPRIMACIÓN ANTICORROSIVA ADECUADA** o sin la protección necesaria para evitar la aparición de par galvánico (grapas de acero con canalón de zinc, por ejemplo).

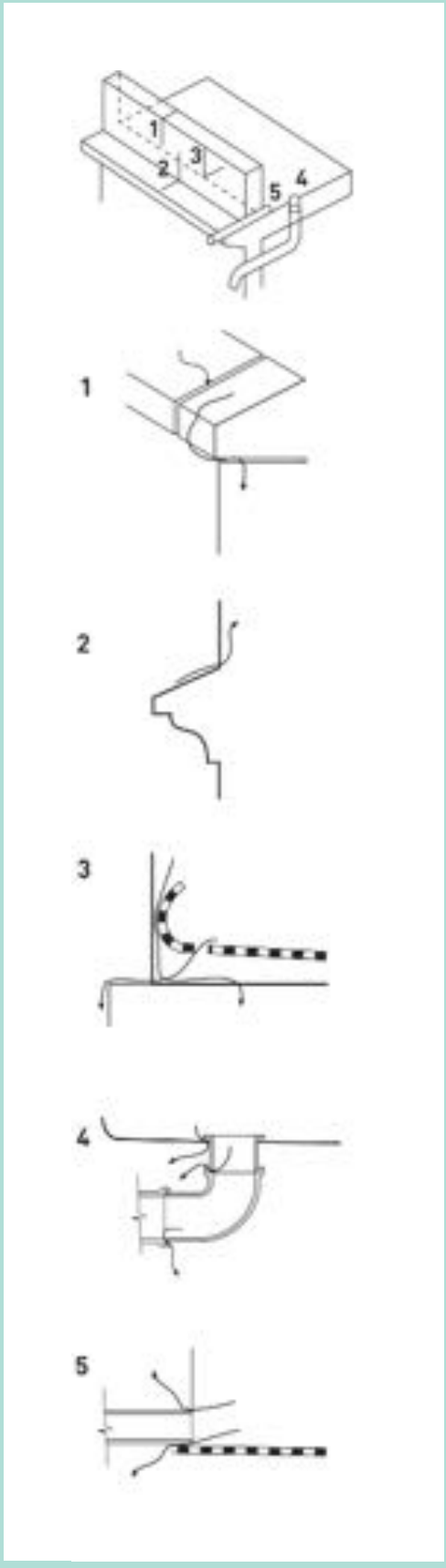
- **FALTA DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO** que facilita la acumulación de tierra y suciedad, lo que provoca el desprendimiento por aumento de peso.

En cualquiera de estos casos y como medida de prevención, cuando se coloca nuevamente el canalón se debe dejar una separación suficiente (>5 cm) para evitar que el agua al rebasar vaya directamente al paño de fachada, provocando la filtración, y se debe asegurar una inclinación adecuada. Por otra parte conviene considerar la necesidad real del canalón; si ya no es necesario lo mejor es eliminarlo y dejar el alero con caída libre.

CANALÓN OCULTO: Considerando la tercera variante mencionada –el drenaje que se realiza por canalón oculto– la filtración se puede producir por diversas causas relativas a su mala ejecución o a un funcionamiento defectuoso, de las cuales las más importantes son:



Buenas propuestas para el diseño de albardillas.



Filtración en cornisas.

- **FALTA DE SOLAPE SUFICIENTE DEL ELEMENTO SOBRE EL CANALÓN.**
- **CAPACIDAD INSUFICIENTE DEL CANALÓN.**
- **OBSTRUCCIÓN DEL SUMIDERO O DEL BAJANTE.**
- **FALTA DE SOLAPE DEL LATERAL INFERIOR DEL CANALÓN SOBRE EL MATERIAL DE COBERTURA DEL RESTO DEL ALERO.**

En este caso las medidas de reparación buscan anular, en lo posible, las causas indirectas que han provocado la filtración. La intervención, entonces, pasará por:

- **ASEGURAR EL SOLAPE SUFICIENTE** (>5 cm) del elemento de cobertura sobre el canalón en la parte alta, lo que puede implicar la reposición de las piezas correspondientes.
- **COMPROBAR LA CAPACIDAD DEL CANALÓN**, previo cálculo de superficies pluviométricas y cambio del mismo.
- **LIMPIAR LOS SUMIDEROS Y BAJANTES** e incluir elementos filtrantes de hojas y suciedad para evitar nuevas obstrucciones.
- **MEJORAR EL SOLAPE DEL CANALÓN SOBRE LA PARTE INFERIOR DEL ALERO**, cambiando las piezas necesarias e incluso el propio canalón si es preciso.

Finalmente, cuando se trata de un alero lateral el problema es más reducido ya que el agua sigue un recorrido paralelo al mismo. No obstante, se puede producir la filtración, básicamente por dos factores:

- **LA PENDIENTE DEL FALDÓN** (cuanto mayor es la pendiente menor es el peligro de filtración).

- **LA FALTA DE PROTECCIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN.**

Las medidas de intervención posibles son similares a las detalladas para el caso del alero con caída libre.

HUMEDAD EN CORNISAS

Para las cornisas también se han de distinguir varios casos de lesiones, en función del tipo formal y constructivo de la cornisa y del punto de aparición de la humedad. Así, tendremos en cuenta las filtraciones por albardilla, por imposta, por encuentro entre faldón y peto, y por sumidero.

FILTRACIÓN POR ALBARDILLA: se produce por ausencia o por mal funcionamiento, lo que puede ocurrir:

- **POR SU ROTURA (GRIETA O FISURA) O ABERTURA DE LAS JUNTAS.**

- **POR POROSIDAD EXCESIVA Y FALTA DE PENDIENTE.**

- **POR AUSENCIA DE SOLAPE SOBRE PLANOS VERTICALES O DEL GOTERÓN CORRESPONDIENTE.**

En función de su origen, la reparación ha de seguir una de las alternativas siguientes:

- **SELLADO DE LAS JUNTAS, SI SE TRATA DE PIEZAS MUY GRANDES** que por retracción se han abierto; retacado, si son pequeñas.

- **APLICACIÓN DE PRODUCTOS ENDURECEDORES O SELLADORES**, a partir de resinas acrílicas o epoxídicas, según cual sea el material poroso afectado por la filtración.

- **SUSTITUCIÓN DE LAS PIEZAS DE ALBARDILLA** por otras nuevas que tengan junta adecuada, pendiente suficiente y goterón en ambos lados.

- **COLOCACIÓN DE UNA NUEVA ALBARDILLA** (normalmente de chapa).

FILTRACIÓN POR IMPOSTA: puede aparecer por razones similares a las anteriores, además de hacerlo si existe microcapilaridad en el encuentro de la albardilla con el paño de la fachada. Pueden ser válidas las medidas de prevención indicadas para las albardillas, pero se debe cuidar de un modo especial el encuentro de la protección con el paño vertical, para lo que hay que asegurar lo siguiente:

- **EXISTENCIA DE UN PEQUEÑO RESALTO DE UNOS 5 CM ANTES DE ENCONTRARSE LA CHAPA EN LA PARED.**

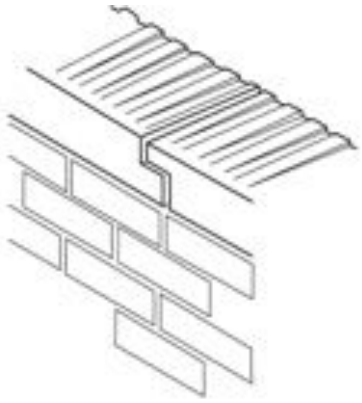
- **MÁXIMA INCLINACIÓN DE LA PROTECCIÓN SUPERIOR.**

- **SELLADO DEL ENCUENTRO DE LA PROTECCIÓN CON LA PARED MEDIANTE UN MATERIAL ELASTÓMERO.**

FILTRACIÓN POR ENCUENTRO ENTRE FALDÓN Y PETO: una de las más corrientes, se origina como consecuencia de unir, sin solución de continuidad, la membrana impermeable del faldón de la terraza plana con el peto. Esto produce, al menos, dos posibles puntos de filtración debidos a:

- **UNA ROTURA DE LA MEMBRANA EN EL QUIEBRO POR TENSIÓN EXCESIVA** al estar la tela adherida en todo su dorso, superando su coeficiente de elasticidad.

- **EL DESPEGUE DEL BORDE SUPERIOR DE LA TELA DEL PETO AL QUE ESTABA ADHERIDA**, sin ningún tipo de babero de protección.



Vista de la junta trabada entre dos elementos que componen la albardilla.



Sección donde se aprecia la pendiente de la junta trabada entre dos elementos.

La pendiente en los elementos que componen la albardilla no sólo se busca en la superficie exterior sino también dentro de las juntas. Estos detalles constructivos minimizan la posibilidad de que el agua no fluya y deteriore los materiales.

En situaciones así lo más probable es que no se haya ejecutado el mimbel o zabaleta correspondiente, por lo que la actuación pasa por introducir dicho elemento.

En los casos de cubiertas antiguas con mimbel, la filtración puede originarse en la rotura por desgarre de la membrana impermeable o puede deberse a las grietas entre el mimbel y el peto. Se repara rehaciendo el mimbel, nunca tapándolo, aunque sea algo frecuente. Si no se quiere rehacer el mimbel para evitar el trabajo, entonces se dispone una nueva tela impermeable por encima de la cubierta, generalmente autoprotegida con aluminio gofrado.

FILTRACIÓN POR SUMIDERO: se origina por un mal funcionamiento del sistema de drenaje de la cubierta, sea plana o inclinada, al echar el agua contra el peto. Se pueden considerar al menos los siguientes casos:

- **OBSTRUCCIÓN O ROTURA EN ALGUNA DE LAS PARTES DEL SUMIDERO DE LA CUBIERTA PLANA HASTA LA BAJANTE.**
- **INSUFICIENCIA DEL SOLAPE SOBRE EL PETO INFERIOR AL DE LA LIMATESA OPUESTA, QUE PERMITE LA ENTRADA DEL AGUA.**
- **CANALÓN PERIMETRAL QUE DEJA DE FUNCIONAR CORRECTAMENTE POR:**

  - **PENDIENTE INSUFICIENTE;**
  - **OBSTRUCCIÓN DE BAJANTE;**
  - **FALTA DE SOLAPE SUFICIENTE EN ALGUNO DE SUS LADOS;**
  - **AUSENCIA DE SUMIDERO, CON SALIDA DIRECTA DEL AGUA A BAJANTE O GÁRGOLA;**
  - **ROTURA DE MATERIAL IMPERMEABLE A LO LARGO DEL RECORRIDO DEL AGUA EN SU SALIDA.**



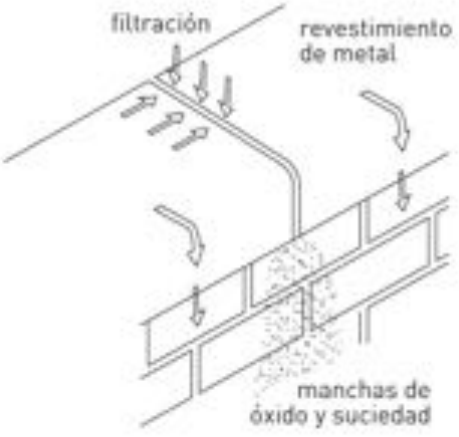
Albardilla de membrana asfáltica



Albardilla de piedra

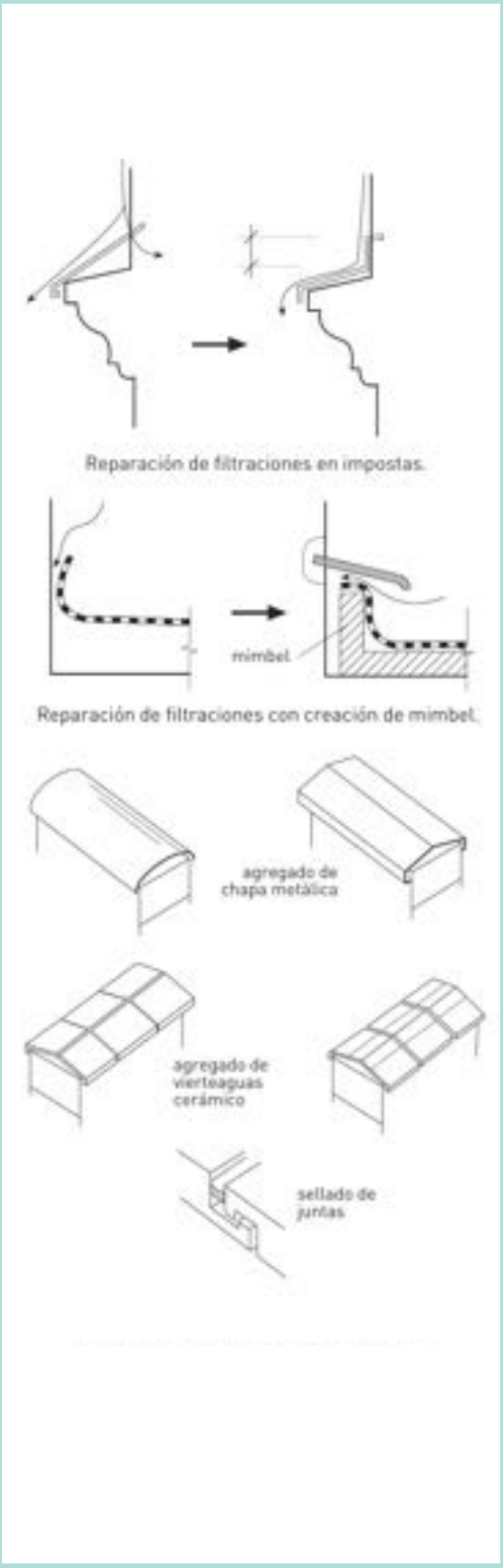


Albardilla de piedra



Albardilla metálica

El fallo de la terminación de las albardillas produce filtraciones en las juntas y manchas indeseables. En estos ejemplos se aprecia la conveniencia de escurrir las aguas rápidamente para minimizar los posibles fallos y manchas.



Reparación de filtraciones en albardillas.

La intervención se orienta a introducir sumideros, a cambiar los existentes por unos nuevos o, simplemente, a repararlos. Asimismo, se debe asegurar una limpieza periódica como medida de prevención.

HUMEDADES DE CONDENSACIÓN

Al tratarse de un encuentro de dos planos, resulta algo difícil mantener la continuidad de su aislamiento, lo que facilita la aparición de un puente térmico lineal que, unido a su mayor nivel de exposición, provoca condensaciones intersticiales que acaban manifestándose como humedades al exterior.

La corrección de las mismas en general tiene dos tipos de soluciones, orientadas a eliminar la condensación intersticial a base de alejar la curva de temperaturas de rocío de la de las temperaturas del propio elemento constructivo.



El encuentro entre la membrana y el muro es del todo incorrecto. No se ha practicado un ragata donde embutirla y por lo tanto corre el riesgo de soltarse por los movimientos térmicos.

En unos casos se trata de aumentar el aislamiento de dicho elemento por su exterior, lo que eleva su temperatura y, en otros, se busca disminuir la presión de vapor de agua que tiende a cruzar el cerramiento por dos medios clásicos: ventilando más el local interior o introduciendo una barrera de vapor en la cara interior del cerramiento.

El aumento de aislamiento por el exterior es la solución más adecuada, aunque no siempre sea posible. De hacerlo, será a base de un material aislante rígido que pueda volver a recibir el acabado que tenía originalmente, o de planchas aislantes protegidas mediante un revoco armado, lo que permite un acabado de tipo continuo.

GRIETAS, FISURAS Y DESPRENDIMIENTOS

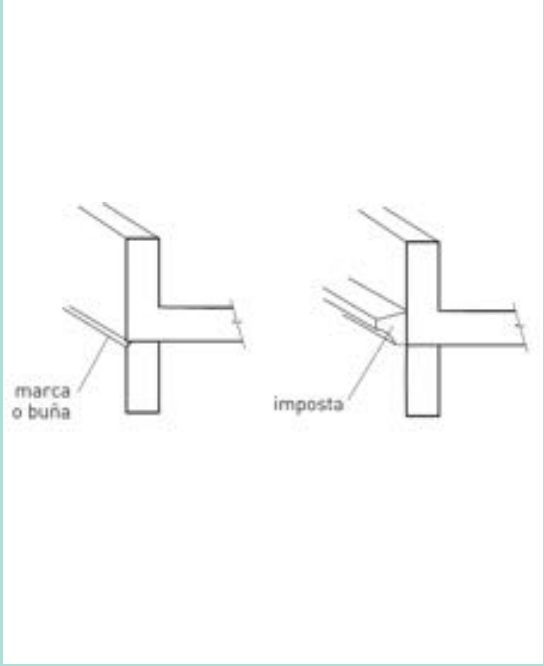
Los cambios de temperatura y humedad, acentuados en aleros y cornisas debido a su nivel de exposición, son el origen de las grietas y fisuras. Se pueden distinguir algunas variantes en función del elemento constructivo afectado, a saber:



Dos problemas que tienen su origen en la temperatura y humedad am-biental: los puentes térmicos y los movimientos higrotérmicos.

- **GRIETAS HORIZONTALES EN EL ENCUENTRO CON FORJADO.**
- **GRIETAS VERTICALES EN PETOS Y ALEROS.**
- **FISURAS EN PETOS.**

GRIETAS HORIZONTALES: suelen aparecer en las cubiertas planas cuando no se ha respetado la independencia necesaria entre la estructura y el cerramiento no portante de fábrica, o entre el faldón superior y el peto de fábrica. En cualquiera de los casos, la dilatación del elemento horizontal que recibe la radiación solar directa empuja al peto de fábrica que descansa sobre él o, por lo menos, que está en contacto, y lo rompe horizontalmente por su punto más débil. Resulta difícil anular la causa (la dilatación) a menos que se coloque una protección superior que elimine la radiación solar y aumente el aislamiento, lo que inutilizaría su uso. Después de todo, la dilatación seguiría produciéndose, en menor medida tal vez, pero probablemente con la fuerza suficiente para seguir agrietando el peto.



Prevención de grietas horizontales en el encuentro entre la estructura de la cubierta y los muros de cerramiento.

Por consiguiente, la solución en estos casos no pasa por actuar sobre la causa, sino sobre el efecto, al que se puede disimular de dos maneras:

- **MARCANDO LA GRIETA DE UNA FORMA REGULAR**, como si se tratase de una junta de dilatación, con su correspondiente sellado.

- **TAPANDO LA GRIETA CON UN NUEVO ELEMENTO CONSTRUCTIVO HORIZONTAL TIPO IMPOSTA**, colocado de tal manera que siga permitiendo el libre movimiento del faldón.

GRIETAS VERTICALES: en petos y aleros de fábrica y hormigón, son consecuencia directa de la ausencia de juntas de dilatación en dichos elementos.

Al contraerse, después de una dilatación, suelen abrirse verticalmente en zonas intermedias o en puntos más débiles (esquinas y uniones con pilastras o elementos estructurales), sobre todo en las orientaciones Este y Oeste, las más castigadas por los cambios de temperatura.

Si las grietas aparecen en tramos intermedios, deben marcarse y tratarse como junta de dilatación, lo que implica actuar únicamente sobre el efecto. No obstante, y en función de la solución constructiva en el caso de los petos, es necesario reforzar los bordes de la nueva junta para asegurar su integridad.

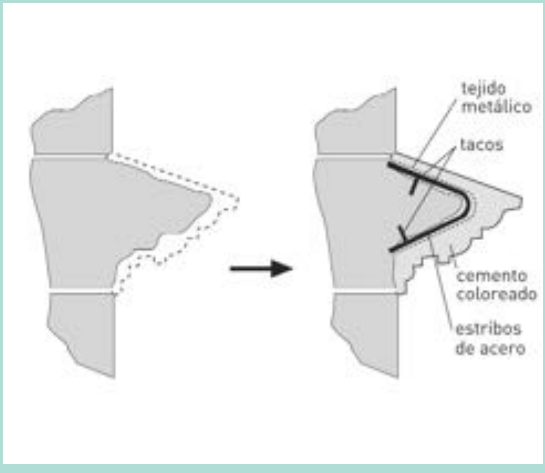
Por otro lado, si se han producido en las esquinas, se marca la junta de dilatación en uno de sus lados, preferentemente el menos soleado, y se refuerzan los bordes.

La decisión de fortalecer la esquina con ataduras metálicas suele ser contraproducente, pues traslada la grieta al extremo del refuerzo. En muy pocos casos la debilidad del peto es el causante de las grietas y, de ser así, existe además otra causa mecánica que conviene eliminar antes de reforzar.

Si estas lesiones se produjeron por movimientos elásticos de la estructura soporte, lo primero que debe hacerse es apuntalar dicha estructura o la independencia, si cabe, entre estructura y peto.



Se ha filtrado agua en el anclaje de esta barandilla metálica, la cual se ha oxidado y provocado la rotura del parapeto que la sostiene.



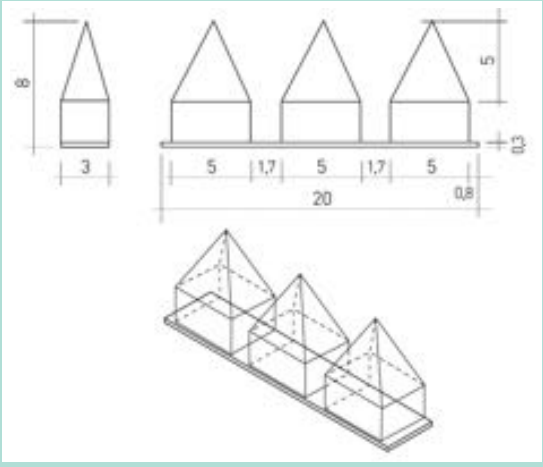
Reparación de una cornisa de piedra disgregada.

FISURAS EN PETOS: suelen aparecer, cuando se trata de materiales porosos, por cambios de humedad. Dichos componentes absorben el agua de lluvia y, al secar de un modo relativamente rápido debido a su nivel de exposición y a su estructura, provocan fisuras superficiales –sobre todo en los acabados– que pueden tener forma de mapa o vertical paralela.

El recurso más efectivo consiste en sanear el acabado continuo afectado y sustituirlo por uno nuevo con armadura de malla de poliéster o fibra de vidrio protegida contra los álcalis del cemento.

El nuevo revoco debe tener un coeficiente de absorción bajo para evitar que vuelva a provocarse la lesión y, en caso extremo, se puede aplicar algún tipo de sellante o hidrofugante sobre el mismo. De ese modo se resuelve tanto la causa como el efecto de la lesión.

DESPRENDIMIENTOS: en la mayoría de los casos resultan una nueva lesión secundaria, consecuencia de las humedades de filtración, de las grietas y fisuras y, algunas veces, de los organismos. En consecuencia, en los aleros pueden aparecer tres tipos de desprendimientos:



Pirámides de plástico para inhibir a las palomas de posarse sobre aleros y cornisas. Sistema Vilsen.

- **DEL MATERIAL DE ACABADO.**
- **DE LAS TEJAS Y LOSETAS (TERMINACIÓN DE LA CUBIERTA).**
- **DE LOS CANALONES.**

El material de acabado, sea continuo (el más corriente) o por elementos (plaquetas cerámicas o chapado de piedra), suele desprenderse como consecuencia de la helada del agua infiltrada o del agua de la condensación intersticial.

También pueden intervenir las grietas y fisuras que facilitan la filtración de agua y cuyos procesos mecánicos permiten que se introduzcan, entre acabado y soporte, los elementos rasantes necesarios para provocar el desprendimiento.

En el caso de los acabados continuos hay que sanear hasta las líneas modulares o cambios de planos, reponer el revoco y proteger la superficie con pintura, selladores o endurecedores. Si, en cambio, se trata de chapados de piedra, hay que demoler las piezas irrecuperables y reponer, anclar las recuperables y si es posible realizar un sellado de uniones.

En lo que refiere a tejas y losetas, la confluencia de movimientos elásticos o de dilatación originan un primer desprendimiento que facilita la filtración de agua que, al helarse, provoca el desprendimiento final. A ello pueden colaborar también las raíces de las plantas de porte que estén alojadas en esos puntos. La reparación pasa por eliminar todas las piezas rotas y reponerlas y sujetar aquellas que estén sueltas.

Los canalones, por último, suelen desprenderse por acumulación de tierra y plantas que, al aumentar su peso, sobrepasan la capacidad de los correspondientes anclajes. Si además los anclajes están corroídos, su debilitación puede provocar, por sí sola, el desprendimiento.

Aquí cabe reponer todas las piezas recuperables, sustituir las irrecuperables y, si el canalón no es realmente necesario, eliminarlo.

Por último, y considerando la situación de las cornisas, los desprendimientos son generalmente similares a los de los aleros, en lo que se refiere a los materiales de acabado, y pueden cobrar especial significación los de las piezas de albardilla en petos y molduras horizontales.

EFLORESCENCIAS

Cualquiera de las humedades descriptas puede constituirse en el origen de una lesión secundaria como la eflorescencia, más aparente cuanto más eflorescibles sean los materiales constitutivos.

Se pueden distinguir varias posibilidades en función del tipo de humedad que actúe como lesión primaria y, por lo tanto, de su situación. Así, en los petos de terrazas (cornisas), donde la lesión se ve con más claridad, se pueden diferenciar cuatro situaciones:

- **EN LA CORONACIÓN PROPIAMENTE DICHA.**
- **EN LA IMPOSTA O MOLDURA HORIZONTAL.**
- **EN EL ENCUENTRO CON EL FORJADO.**
- **EN EL SUMIDERO.**

En el primer caso, la causa de la eflorescencia está en la humedad infiltrada desde la albardilla. Si aparece en la imposta, su origen suele ser la filtración de agua o la microcapilaridad; la primera surge por la parte inferior de la moldura y la segunda por el paño vertical superior.

Por otro lado, si el encuentro con el forjado coincide con una moldura horizontal, la eflorescencia puede aparecer a través suyo. De lo contrario, si el paño es plano, se transparentará el forjado en el mismo. Por último, si el sumidero está en el perímetro y se obstruye o se rompe, la filtración aparece en ese punto.

En cualquiera de las situaciones, la humedad origen de la eflorescencia puede ser doble:

- **FILTRACIÓN DESDE EL BORDE DE LA CUBIERTA** por mal funcionamiento del sistema de drenaje o rotura o despegue de la membrana impermeable.
- **CONDENSACIÓN INTERSTICIAL** por la existencia de un puente térmico en el punto de encuentro.

En los aleros la eflorescencia queda a veces disimulada por la sombra que arroja el vuelo. Su localización es similar a la de las humedades de filtración y aparece en el plano vertical bajo el alero, o en el propio vuelo si es de obra.

Lo primero que debe hacerse en este tipo de lesiones es actuar sobre la humedad. Sólo después se procede a reparar el efecto limpiando la sal eflorescida. El método se elige en función del tipo de sal de que se trate:

- **LIMPIEZA NATURAL MEDIANTE AGUA Y CEPILLO, CUANDO LA SAL ES FÁCILMENTE SOLUBLE**. El agua se suele aplicar pulverizada y a cierta presión. A continuación hay que asegurar el secado, ya sea por sol y aire o con aireadores o calefactores.

- **LIMPIEZA QUÍMICA CON ÁCIDOS O BASES CAPACES DE DISOLVER LA SAL EFLORESCIDA**. La aplicación de estos productos tiene que ser cuidadosamente estudiada para que no produzcan efectos secundarios sobre el material constitutivo de la fachada, lo que implica analizar las posibles reacciones químicas entre el disolvente, la sal y los materiales. Se aplica el disolvente lo más diluido posible y luego se lava con agua para eliminar cualquier resto, asegurando un secado rápido.

- **LIMPIEZA MECÁNICA, CUANDO LA EFLORESCENCIA HA PRODUCIDO UNA COSTRA INSOLUBLE, LO QUE NO ES MUY FRECUENTE**. La costra se debe eliminar mediante abujardados o raspados manuales o mecánicos. Es probable que esta actuación altere superficialmente al material, lo que obliga a una protección superior con selladores transpirables o endurecedores, en función del elemento constructivo afectado.

En general, una vez hecha la limpieza, es conveniente una protección superficial hidrofugante mediante sellados o reposición de pinturas. Al hacerlo, hay que comprobar su adecuación con el material soporte y, sobre todo, asegurar que permita el paso de vapor de agua cuando el elemento constructivo encierra un local en uso.

ORGANISMOS Y SUCIEDADES

Aunque no exista un nivel de protección elevado, en los aleros y cornisas también pueden aparecer organismos. En el primer caso, pueden encontrarse varios tipos en situaciones diferentes:

- **NIDOS DE PÁJAROS (BAJO EL ALERO).**
- **COLONIAS DE MOHOS (BAJO EL ALERO).**
- **MUSGOS Y GRAMÍNEAS EN CANALONES Y TEJAS CANALES.**
- **INSECTOS XILÓFAGOS**.

BAJO ALERO: sin duda es la situación más protegida de esa localización, por lo que no es extraño que se alojen distintos organismos. Los pájaros, en especial las golondrinas, cuelgan de allí sus nidos, pero su efecto nocivo no es más que el estético y, en ocasiones, erosiones químicas parciales.

Las colonias de mohos también eligen ese nivel de protección, siempre que haya una humedad suficiente provocada por cualquiera de las filtraciones vistas, acompañada de una porosidad adecuada. En estos casos conviene utilizar, como sellante o acabado final, pinturas fungicidas que dificulten la aparición de nuevas colonias.

Por su parte, los musgos y gramíneas, como plantas de porte, necesitan un volumen de tierra suficiente para sus raíces, de ahí que aparezcan en dos puntos clave y siempre que falte un mantenimiento periódico:

- **EN CANALONES**, cuando la pendiente es escasa o se ha producido un desprendimiento, lo que facilita la acumulación de tierra y el arraigo de las semillas que llegan por el aire.
- **EN TEJAS CANALES** en el mismo borde del alero y por razones similares, aunque es menos corriente.

Por último, los aleros de madera pueden verse atacados por insectos xilófagos, lo que provoca su deterioro e incluso su colapso.

Con respecto a las cornisas, podemos hallar los siguientes tipos de organismos:

- **NIDOS DE PÁJAROS** en partes inferiores de molduras horizontales, con resultados parecidos a los de los aleros.
- **COLONIAS DE MOHOS**, que buscan protección en las molduras y relieves de las coronaciones.
- **MUSGOS Y GRAMÍNEAS**, no tan frecuentes en estos casos por no haber tierra suficiente. No obstante, pueden aparecer si hay plataformas horizontales y rincones y poco mantenimiento.

En cualquier caso, la reparación se orienta a eliminar la causa antes de actuar sobre el efecto. En lo referente al mantenimiento, es fundamental establecer una limpieza periódica que impida la acumulación de tierra en canalones, tejas canales y rincones, así como el establecimiento de nidos de pájaros.

Para eliminar el efecto se procede a una limpieza que, por el carácter orgánico de la lesión, implica utilizar diversos productos químicos (disolventes o fungicidas en caso de mohos). Ante el riesgo de que se altere la superficie de los materiales constructivos, se aconseja tomar medidas de precaución similares a las indicadas para las eflorescencias.

SUCIEDADES: resultan una lesión relativamente escasa dado el nivel de exposición existente. No obstante, en ocasiones puede manifestarse un lavado diferencial en función del elemento constructivo:

EN ALEROS LATERALES: especialmente cuando el borde está resuelto con cobija, que puede drenar parte del agua hacia el paño vertical y provocar churretones, los que se podrían evitar sustituyendo la hilera del borde de cobijas por canales.

- **EN CORNISAS CON RELIEVES**: aparecen los lavados diferenciales siempre que existan concentraciones puntuales de agua y, sobre todo, cuando las albardillas que protegen las plataformas horizontales no dispongan del correspondiente goterón y estén en una situación más o menos protegida.

- **EN IMPOSTAS CON PLANOS INCLINADOS HACIA ABAJO O PLANOS CURVOS**: el lavado es provocado por la ausencia de goterón en el cambio de plano.

Para intervenir en estos últimos dos casos se aconseja incorporar goterones en todos los cambios de plano mediante perfiles metálicos anclados o chapas que, además de facilitar el alejamiento del agua, eviten concentraciones de drenaje.

Realizadas estas operaciones, o bien simultáneamente, se procede a la limpieza de los paños afectados.

EROSIONES

En lo que respecta a elementos constructivos como aleros y cornisas, este tipo de lesión también puede ser originado por diferentes causas, de lo que se desprende una tipología similar a la detallada para el caso de la cubierta propiamente dicha.

EROSIONES MECÁNICAS:, escasas y previsibles solamente en zonas geográficas muy expuestas –playas o medios más o menos desérticos– y por el paso del tiempo. Su principal causante es el viento acompañado de partículas abrasivas (arena, tierra, etc.) que azota los puntos menos protegidos.

En estos casos, la reparación consiste en sanear y reponer, utilizando morteros endurecidos mediante resinas acrílicas o epoxídicas, o armados con malla de fibra de vidrio o poliéster.

Las reposiciones de mortero siempre deben afectar a los planos o elementos completos y llegar hasta las líneas modulares o cambios de plano, para evitar la aparición de uniones difíciles de disimular.

***EROSIONES FÍSICAS**:* en cambio, son las más corrientes. Su origen está en la humedad previa con la colaboración de los cambios de temperatura, sobre todo de la helada, pudiendo surgir en algunos de los siguientes puntos:

- **ALBARDILLAS DE CORONACIÓN DE PETOS.**
- **BALAUSTRADAS, CUANDO EXISTEN, POR LA CANTIDAD DE ARISTAS QUE OFRECEN.**
- **CORNISAS Y MOLDURAS EN GENERAL.**
- **ALEROS DE OBRA.**

Este tipo de erosión puede afectar a cualquier material pétreo o cerámico que se coloque en dichas situaciones, siendo mayor el efecto cuanto más poroso sea. Una vez reparada la humedad y saneada toda la superficie afectada, se debe analizar la integridad resultante del elemento constructivo, a la vista de la cual se decidirá:

- **SUSTITUIR EL ELEMENTO POR OTRO NUEVO DE APARIENCIA SIMILAR** pero que presente un menor coeficiente de absorción y una mayor resistencia a la helada, con posibilidad de armado.
- **REPARAR EL ELEMENTO MEDIANTE PRODUCTOS ESPECIALES**, comúnmente denominados morteros de reparación, a partir de mezclas de aglomerantes hidráulicos, resinas y pigmentos minerales.
- **SI EL DAÑO HA SIDO MUY LIGERO**, proteger el elemento afectado con productos selladores o endurecedores hidrofugantes, a base de resinas acrílicas, epoxídicas o de siliconas, que taponan los poros superficiales y endurecen el material.

***EROSIONES QUÍMICAS**:* por lo general consecuencia de dos factores: la humedad de filtración y la aparición de contaminantes, ya sean de los contenidos en la atmósfera o los provocados por los propios organismos que aparezcan como lesión previa.

Si se trata de un contaminante atmosférico (SO_2, CO, etc.), puede aparecer en coincidencia con cualquiera de las humedades vistas y depende del material constitutivo. No obstante, cabe indicar que este tipo de erosiones es menos corriente que en las zonas bajas de los edificios debido, precisamente, a su mayor nivel de exposición. Por otro lado, si se trata de organismos la lesión aparece en los puntos donde estos se ubican. La actuación comprende varios pasos:

- **ANULAR LA HUMEDAD Y LOS ORGANISMOS QUE SEAN ORIGEN DE LA LESIÓN.**
- **REALIZAR UN ANÁLISIS QUÍMICO DEL COMPUESTO RESULTANTE DE LA EROSIÓN** con diagnóstico de los productos químicos que han colaborado, tanto por parte del material constructivo como del contaminante, sea éste atmosférico u orgánico. A continuación, llevar a cabo un análisis petroquímico y petrofísico del material constitutivo del cerramiento, en caso de ser pétreo.
- **SANEAR TODA LA SUPERFICIE AFECTADA** hasta eliminar el material erosionado y alcanzar la parte que no se haya comprometido.
- **REPARAR MEDIANTE ALGUNA DE LAS ALTERNATIVAS ENUMERADAS PARA EL CASO DE LA EROSIÓN FÍSICA** (sustitución del elemento constructivo; reparación del mismo mediante productos especiales; protección de la superficie mediante selladores o endurecedores).

DIAGNÓSTICO

Al tratarse de una situación funcional y constructiva concreta y no de un tipo específico de lesión, en el caso de los aleros y cornisas más que hablar de un único diagnóstico se debe pensar en uno múltiple, en función de las diversas lesiones. No obstante, hay tres factores básicos que condicionan el origen de la mayoría de los procesos patológicos en estos elementos: la alta exposición a las influencias atmosféricas, la incidencia del agua de lluvia y el cambio de plano constructivo; a partir de los cuales se pueden estudiar los daños para alcanzar un diagnóstico correcto que permita establecer las medidas de reparación más adecuadas. A continuación se detallan los pasos a seguir en este análisis:

- **ESTUDIO DE LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS DE RESOLUCIÓN DEL ENCUENTRO DE LOS PLANOS DE FACHADA Y CUBIERTA**, con especial atención a la existencia de elementos estructurales lineales y de independencia entre cerramiento y estructura, así como a la continuidad o no del aislante.

- **SEGUIMIENTO DE LA LESIÓN DURANTE UN PERIODO DE TIEMPO SUFICIENTE** para conocer la incidencia de los cambios de temperatura en las variaciones dimensionales de los elementos estructurales más expuestos, sobre todo cuando hayan aparecido grietas, fisuras y/o desprendimientos.

- **ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LAS AGUAS DE LLUVIA**, sea abierto u oculto, por canalón o por bajantes. Hay que comprobar su correcto funcionamiento, tanto desde el punto de vista del cálculo pluviométrico (zona climática, superficies de recogida, diámetros de canalones y bajantes) como desde la perspectiva de las soluciones constructivas de situación y anclaje de canalones y de empalmes de todos los elementos.

Una vez reunida la información necesaria, son mayores las posibilidades de optar por una intervención adecuada y de conocer la manera de prevenir la aparición de las causas indirectas.

BIBLIOGRAFÍA

Curso de patología. Tomo 3. Cerramientos, acabados y cubiertas. *AA.VV. COAM. Madrid, 1995.*

Curso de protección contra incendios en la edificación. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de Rehabilitación Nº 7. Cerramientos y acabados. *AA.VV. COAM. Madrid, 1988.*

Curso de Rehabilitación Nº 8. Acondicionamiento térmico y acústico. *AA.VV. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de Rehabilitación nº6. La Cubierta. *COAM. Madrid.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Defectos de las capas de pintura. *Manfred Hess. Blume. Barcelona, 1973.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

La prevención de daños por incendio en arquitectura. *Luis Herrera Zogby. LIMUSA. México, 1981.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Lesiones en los edificios. Síntomas. Causas. Reparación. *AA.VV. Ediciones CEAC. BCN, 1981.*

Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1997. 2º edición.*

Rehabilitació d'habitatges rurals. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1985.*

Standard details for fire-resistive building construction. *Louis Przetak. Mc.Graw-Hill Book Company. EUA, 1977.*

Tecnología del fuego (2 tomos). *Manuel Pascual Pons. Manuel Pascual Pons. Barcelona, 1977.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 4: Fachadas y cubiertas. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (III)

PATOLOGÍA DE LAS CIMENTACIONES



PATOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

PATOLOGÍA DE LAS CIMENTACIONES

LOS FALLOS: DESCRIPCIÓN Y SINTOMATOLOGÍA.....13

CAUSAS DE LOS FALLOS EN LAS CIMENTACIONES.....27

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO.....57

CRITERIOS DE INTEVENCIÓN EN CIMENTACIONES.....77

PATOLOGÍAS DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN.....151

ESTUDIO DE SUELOS.....179

PATOLOGÍA DE LAS CIMENTACIONES

LOS FALLOS: DESCRIPCIÓN Y SINTOMATOLOGÍA 13

CAUSAS DE LOS FALLOS EN LAS CIMENTACIONES 27

EDIFICIOS VECINOS CONSTRUIDOS EN DISTINTOS MOMENTOS 27

DAÑOS POR CIMENTACIÓN HETEROGÉNEA DE UNA CONSTRUCCIÓN 27

DAÑOS PROVOCADOS POR LOS RELLENOS 28

DAÑOS PROVOCADOS POR EL AGUA 32
(Expansión y contracción de arcillas, Modificación de las condiciones de resistencia del suelo, Daños causados por heladas, Descalces por socavación y erosión, Ataque del medio circundante)

CIMENTACIONES EN TERRENO INESTABLE 43

ERRORES DE PROYECTO, CÁLCULO Y EJECUCIÓN 49

CAUSAS VARIAS 54

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO 57

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA 57

CAMPAÑA DE ENSAYOS 66
(Pruebas no destructivas, Pruebas destructivas, Análisis)

SISTEMAS DE CONTROL 72
(Monitorización estructural, Control de las condiciones ambientales, Adquisición y procesamiento de datos)

CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN CIMENTACIONES 77

INTERVENCIONES SUPERFICIALES 79

REHABILITACIÓN Y CREACIÓN DE SÓTANOS 91

INTERVENCIONES PROFUNDAS 96

INTERVENCIONES SOBRE EL TERRENO 110

CASOS ESPECIALES DE INTERVENCIÓN 126

PROBLEMAS ASOCIADOS CON LA REPARACIÓN DE CIMENTACIONES 131

LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS 143

PREVENCIÓN 148

PATOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN 151

DEFINICIÓN Y TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN 151

FALLOS: CAUSAS Y LESIONES 152

PISCINAS 163

CONSIDERACIONES PREVENTIVAS 171

ESTUDIO DE SUELOS 179

LA DIAGNOSIS DEL TERRENO 181
(Metodologías de inspección, Campañas de ensayos)

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS 187

BIBLIOGRAFÍA 191

LOS FALLOS: DESCRIPCIÓN Y SINTOMATOLOGÍA

Este apartado es el primero de este capítulo que tratará sobre los distintos elementos constructivos. Como su título lo indica, aquí se verán todos los temas relacionados a los fallos de las cimentaciones, la detección de los mismos, el análisis y la intervención en las fundaciones y sistemas de contención dañados.

En este apartado se analizarán los distintos fallos que pueden acontecer a una cimentación y sus síntomas más visibles ya que, en definitiva, son estos últimos los que primero nos advierten del problema. El estudio de los síntomas o lesiones los detallaremos también en el punto sobre diagnosis, dado que la gravedad que supone un problema en la cimentación, merece un análisis detallado del mismo.

Todo edificio con problemas en la cimentación ofrece, tarde o temprano y de forma más o menos manifiesta, unas lesiones o síntomas apreciables a simple vista.

Hay casos en los que se sabe que el edificio puede tener problemas, con lo que se pueden tomar las precauciones oportunas. La observación por técnicos competentes de la aparición de dichas lesiones facilita su inmediata interpretación e intervención.

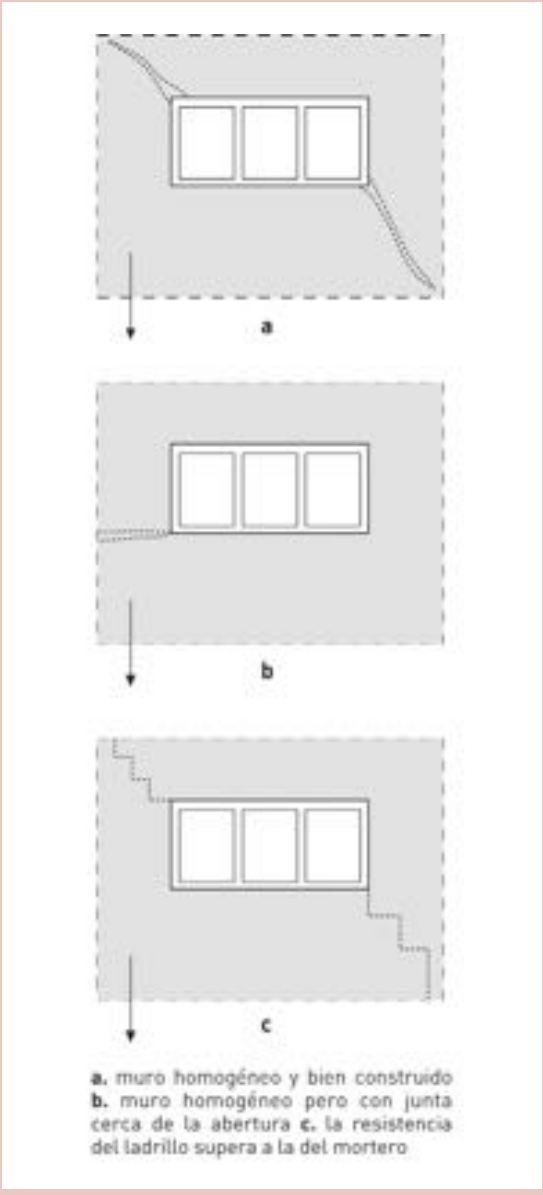
Pero en la mayoría de los casos, el conocimiento de los fallos en la cimentación se produce cuando ya existen daños en el edificio, a veces de gran importancia, con la aparición de lesiones sintomáticas claramente apreciables y detectables por cualquier persona no especializada.

Las lesiones o síntomas de fallos en una cimentación, pueden adoptar la siguiente tipología:

- **ASIENTOS UNIFORMES O DIFERENCIALES.**
- **LEVANTAMIENTOS.**
- **DESPLOMES.**
- **GIROS.**
- **CEDIMIENTO DE SOLERAS.**
- **DESPLAZAMIENTOS.**
- **DEGRADACIONES DE LOS MATERIALES COMPONENTES POR ATAQUE DEL MEDIO.**
- **COLAPSOS PARCIALES O TOTALES.**

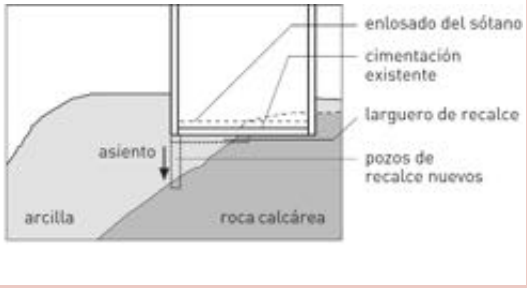
SUELO	CARACTERÍSTICAS
Granulares (arenas y gravas)	Partículas de gran tamaño
	Falta de enlazabilidad (sin estructura)
	Rozamiento entre sus partículas
Arcillosos (arcillas y limos)	Inalterables frente a las variaciones de humedad
	Partículas de pequeño tamaño
	Estructura en panal o floculada
	Partículas enlazadas por cohesión
	Se ven afectados por la humedad (hinchamientos y mermas)

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS



a. muro homogéneo y bien construido **b.** muro homogéneo pero con junta cerca de la abertura **c.** la resistencia del ladrillo supera a la del mortero

Fisuras y grietas en un muro por causa de asientos de la estructura.



Intervención en la cimentación de una casa sobre terreno heterogéneo.

Estos síntomas, que a menudo aparecen varios a la vez, necesitan un cuidadoso y metódico estudio, apoyado en una precisa medición de su forma e intensidad. Los valores absolutos de estos síntomas y su variación en el tiempo son fundamentales para comenzar su reconocimiento. Si se trata de problemas en la cimentación, la actuación recaerá no sólo en la reparación de los daños producidos por el fallo, sino también en la eliminación de las causas del mismo.

Las fisuras y grietas son, casi sin lugar a dudas, los primeros síntomas de algún fallo o problema en la cimentación. Son las primeras en aparecer seguidas, tarde o temprano, por otras sintomatologías.

Al estudiar las grietas y fisuras producidas en una edificación, hemos de hacer las siguientes consideraciones:

- **SU SITUACIÓN Y SU FORMA.**
- **HACIA DÓNDE SE ABREN O SE CIERRAN.**
- **SI LAS PARTES A LOS COSTADOS DE LA GRIETA O FISURA CONSERVAN EL MISMO PLANO**, o bien una baja más que la otra, o incluso si se registra una pérdida de la verticalidad.
- **SI ESTÁ O NO ESTABILIZADA**, o sea, si sigue creciendo o no.

Poco se puede decir en el caso de un edificio parcial o totalmente colapsado, ya que lo que se busca evitar es lo que ya ha sucedido. En el caso de un colapso parcial, se evaluarán los daños producidos al resto de la edificación, se analizarán las causas de dicho colapso y finalmente, se juzgará la posibilidad o no de mantener en pie el resto del edificio.

LEVANTAMIENTO: o ascenso de los edificios por subpresiones del terreno, es otro fallo poco frecuente. El estudio de este acontecimento se circunscribirá al caso de las piscinas, a los edificios de escaso peso –tinglados y naves industriales– y a las soleras simplemente apoyadas de algunas edificaciones, ya que en la mayoría de los edificios su peso propio alcanza para contrarrestar esta circunstancia.

En el apartado sobre piscinas se verá el oportuno refuerzo de las losas que son sometidas a este tipo de acción mecánica y que tiene como origen la saturación hídrica del terreno de cimentación.

DESPLAZAMIENTOS de edificios: se estudiarán en relación al terreno y sus características. Por ahora adelantamos que las posibles causas de este problema se pueden deber a una cimentación en terreno inestable o a problemas geotécnicos a gran escala.

ESTRUCTURA	SUELO	ASIENTO
Obras monumentales de estructura muy rígida (piedra)	Arenas Arcillas y limos	12 mm 25 mm
Estructuras hiperestáticas de hormigón y de acero con cerramientos rígidos	Arenas Arcillas y limos	30 mm 50 mm
Estructuras isostáticas de hormigón y de acero y cerramientos flexibles Muros de obra de fábrica	Arenas Arcillas y limos	50 mm 75 mm

LÍMITES DE ASIENTO DE ACUERDO CON LA TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA Y CON EL TIPO DE SUELO

ASIENTOS

ASIENTO: es el movimiento más común de un edificio afectado por fallos en su fundación. Se define por asiento o asentamiento, la consolidación bajo carga de un suelo. Esta consolidación dependerá del tipo de suelo y, por tanto, de la deformación máxima a asumir por éste, y del tiempo necesario para alcanzar la misma.

Los asientos tienen una sintomatología típica en las grietas o fisuras que puedan aparecer tanto en estructuras de muros de carga como en estructuras reticuladas de madera, acero u hormigón armado.

Por lo que hace a los edificios con estructura y con cerramientos de materiales de comportamiento pétreo –piedra, mahón, bloque de mortero– y a la vez homogéneos, las lesiones típicas son coincidentes con las líneas isostáticas de compresión. Esto nos permitirá, según la situación y la dirección de la lesión, determinar qué tipo de asentamiento la ha provocado.

Por otro lado, los asientos en estructuras reticuladas se traducirán en deformaciones y roturas de los nudos. Depende de si la estructura está planteada de forma isostática o hiperestática y del tamaño de la misma, que estas lesiones puedan ser de menor o mayor envergadura.



La parte indicada ha descendido con respecto al resto del muro produciendo la grieta.



Una parte del muro desciende mientras que el resto de la edificación permanece inmóvil.





En un asiento diferencial el edificio puede descender por partes con la aparición de grietas características (izquierda) o bien girar monolíticamente sobre un eje (derecha).

Si los asentamientos son de recorrido corto, la solicitación que predomina es el esfuerzo cortante, pero si los asentamientos son de recorrido largo los esfuerzos normales son la solicitación predominante.

Se deben distinguir dos tipos de asentamiento: los de conjunto, uniformes o totales y los diferenciales o parciales. Estos últimos se refieren a la diferencia de asentamientos entre los cimientos de una misma edificación o estructura.

ASIENTOS DIFERENCIALES: –producidos en zonas localizadas del edificio– son los más problemáticos, ya que, al quedar parte de los cimientos sin el apoyo suficiente, el edificio debe deformarse y acoplarse a la nueva forma de sustentación. Generalmente, la estructura no tolerará esta deformación y se producirá la rotura, manifestada en grietas y fisuras.

No se debe confundir las grietas y fisuras producidas por los asentamientos con las producidas por los desplazamientos. Los asentamientos, como ya se ha dicho, son deformaciones verticales, mientras que los desplazamientos son deformaciones horizontales. Sin embargo, no se debe descartar la posibilidad de que ambos movimientos se produzcan simultáneamente.

ASIENTO DIFERENCIAL

El hecho de que las presiones que produce una fundación no quedan localizadas a pocos centímetros debajo de la misma, sumado a que la determinación de la carga admisible de trabajo de un suelo es una ciencia con cierto grado de imprecisión, hace que los asientos sean prácticamente imposibles de evitar, aunque sí se pueden predecir. Sobre estas predicciones trabajan tanto los estudios de suelos como los cálculos estructurales.

Así se explica que cuando dos zapatas de distintas medidas que transmiten igual presión sobre el suelo donde descansan, la mayor experimentará el descenso más acusado.

Por lo tanto, si a nivel estructural no se han tomado las medidas pertinentes, los asientos diferenciales implicarán grietas importantes en la construcción.

Cualquier fallo en verticalidad de un edificio –y más si éste es alto y estrecho – conlleva el desplazamiento de su centro de gravedad y, por consiguiente, la aparición de solicitaciones inesperadas e irregulares en las superficies de sustentación del suelo.

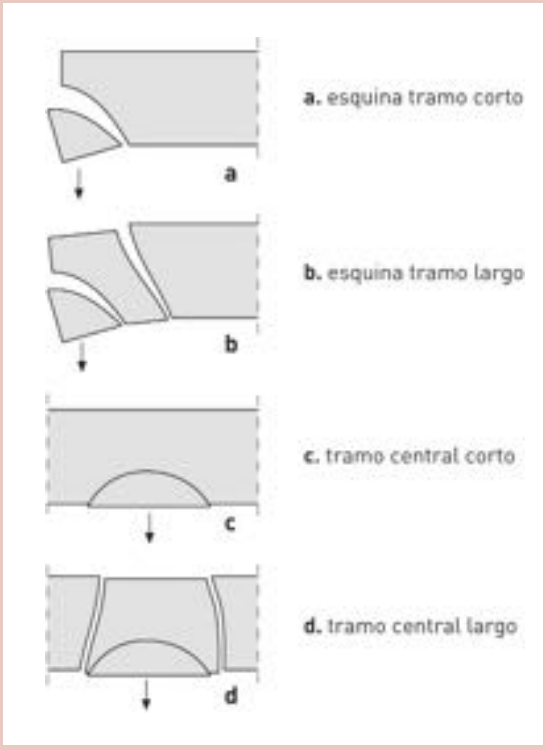
Esto puede provocar un asiento progresivo de predicciones incalculables.

Los asientos diferenciales pueden exhibir aspectos distintos:

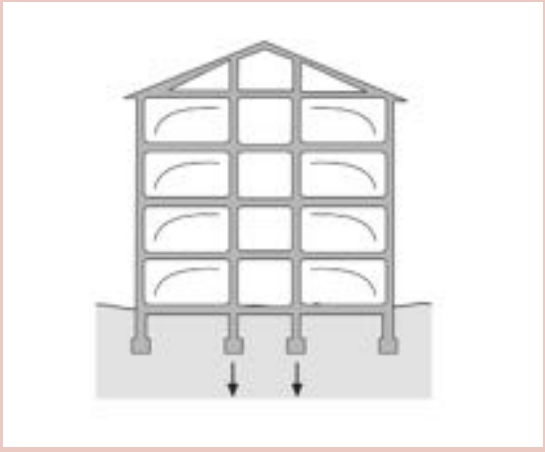
- **FISURAS INCLINADAS EN ESTRUCTURAS ENDEBLES** (muros de ladrillo, por ejemplo).
- **ABERTURA DE LAS JUNTAS EN ESTRUCTURAS RÍGIDAS** (la junta entre dos estructuras de hormigón armado se va ensanchando hacia arriba).

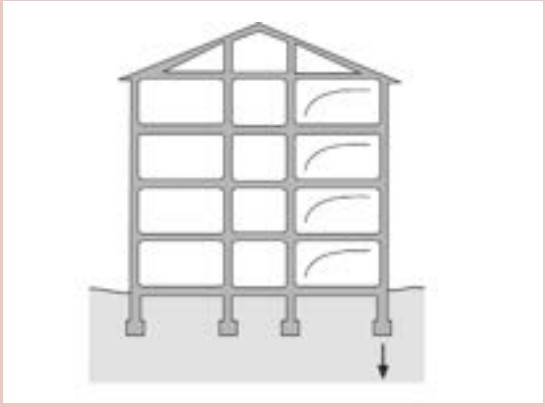
Se estima que las grietas aparecen en una pared de ladrillo de reciente construcción cuando sus dos extremos sufren una desnivelación relativa comprendida entre 1/500 y 1/1000 de la luz entre ambos.

Ante la posibilidad de asientos diferenciales caben dos soluciones que eviten las fisuras:



Lesión por asiento.





Lesiones en muros no portantes por asiento de la estructura porticada.

- **EMPLEAR ESTRUCTURAS LIGERAS** como, por ejemplo, una estructura metálica. Si bien con esta medida no se eliminan los asientos diferenciales, por lo menos se limitan sus efectos.

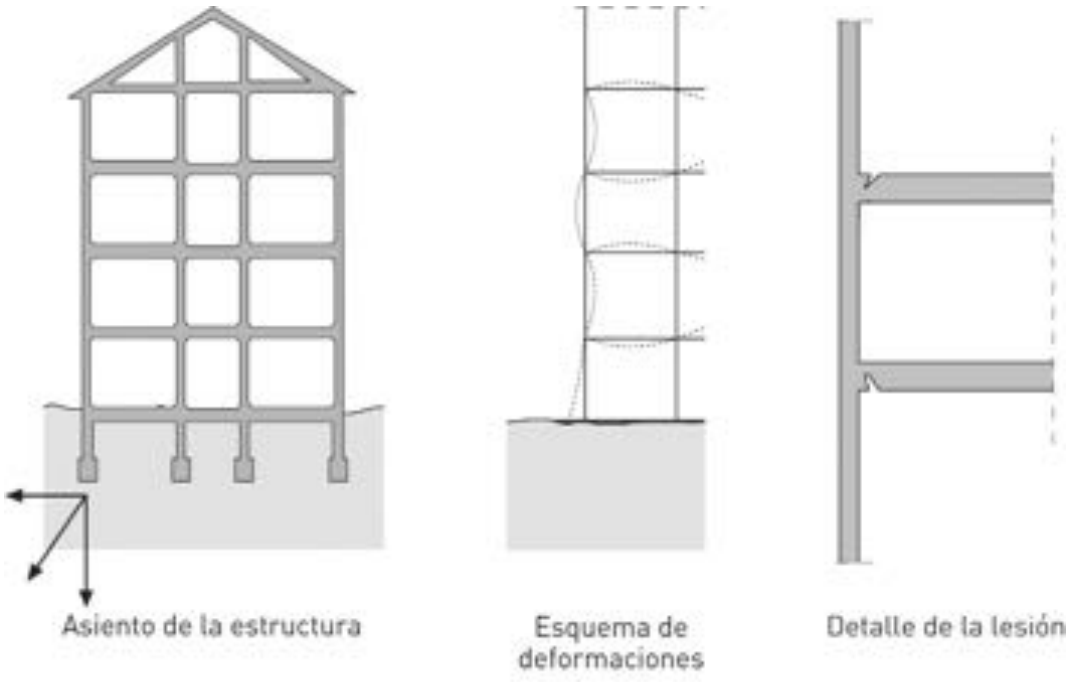
- **CONCEBIR ESTRUCTURAS RÍGIDAS Y RESISTENTES** que eviten el asiento de un apoyo respecto a otro, cosa que se consigue conectando los puntos de apoyo de la fundación por vigas de reparto poco deformables.

  Los muros del sótano de hormigón armado cumplen esta función de manera satisfactoria.

ASIENTO DE CONJUNTO

Si por recurrir a alguna de las soluciones anteriores se impide cualquier asiento diferencial, no hay que olvidarse que la construcción se comportará finalmente como una cimentación única, más o menos pesada, y por lo tanto, causante de un ***ASIENTO DE CONJUNTO***.

Si la capa compresible del suelo tiene espesor constante y la construcción no es más pesada en un extremo que en otro –es decir, si el centro de gravedad de las cargas está cerca del centro de gravedad de los cimientos–, el edificio se asentará regularmente sin perder su verticalidad. En caso contrario, se producirá un asiento parcial –diferencial– y el edificio perderá su perpendicularidad con respecto al suelo.



Asiento diferencial en estructura porticada.

Asimismo, toda construcción está unida al exterior por redes de canalización de servicios que, de sufrir asientos, supondrán la aparición de roturas en el corto plazo y la aparición de problemas relativos a esto.

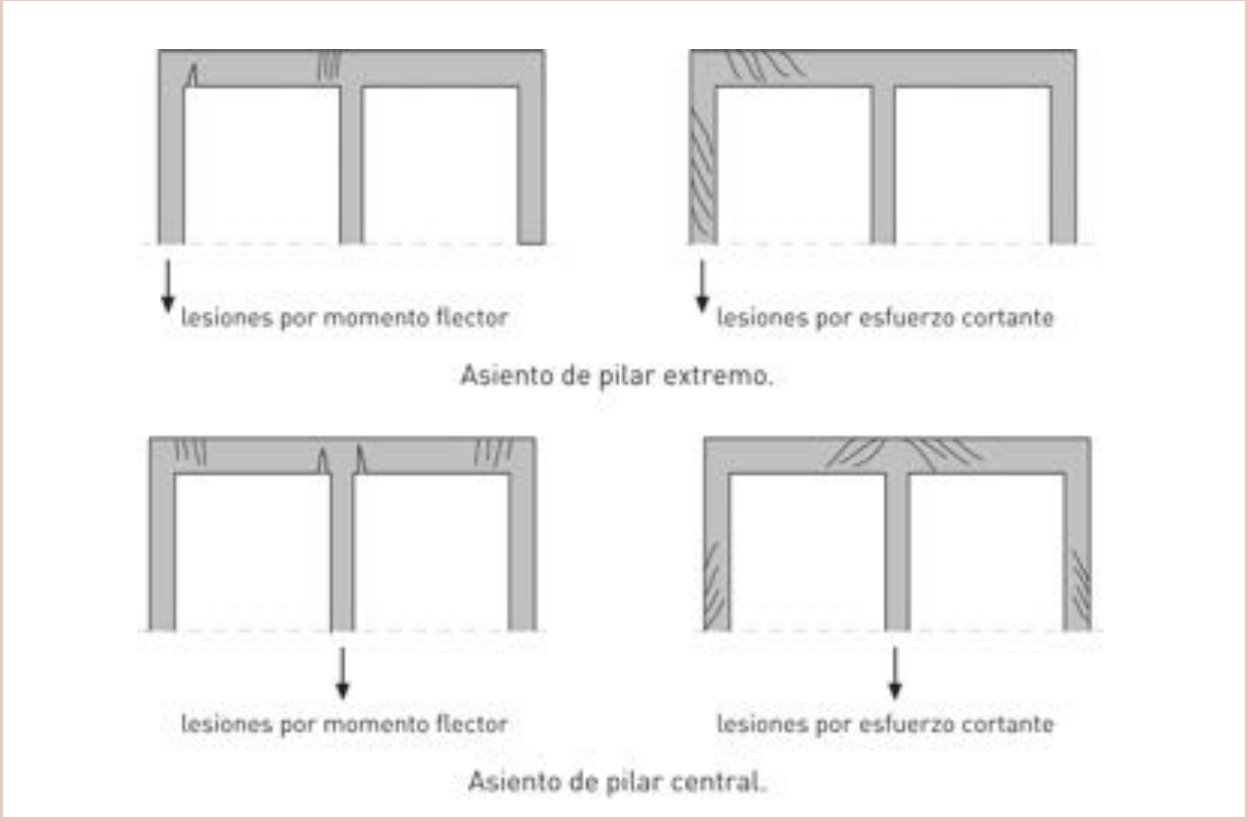
En apartados siguientes se verá, por ejemplo, como la variación del contenido de humedad del terreno de cimentación es una causa común de asientos parciales o totales.

Desconocer el comportamiento de los terrenos de cimentación tiene consecuencias graves y se presenta bajo diversos aspectos. Muchos de ellos se estudiarán a continuación, pero valen como recordatorio los siguientes:

- **OLVIDAR EL PROBLEMA DE LOS ASIENTOS**, prestando atención únicamente a la carga de trabajo del suelo, conduce a la ausencia de estudios geotécnicos y a la falta de interés por la presencia de capas de terreno compresibles.

- **LA INFLUENCIA DE LAS TIERRAS DE RELLENO.**

- **OLVIDAR QUE EL TERRENO ARCILLOSO Y COMPACTO SOBRE EL QUE SE CONSTRUYE EN PERÍODO SECO**, puede modificar sus características por posibles intervenciones del agua, a no ser que se tomen precauciones.



Lesiones sobre estructura porticada por asiento de un pilar.

- **OLVIDAR QUE LAS ZAPATAS AISLADAS Y LOS PILOTES AISLADOS** no ejercen solicitaciones en igual espesor de suelo que las zapatas próximas o agrupaciones de pilotes (suma de cargas).

De lo anterior se deduce que bastaría practicar un somero estudio geotécnico para evitar la mayoría de los errores que se producen. Dicho estudio comprende la investigación de los suelos y la interpretación de los resultados en relación con el proyecto que impulsó estos trabajos.



Asientos extremos del muro.



Lesiones en muros de fábrica por asientos irregulares o diferenciales.



Los asientos difrenciales pueden producir muchas grietas situadas a intervalos regulares y con la misma dirección. Éstas nos indican las partes más sensibles del edificio. ⇩ asiento.

Además, para que sea verdaderamente eficaz, el contenido del estudio geotécnico informará al constructor respecto al tipo de fundación más adecuado a la edificación y según la naturaleza del terreno sobre el que se levantará.

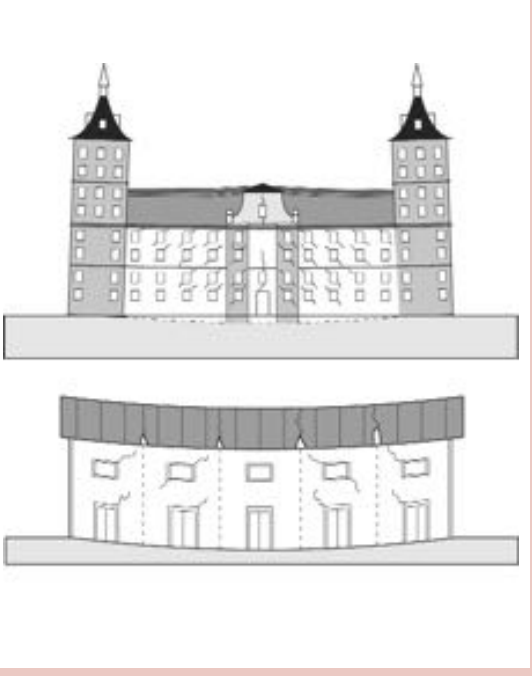
Dado la importancia de estos estudios geotécnicos, se dedicará un apartado para profundizar sobre la conveniencia de realizarlos y sus errores más comunes.



Asientos centrales del muro.



La grieta sigue el camino de juntas y ladrillos en este asiento diferencial del muro portante. ⇩ asiento.



Deformación cóncava de edificios de baja rigidez longitudinal.

SINTOMATOLOGÍA DE LOS ASIENTOS

Las grietas y fisuras son las primeras manifestaciones de los asientos. Su interpretación es fundamental para saber qué está sucediendo y, por lo tanto, para encarar las tareas de reparación.

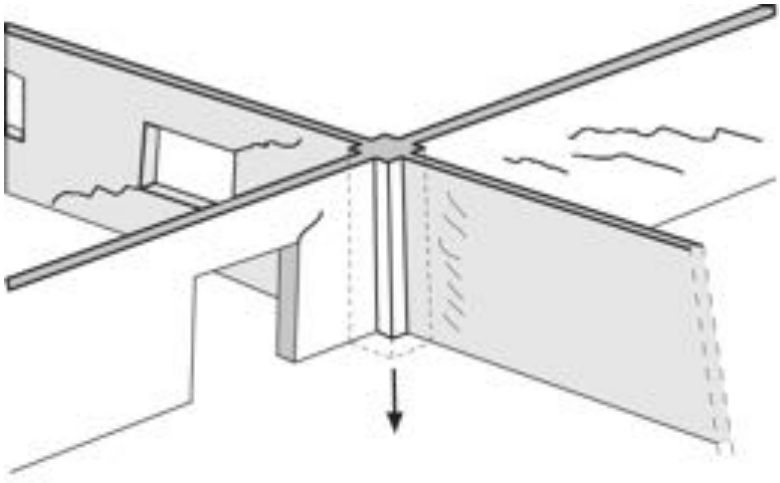
Cada grieta o fisura y el conjunto de ellas en general, responden a patrones detectables según el material base sobre el que se producen, su ubicación en la edificación, su dirección y forma.

De esta manera, es posible realizar una «cartografía» o descripción previa característica de la probables aberturas con las que nos podemos encontrar frente a un cimentación con problemas.

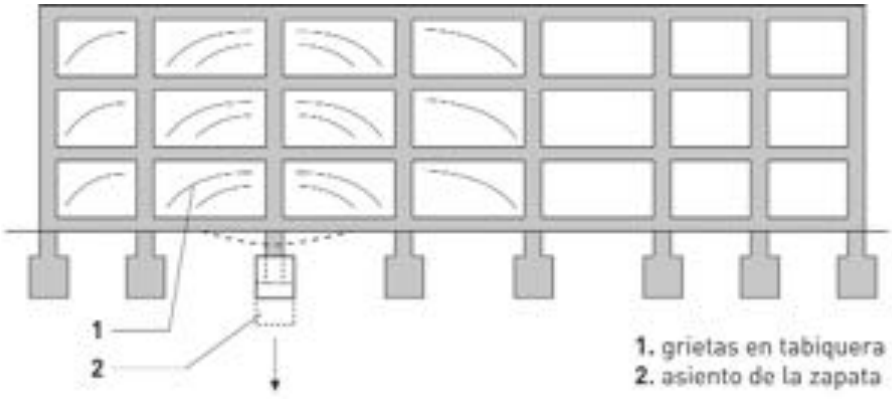
ASIENTOS INTERMEDIOS EN MUROS

Si en muros de cierta longitud existen fallos en su zona central, ésta se quedará parcialmente descolgada, funcionando el muro en esa zona como una viga que no admite apenas tracciones. Se romperá, en consecuencia, allí donde las tensiones de tracción producidas superen el escaso límite admisible para las obras de fábricas.

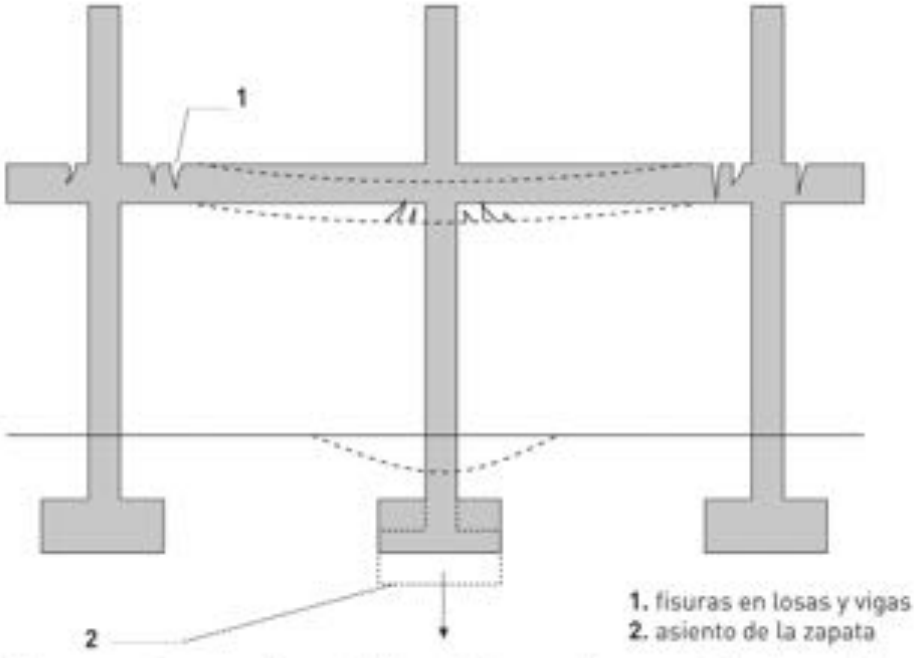
Los diferentes problemas de cimentación que afectan a muros de carga, con o sin hueco, dan una tipología de grietas que no ofrece lugar a dudas. Si las fábricas son de mala calidad, construidas con morteros pobres y con una trabazón deficiente, las grietas pueden llegar a ser verticales por el fácil deslizamiento del muro ante la falta de apoyo.



Lesiones en la tabiquera adyacente a un pilar que sufre un descenso.



Grietas en tabiquera por asiento de un pilar en pórticos de hormigón armado.



Fisuras en vigas continuas de hormigón armado por asiento de un pilar.

Síntomas del asiento de una zapata aislada en una estructura porticada de hormigón armado.

ASIENTOS EXTREMOS EN MUROS

El muro que queda en voladizo por sus extremos, antes de su rotura y debido a las tracciones excepcionales que se producen en esa situación, desarrolla unas grietas con dirección perpendicular a dicho esfuerzo de tracción.

ASIENTOS DE LOS MUROS TESTEROS

Si la traba en la esquina donde se encuentran dos muros no es correcta, el testero puede llegar a desprenderse de las fachadas produciendo una grieta vertical primero y alcanzando el consiguiente desplome después.

ASIENTO DE UNA ESQUINA

Los cedimientos que se producen en los muros de fábrica en los extremos y esquinas son más peligrosos que otros, pues al producirse la rotura no pueden contar con ningún contrarresto del propio edificio. En estos casos es pues mayor el peligro de avance de los daños si no se actúa rápidamente en su reparación.

ASIENTOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Las estructuras de hormigón armado son, en la mayoría de los casos, monolíticas, con pórticos de vigas, pilares y forjados continuos.

El cedimiento de una zapata produce unos esfuerzos excepcionales en la estructura que, por su continuidad, repercuten en toda ella, dando lugar a tensiones en determinadas secciones que no las toleran, lo que origina la aparición de fisuras.

También pueden aparecer grietas de aplastamiento del hormigón en la zona comprimida de la viga o producirse en una columna la rotura frágil por pandeo o excesivo esfuerzo de corte.

Cuando existe tabiquería en el plano del pórtico, la deformación producida en el mismo por efecto del cedimiento de una zapata no será tolerada, y los tabiques se romperán apareciendo grietas con dirección perpendicular a las tracciones.

ASIENTOS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

Los pórticos de acero varían en cuanto a que sus vigas pueden ser continuas o con apoyo simple o semiempotrado en los pilares. Por tanto, ante el asiento de una de sus zapatas, las vigas simplemente apoyadas girarán sin que cambie su forma de trabajo.

Las vigas continuas, sin embargo, sí verán alterada su forma de trabajo (como en los pórticos de hormigón armado) y las semiempotradas en menor grado por no ser el nudo tan rígido. En cualquier caso, la rotura tarda más en aparecer y cuando lo hace hay un mayor riesgo de colapso. Por lo antedicho, el fallo de la cimentación se manifiesta primero en la tabiquería y en la inclinación de las cubiertas.

ASIENTOS EN ENTRAMADOS DE MADERA

Los edificios con estructura entramada de madera, como es el caso de muchas construcciones antiguas, admiten con menor riesgo las deformaciones producidas por asientos en la cimentación, ya que se trata de estructuras isostáticas con nudos prácticamente articulados.

Se debe insistir en que un cedimiento estructural puede no tener su origen en la cimentación, sino también en la propia estructura, casi siempre en la planta inferior donde radican las piezas más cargadas.

Por supuesto que las grietas y fisuras que aparecen por esta causa son iguales a las estudiadas para problemas de cedimientos en la cimentación y vienen originadas por aplastamiento de muros de carga o colapso de pilares sobrecargados.

DESPLOMES

Los desplomes o pérdida de verticalidad es el síntoma más evidente de problemas de asiento en un edificio. No es el primero en aparecer ya que, como se ha señalado, la primera sintomatología son las grietas y fisuras, pero los desplomes son, sin duda, la primera advertencia grave en el caso de que un cimiento hubiese cedido.

Tanto en edificios aislados como en juntas de dilatación en el mismo edificio o entre distintas construcciones, los desplomes o la inclinación vertical máxima admisible se calcula en alrededor de un 1/750 de la altura total del edificio. La separación que impone la junta entre edificios, precisamente evita que un edificio se pueda apoyar sobre otro.

CAUSAS DE LOS FALLOS EN LAS CIMENTACIONES

Este punto trata específicamente sobre las causas más habituales de los fallos de las cimentaciones. El mismo no pretende ser exhaustivo ya que las causas que producen fallos son muchas y algunas de ellas permanecen desconocidas hasta hoy en día.

Por lo tanto, a lo largo de este apartado se verán desde los errores más comunes en el cálculo y ejecución de las cimentaciones hasta los factores más sutiles de degradación de las fundaciones.

EDIFICIOS VECINOS CONSTRUIDOS EN DISTINTOS MOMENTOS

Una vez concluida una obra, el terreno que se halla bajo la cimentación tarda más o menos tiempo en asentarse definitivamente.

Los suelos permeables –arenas y gravas– se asientan casi instantáneamente y las arcillas, muy poco permeables, pueden tardar un año o incluso más.

Por lo tanto, si se construye un edificio unido a otro levantado con anterioridad, el efecto de asentamiento del suelo bajo la acción de las cargas del nuevo puede, por interacción, provocar el descenso del terreno en que descansan los cimientos del edificio existente con consecuencias negativas.

Es un error ampliamente extendido creer que basta con prever una junta de asentamiento entre ambos edificios para evitar cualquier problema. La cuestión es más compleja, y es suficiente que la nueva cimentación discurra paralela a lo largo de la otra para que se produzcan fisuras en paredes y tabiques contiguos a la medianera.

Si la edificación más antigua tiene una cimentación superficial que descansa en un terreno compresible, existen dos planteamientos de antemano:

- **CIMENTAR EL MURO LIMÍTROFE LO MÁS LEJOS POSIBLE DE LA EDIFICACIÓN ADYACENTE**, medida que influye en aspectos técnicos y económicos, dado que la parte del edificio más allá de los cimientos queda falta de apoyo o en voladizo.

- **CIMENTAR MEDIANTE PILOTES SIN CONEXIÓN ALGUNA CON EL EDIFICIO ANTIGUO.**

DAÑOS POR CIMENTACIÓN HETEROGÉNEA DE UNA CONSTRUCCIÓN

En el ámbito de las construcciones de cierta envergadura es frecuente que algunas posean sus cimentaciones a cotas por debajo de otras, de manera que se encuentren suelos de distinta naturaleza. Por lo tanto, se plantea una heterogeneidad que es la correspondiente al terreno en relación con la obra construida.

Es posible que haya edificios de gran carga con poca capacidad de deformación, que requieren cimentaciones profundas si el terreno superficial es de calidad mediocre.

También es posible que haya edificios muy ligeros, poco rentables de cimentar en profundidad, susceptibles de descansar en niveles superficiales si se toman algunas precauciones elementales.

De cualquier manera, entre las distintas construcciones es imprescindible que haya una total independencia para evitar presiones sobre las fundaciones que puedan provocar el asiento parcial de alguna de ellas.

Incluso en construcciones de menor importancia también suelen concurrir cimentaciones heterogéneas.

Edificaciones con sótanos en parte de su planta, construcciones en terreno en pendiente, edificios con su carga repartida de manera poco uniforme son parte de la lista de construcciones que requerirán distintos niveles y tipos de fundaciones y, por lo tanto, se debe estudiar detenidamente la cimentación óptima para cada caso.

Las dimensiones de tales obras permiten, algunas veces, la inclusión de juntas. Los riesgos de asentamientos diferenciales se reducen elevando la rigidez de estructura.

DAÑOS PROVOCADOS POR LOS RELLENOS

Los materiales de relleno pueden dar origen a dos tipos de daños:

- **PROBLEMAS QUE APARECEN POR NO TOMAR LAS DEBIDAS PRECAUCIONES** frente a la compresibilidad y, eventualmente, la heterogeneidad del material de relleno que se utilizará como suelo de cimentación.

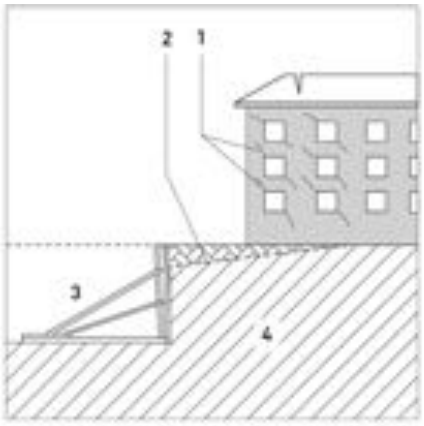
- **SOBRECARGA DEL TERRENO NATURAL POR EL PESO DEL RELLENO DEPOSITADO SOBRE ÉL**. Por consiguiente, si el suelo es compresible es probable que resulten asentamientos en las cimentaciones vecinas. Si el terreno natural es de escasa calidad –limo, arcilla blanda–, pueden desencadenar también movimientos de deslizamiento.

Ejecutar cimentaciones sobre vertedero conlleva siempre un riesgo, más aún cuando:

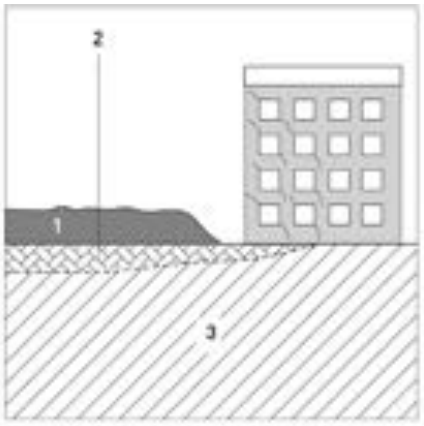
- **EL RELLENO ES RECIENTE.**
- **EL RELLENO ES DE ESPESOR VARIABLE.**
- **LA CIMENTACIÓN SE REALIZA DE FORMA PARCIAL SOBRE EL RELLENO**, es decir, cimentación heterogénea.
- **EL RELLENO ESTÁ SUPERPUESTO A TERRENOS COMPRESIBLES E INESTABLES.**

Las edificaciones de cierta envergadura construidas sobre vertedero se asentarán tanto más cuanto mayor sea el espesor de este último. Respecto al vertedero de espesor variable cabe, pues, esperar asentamientos diferenciales.

Asientos en terreno arcilloso originados por una excavación.



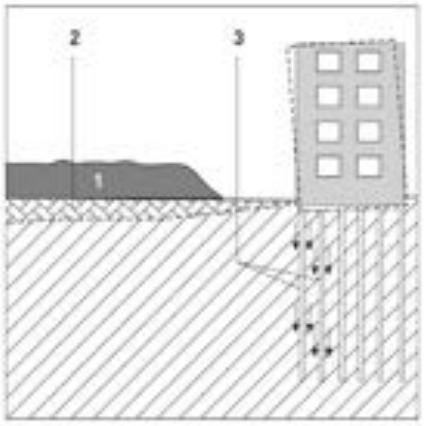
1. grietas 2. asiento de terreno 3. excavación bien entibada 4. terreno arcilloso



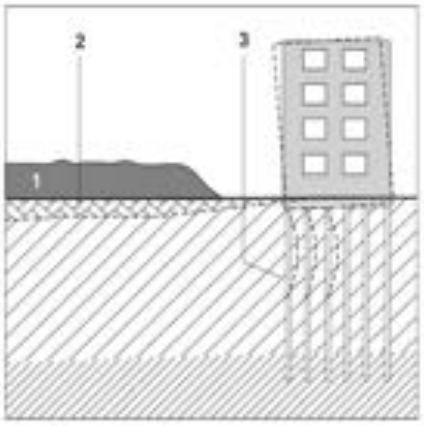
1. relleno 2. asiento 3. suelo compresible

Rellenos junto a cimentaciones superficiales.

Rozamiento negativo en pilotes flotantes por efecto de un relleno exterior.



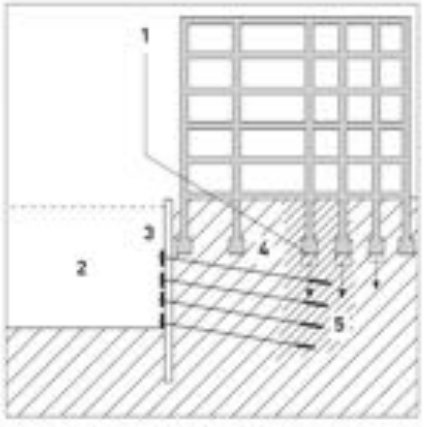
1. relleno 2. asiento 3. pilotes flotantes



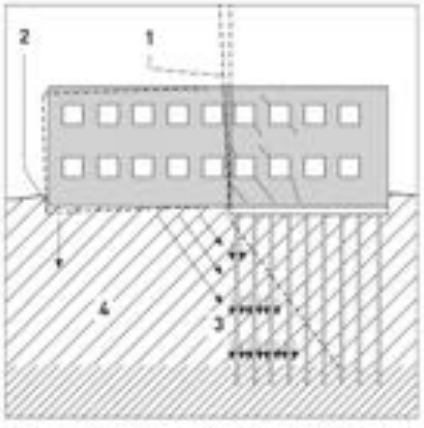
1. relleno 2. asiento 3. empuje lateral a los pilotes

Empuje lateral en pilotes por efecto de un relleno exterior.

Descompresión del terreno por efecto de anclajes.



1. asiento de zapata 2. excavación 3. muro pantalla 4. anclajes 5. zona descomprimida



1. abertura 2. asiento 3. pilotes con rozamiento negativo 4. arcillas

Cimentación por losa junto a pilotajes.

Alteración de las condiciones de equilibrio del suelo de fundación.

En la actualidad se edifica en terrenos hasta el momento abandonados por ser poco apropiados para la construcción, ya sea por ser inundables o anegadizos. Esta situación es muy corriente en numerosas zonas industriales situadas en antiguas áreas pantanosas o aluviales.

Con el propósito de preservar los terrenos del peligro de las inundaciones, y para brindar a los usuarios un soporte adecuado, es habitual proceder a rellenos que alcanzan considerable espesor.

En muchas ocasiones el relleno se ejecuta con suma atención, compactado convenientemente y con la participación de equipo de gran potencia, pero a veces esto no es así y aquí comienzan los problemas.

Según su compacidad, la altura del relleno puede oscilar entre 1,5 y 1,8 m, lo que significa que la adición de una capa de un metro al terreno natural comporta una sobrecarga de 1.500 a 1.800 kg/m^2, es decir, una presión de 0,15 a 0,18 kg/cm^2.

Esto quiere decir que una superficie de relleno de 20 x 20 m implica a 5 m de profundidad, el 91 % de la presión que sobre el terreno natural se ejerce.

De aquí se puede inferir que cuando se trata de un terreno natural compresible –turba, limo blando o arcilla con alto contenido de agua– bastará el propio peso del relleno para dar lugar a asientos importantes.

Es posible concluir, entonces, que la construcción en suelos muy compresibles es del todo desaconsejable por la sobrecarga que se aplica. Las capas de vertido pueden desencadenar el hundimiento de:

- **LAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES**, cuando descansan sobre una capa compresible sobrecargada por el relleno o cuando, superpuestas a una capa resistente, ésta hace otro tanto sobre otra más blanda.

- **LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS**, cuando están ancladas a una capa resistente superpuesta a otra compresible.

Estos asentamientos, además, pueden tener consecuencias indirectas en los pilotes en forma de rozamiento negativo, el cual se describe a continuación.

ROZAMIENTO NEGATIVO

Si a un terreno inconsistente, que es atravesado por un pilote que busca apoyarse en una capa de suelo resistente inferior, se le deposita encima un relleno de gran espesor, se producirá un asiento tanto del relleno como de la capa blanda de terreno no consolidada. Esta compresión da lugar a esfuerzos de rozamiento sobre el fuste del mencionado pilote cuya dirección es principalmente hacia abajo.

A dicha componente de rozamiento se le denomina «rozamiento negativo» y se suma a la carga que la obra construida transmite al pilote.

Cuanto mayor la envergadura de la obra construida, mayor son los asientos que deben esperarse y, por lo tanto, mayor resulta el «rozamiento negativo».

Si la capa en que se ancla el pilote es suficientemente compacta y gruesa, el rozamiento negativo no tiene otro efecto, por lo general, que la reducción del coeficiente de seguridad de cálculo, sin que por ello se produzcan asientos apreciables.

Por el contrario, si la capa compacta sustentante no presenta suficiente espesor y se extiende sobre suelos compresibles, la sobrecarga de los pilotes, debida a este «arrastre» o rozamiento negativo y añadida al peso propio del relleno, es capaz de provocar el descenso de la capa resistente o la rotura de los pilotes por el moviiento de las capas inferiores.

Si se trata de un pilote flotante, es decir, si la práctica totalidad de la capacidad portante del mismo proviene del rozamiento lateral –sistema utilizado en caso de terrenos de arcillas medianamente compactas–, los efectos del rozamiento negativo pueden determinar asientos excesivos y una reducción inaceptable del coeficiente de seguridad.

Cuando se sospeche que puedan surgir rozamientos negativos, conviene tener presentes algunas medidas preventivas. Por ejemplo, en la fase de proyecto, se brindará a los constructores un informe preciso no sólo de los espesores de relleno, sino también de las máximas sobrecargas en los terraplenes.

Asimismo, la elección del tipo de pilotes puede o bien no tomar ninguna precaución específica para intentar reducir el rozamiento negativo, o bien se puede tender a disminuir o eliminar el rozamiento negativo realizando el fuste del pilote lo más liso posible en la zona donde se produce este rozamiento.

Cuando un terreno se cubre parcialmente con material de relleno, las condiciones iniciales de presión se alteran y se favorecen los deslizamientos cuando el suelo es inconsistente.

Lo mismo sucede en terrenos arcillosos con pendiente ya que si la cimentación está dentro de la zona de deslizamientos resultará afectada por el movimiento.

En el caso de cimentaciones superficiales, el edificio se desplazará o dislocará. En esta situación el comportamiento de los pilotes tiende más bien a la deformación o a la rotura por el desplazamiento lateral del terreno.

DESPLAZAMIENTO LATERAL: Este fenómeno es menos conocido por los constructores que el rozamiento negativo y a menudo genera perturbaciones importantes.

Se comprende, finalmente, que la construcción sobre rellenos es viable sin excesivos riesgos cuando el relleno es homogéneo y de espesor constante en suelo compacto, y las construcciones que se levantan sobre ellos tienen dimensiones en planta que predominan respecto a su altura y cuya estructura sea suficientemente rígida.

Por el contrario, conviene desconfiar en los casos que el relleno tiene desigual espesor, o se superponga a capas muy compresibles o esté en terrenos en pendiente. Si ocurre alguna de estas circunstancias no debe actuarse sin un previo estudio exhaustivo del problema y sin estar seguro de la estabilidad de toda la construcción en función de los asientos previsibles.



Este muro medianero no ha podido soportar el descenso parcial y ha colapsado bruscamente. asiento.

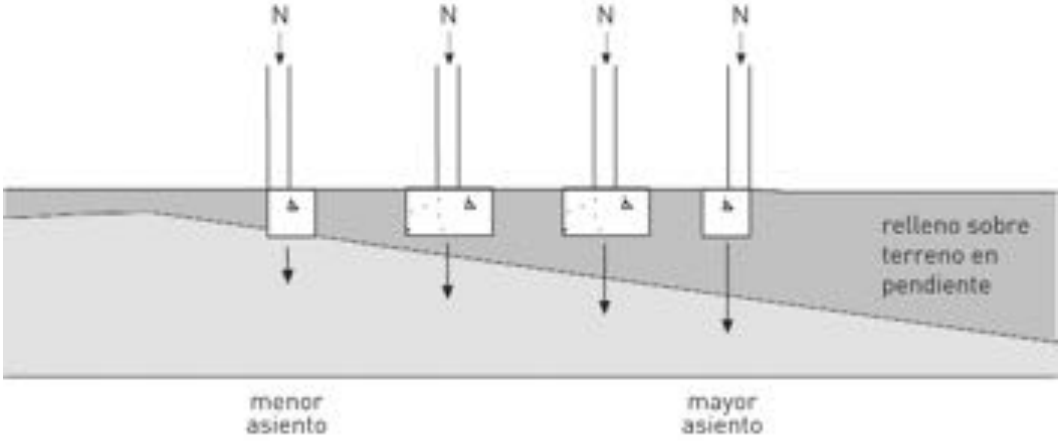
DAÑOS PROVOCADOS POR EL AGUA

Como se verá en el apartado sobre composición de los suelos, el agua es uno de los elementos componentes de los mismos y tiene especial relevancia en ciertos casos.

La variación del contenido de humedad hace que cambien las características del suelo, cuya alteración por este motivo puede producir daños en el edificio por asientos o empujes no previstos.

El origen de la variación del contenido de humedad de un suelo puede provenir de:

- **CAMBIOS EN EL NIVEL FREÁTICO** debido a la influencia de nuevas construcciones en el entorno.
- **ROTURAS O ESCAPES DE CONDUCCIONES SUBTERRÁNEAS DE AGUA O DESAGÜES**, originados en el propio edificio o en las cercanías del mismo.



Situación que lleva indefectiblemente a asientos diferenciales.

- **EJECUCIÓN O ELIMINACIÓN DE POZOS DE BOMBEO O DRENAJES.**

- **RIEGO EXCESIVO DEL TERRENO DEL ENTORNO O LA EXISTENCIA DE ARBOLADO** cuando tenemos cimentaciones someras sobre arcillas.

- **RIADAS E INUNDACIONES.**

Las grandes riadas o desbordes de ríos producen empujes hidrodinámicos sobre elementos estructurales y fenómenos de degradación pero además dan lugar al colapso de suelos arenosos, reducción en la capacidad portante del terreno, asientos diferenciales, descensos generalizados, deslizamientos y rotura de redes de saneamiento.

Incluso son a menudo los rellenos los culpables de las inundaciones. Primero, y en especial en terrenos empinados, porque el relleno puesto alrededor de un edificio para completar el vacío de excavar la cimentación constituye con frecuencia un drenaje natural sin salida donde se acumulan las aguas, hecho que altera las condiciones del terreno que rodea la nueva construcción.

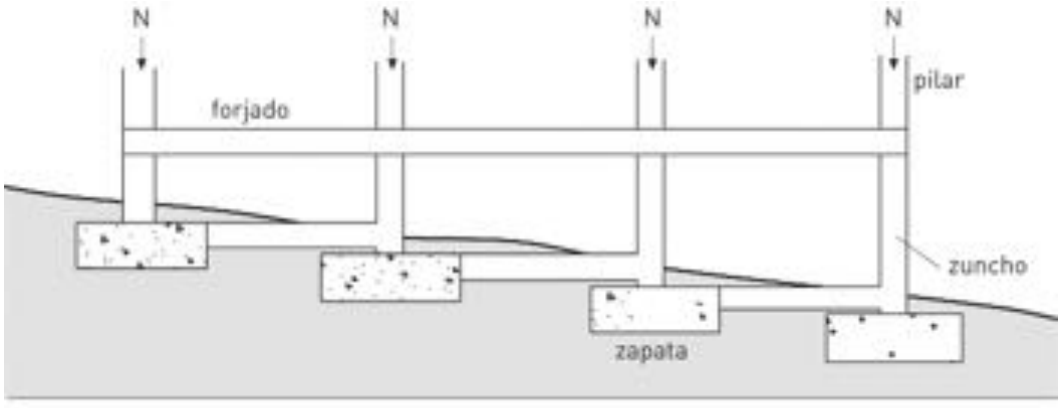
La segunda razón, y esto es fundamental, es que el relleno suele albergar los conductos de evacuación de las lluvias pluviales y servidas y el asentamiento del mismo rompe los conductos o sus juntas, con la consiguiente salida del líquido.

Esto es un serio problema ya que cuando nos damos cuenta de que esto ha sucedido cuando el hecho está consumado y las pérdidas son evidentes.

A continuación, y teniendo en cuenta al agua como factor de alteración del terreno, se enumeran algunas circunstancias desfavorables para las cimentaciones de los edificios.

1. EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN DE ARCILLAS

Cuando un suelo arcilloso sin saturar se encuentra en presencia de agua, por ejemplo un terreno bañado por una capa freática que ha ascendido, sucede que los capilares de la arcilla absorben el agua la cual penetra lentamente entre las partículas sólidas, desarrolla una presión intersticial y determina la paulatina expansión de las mismas. Esto produce la hinchazón generalizada del terreno.



El correspondiente zunchado entre zapatas de una cimentación en ladera, se ha realizado de forma horizontal para disminuir el volumen de excavación y poder apoyar los cerramientos.

A la inversa, en cualquier punto de un terreno arcilloso bañado por agua subterránea se establece un equilibrio entre la que sube por capilaridad y la que se pierde por evaporación, y para que en un punto determinado se dé una pérdida importante del contenido de agua es preciso que se produzca o bien el descenso del nivel freático o bien el aumento de la evaporación.

De esta manera el suelo perderá volumen por la desaparición gradual de la presión intersticial y el aumento de la presión de las partículas de la arcilla. Se producirá por consiguiente una contracción general del terreno.

En conclusión, los cambios de contenido de agua en una capa gruesa de arcilla se traducen en:

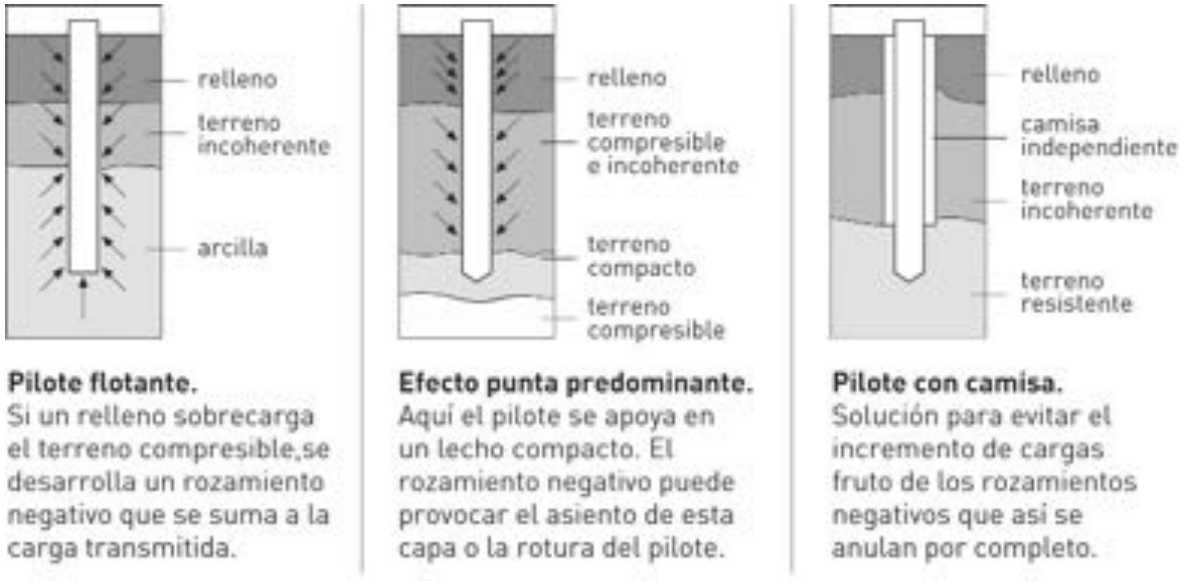
- **DILATACIONES CUANDO AUMENTA EL CONTENIDO DE AGUA.**
- **ASENTAMIENTOS CUANDO DISMINUYE EL CONTENIDO DE AGUA.**

Por lo tanto, se puede y se debe tomar precauciones a este respecto.

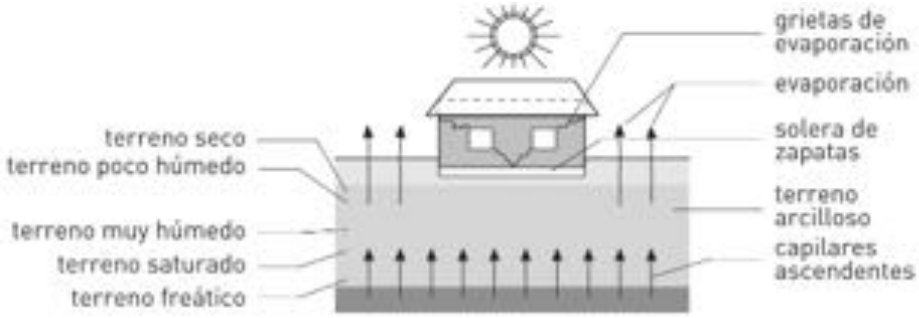
En obras nuevas, es preferible situar las cimentaciones a la profundidad donde la higrometría sea constante, o sea, no cimentar a base de zampeado, evitar el enlosado en terraplenes y procurar que los edificios tengan dimensiones reducidas y estén correctamente zunchados (unidos).

En suelos saturados de granulación fina y con un nivel freático que desciende regularmente, se comprueba al asiento progresivo de las edificaciones.

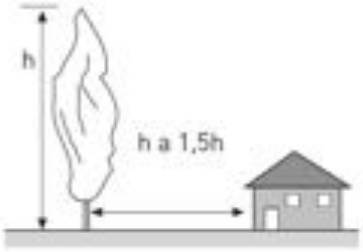
La desecación del suelo por las raíces del arbolado que se planta cerca de los edificios es otro problema a tener en cuenta.



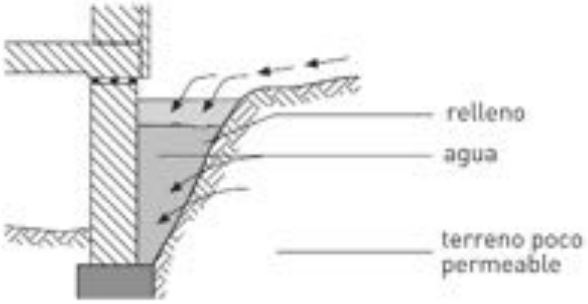
Cargas que actúan sobre un pilote en distintos tipos de terreno.



La evaporación de terrenos de arcillas expansivas produce en cimentaciones superficiales daños por asientos diferenciales y subpresión. El contenido de humedad del terreno es mayor debajo de la edificación donde no se produce la evaporación.



Las raíces de los árboles consumen humedad del terreno por lo que hay que mantener distancias mínimas con respecto a la edificación.



En los suelos poco permeables, el agua se acumula en el relleno de la cimentación si éste es permeable. En estos casos siempre es necesario prever un sistema de drenaje.

Influencia de la humedad sobre los cimientos.

Así, los olmos necesitan una gran cantidad de agua para su crecimiento y sus raíces buscan agua abarcando vastas superficies de terreno. Por regla general, entonces, no es aconsejable plantar árboles demasiado cerca de los edificios.

Muchos especialistas coinciden en que la separación entre un árbol y el edificio ha de estar con relación a una o una vez y media la altura del primero.

2. MODIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE RESISTENCIA DEL SUELO

La afluencia de aguas modifica sustancialmente las condiciones de resistencia de los suelos de granulometría fina. Si el contenido de agua de una arcilla aumenta, su cohesión y ángulo de rozamiento interno se reducen en proporciones importantes y esta pérdida de resistencia puede adoptar distintos aspectos.

Con el aumento de contenido de agua, las arcillas pierden resistencia; según los estudios de Terzaghi, pasan de un capacidad portante de 4 kg/cm^2 (arcillas coherentes) a 0,25 kg/cm^2 (arcillas muy blandas).

Una cimentación sobre un suelo arcilloso relativamente duro podría descender si la afluencia de agua lo reblandece.

Las causas de estas afluencias de agua se han mencionado someramente pero desarrollando se puede decir que son varias y que influyen de distinta manera.

AGUA DE ESCORRENTÍA: es un caso típico y característico de las construcciones que se hallan en zonas de abundantes aguas superficiales como pueden ser los terrenos en pendiente.

Las aguas que se escurren van a parar irremediablemente al pie de la cimentación, especialmente si el relleno de la excavación es permeable, circunstancia habitual ya que es lugar escogido para verter residuos de cantería.

La imprevisión de dispositivos de evacuación de esta agua, por lo tanto, conduce a su estancamiento en la cubeta que forma la excavación, perjudicando de las siguientes formas:

- **EL AGUA PUEDE INUNDAR EL SÓTANO** al atravesar los muros o pasar bajo las zapatas.

- **EL AGUA REBLANDECE EL SUELO Y MERMA SU CAPACIDAD PORTANTE**, por lo que la cimentación descenderá y no siempre de forma pareja.

La solución tradicional para evitar estos daños es la organización de una red de drenaje que rodee total o parcialmente la construcción.

Muchos siniestros se deben a drenajes mal concebidos o ejecutados que, con los años, dejan de funcionar adecuadamente. Para obtener un buen drenaje no es suficiente abrir una zanja y rellenarla de cualquier material.

A pesar de todo, un buen sistema de drenaje puede acabar obturándose cuando está en ciertas clases de terreno, razón por la que se recomienda habilitar registros de inspección en puntos estratégicos de la red y respetar las especificaciones constructivas que las distintas normativas indiquen.

Otra técnica muy aceptada es la entibación. Se trata de construir en la parte inferior del edificio un recinto estanco que posea la rigidez capaz para hacer frente a los asentamientos diferenciales que originan la fisuración del edificio.

En este caso no debe olvidarse que el edificio corre el riesgo de quedar bañado en agua durante algún tiempo y que el suelo que está bajo la cimentación se reblandezca.

Esta solución puede sustituir al drenaje clásico cuando no hay posibilidad de evacuar satisfactoriamente las aguas recogidas; de no ser así, siempre es más barato recurrir al sistema ordinario.

Finalmente, si no se ha previsto una red de drenaje, es inútil impermeabilizar los muros del basamento. Lo único que se logra es que el agua que se acumula a lo largo del perímetro del edificio pase bajo la cimentación e inunde el sótano, provocando también el rompimiento de las soleras si estas no se encuentran debidamente reforzadas.

Otra razón por la que aparecen las afluencias de agua hacia los terrenos son los empalmes defectuosos o inexistentes en los bajantes de aguas pluviales.

Los bajantes exteriores de aguas pluviales casi siempre se reúnen al pie del edificio en una arqueta o registro de donde parte un conducto de evacuación de escasa pendiente.

Esta disposición exige, en terreno arcilloso, una perfecta estanqueidad de la instalación, en especial a la altura del registro, a fin de que la cimentación esté afuera del alcance de cualquier fuga.

La falta de estanqueidad de registros realizados sobre rellenos que se asientan, es fuente de siniestros ya que el agua se esparce por toda la cimentación que, a la larga, también experimentará asientos.

Los escapes y roturas de conductos de aguas negras son con frecuencia otra razón de la saturación hídrica de los terrenos de cimentación.

Las consecuencias de estas pérdidas sólo son visibles una vez que el accidente ha ocurrido, y dentro de las causas del mismo se puede mencionar:

- **LA INCAPACIDAD DE LOS CONDUCTOS SUBTERRÁNEOS** de soportar sin romperse los asentamientos del relleno de la zanja de cimentación.

- **LA INTOLERANCIA DE LAS TUBERÍAS** de absorber cualquier movimiento del hormigón de las cimentaciones o de los muros del sótano enterrados, cuando son empotrados en unos u otros.





Construída cercana a una antigua riesa, esta precaria construcción no contó con un ensayo de suelos que advirtiera la posibilidad de corrimientos y descensos internos del terreno. Los muros se hayan prácticamente partidos por las grietas y parte de la construcción al quedarse "colgada" produjo la rotura del hormigón.

Es desaconsejable, entonces, instalar los conductos en el relleno de suelos arcillosos, embeberlos en el hormigón de las cimentaciones y hacer que recorran largos trayectos paralelos a los muros de fachada. En estos casos, las juntas flexibles de caucho son preferibles a las demasiado rígidas como las de cemento.

Las consecuencias de estas afluencias de agua pueden alcanzar proporciones de gran alcance y magnitud cuando el terreno es de antemano inestable y sensible a la saturación por humedad.

Los casos más dramáticos son los deslizamientos generalizados de terreno y enlodamientos. Una vez más, un estudio geotécnico a conciencia nos advertirá sobre estos riesgos.

Otro efecto cuando las aguas subterráneas bañan una construcción son los empujes hidrostáticos o subpresiones. En esta situación la solera que forma la parte inferior de la entibación se calculará para resistir dicho empuje, de lo contrario se agrietará.

Es un descuido muy común en la construcción de piscinas y depósitos en terrenos de estas características, olvidar la colocación de doble armadura tanto en el fondo como en los laterales de estas estructuras.

En el apartado sobre piscinas se estudiará esto con mayor detenimiento.

Otra faceta de este empuje ascendente o de Arquímedes, es que si se desea que el edificio no se levante es preciso que su peso supere dicho empuje.

Son muy raros los casos en que la construcción se levanta, ya que los técnicos no olvidan estos esfuerzos ascendentes y el peso de las edificaciones alcanza para contrarrestar el efecto ascendente.

Valgan como recordatorio algunas recomendaciones:

- **LASTRAR LA CONSTRUCCIÓN CON UNA SOLERA DE GRAN PESO**, o bien fijarla con tirantes verticales o anclajes profundamente anclados.

- **PREVENIR LA INUNDACIÓN DE LOS SÓTANOS**, a partir de cierto nivel que alcance la napa subterránea, dotándolos de orificios de desagüe practicados a alturas apropiadas.

- **EVITAR ESTE LEVANTAMIENTO NO SÓLO EN EDIFICIOS** sino también en depósitos enterrados de combustible o agua que, en cuanto estén parcialmente vacíos, se elevan por la subpresión.

3. DAÑOS CAUSADOS POR HELADAS

Cuando un terreno saturado de humedad padece una helada, el agua se convierte en hielo y aumenta su volumen.

Si este fenómeno sucede en terrenos húmedos de constitución granular gruesa –suelos de grava–, por lo general sin saturar, entre las partículas hay espacio suficiente para que la expansión se produzca libremente, por lo que el terreno no se esponja y la cimentación no experimenta movimiento.

En cambio, en terrenos de grano fino, donde el agua queda embebida por capilaridad y el suelo sí se encuentra saturado, la expansión del hielo no puede hacerse sin trabas, lo cual separa las partículas y el suelo se esponja.

Con el deshielo tiene lugar el fenómeno inverso. Las cimentaciones ligeras y poco enterradas, en este tipo de suelos, se levantarán con las heladas y descenderán con el deshielo.

Para que no sufran estas perturbaciones en épocas de baja temperatura, es recomendable que las cimentaciones lleguen a profundidades donde la influencia de la helada sea nula.

También sucede que en inviernos con muy bajas temperaturas, los constructores, al hacer las cimentaciones, dejan a éstas desprotegidas por no verter el relleno que debe cubrirlas.

Por lo tanto, es conveniente que en cuanto el hormigón haya endurecido lo suficiente como para no verse impurificado por la tierra, se proceda al relleno de la excavación en torno y por encima de las zapatas.

4. DESCALCES POR SOCAVACIÓN Y EROSIÓN

En edificios situados sobre la ribera no es raro que se produzcan arrastres progresivos del terreno.

A veces enmascarado por muros o pavimentaciones, estos arrastres pueden dejar sin sustentación parte de los cimientos

La circulación de agua no prevista a través del suelo de cimentación originada por roturas de conducciones, escapes o escorrentías subterráneas, producirá en determinados suelos –como los arenosos– socavaciones, arrastres o erosiones que dejarán descalzada la cimentación allí donde ocurra este fenómeno.

Este tipo de erosión va creando huecos que al llegar a un determinado tamaño, función del tipo de suelo, colapsan bruscamente con graves efectos para los elementos soportados.

En algunos casos los efectos de las excavaciones no se advierten hasta al cabo de algunos años ya que el terreno sufre una adaptación viscoelástica a las nuevas condiciones creadas.

En estos casos generalmente no se detectan estos problemas hasta que se produce el asiento, que puede ser repentino y, como ya se ha dicho, de gran magnitud.

5. ATAQUE DEL MEDIO CIRCUNDANTE

Las cimentaciones también pueden ser objeto de ataques directos que, en un plazo más o menos breve, causan su ruina. La naturaleza del ataque depende tanto de los materiales que compongan la fundación como del medio en el que se hallan insertas. Por ejemplo:

- **PUDRICIÓN DE LAS CIMENTACIONES DE MADERA.**
- **CORROSIÓN DE LAS CIMENTACIONES DE METAL.**
- **DEGRADACIÓN DE LAS CIMENTACIONES DE HORMIGÓN, SIMPLE O ARMADO.**

DESTRUCCIÓN DE PILOTES DE MADERA

La madera enterrada se destruye a causa de hongos e insectos xilófagos que se nutren de sus células. Los pilotes de madera alcanzan, entonces, su destrucción por putrefacción.

Pero los hongos e insectos xilófagos necesitan para su desarrollo no sólo humedad, sino también aire, y el ataque se produce sólo cuando el pilote está por encima del nivel freático o cuando se trabaja cerca del mar o en zonas de margas.

De este modo, los pilotes que permanecen inmersos en agua no corren ningún peligro.

Pero la irregularidad de los niveles freáticos –fruto de bombeos industriales, drenajes, redes de saneamiento y el estancamiento progresivo de las superficies de alimentación de las aguas subterráneas (red viaria, aparcamientos, etc.)– no garantiza ninguna constancia en las condiciones que rodean al pilotaje.

Afortunadamente, hoy en día existen excelentes insecticidas de efectos preventivos duraderos, ya sea contra hongos como insectos xilófagos.

En el apartado de patologías de los elementos de madera se estudia en profundidad el ataque de cada uno de estos organismos, el efecto de otros factores climáticos, como así también la manera de prevenirlos y curarlos.

DESTRUCCIÓN DE PILOTES METÁLICOS

Si un pilote metálico permanece sumergido en agua no agresiva no habrá que temer, en principio, ninguna corrosión. Pero, al igual que con la madera, la inmersión permanente de los pilotes en el agua no se puede asegurar, por lo que la prudencia y la prevención son la mejor opción a adoptar.

En la zona de terreno por encima de las aguas subterráneas, o cuando éstas sean poco agresivas, es la agresividad del medio ambiente la que determina la velocidad de destrucción del metal. La solución está en incrementar la capa de acero conforme al período de utilización del edificio y la naturaleza del terreno y/o del agua que envuelve los pilotes.

Cuando los pilotes metálicos se llenen o envuelvan de hormigón o mortero, los cementos que se usen resistirán también la agresividad del medio –por ejemplo, cemento de fraguado en agua marina, cemento con elevado contenido de escoria–. Las mismas consideraciones valen si se utilizan pinturas protectoras.

En el apartado sobre corrosión de los metales se desarrollan los distintos tipos de corrosión de los metales y su protección.

DESTRUCCIÓN DE LAS CIMENTACIONES DE HORMIGÓN

El hormigón se descompone por la acción de numerosos productos contenidos en las tierras o disueltos en las aguas. En general, lo primero que se descompone es el cemento cuando no ha sido seleccionado adecuadamente.

Las aguas químicamente puras, disuelven la cal del cemento, reduciendo la compacidad y, por consiguiente, la resistencia de éste. El problema se soluciona utilizando cementos con escasa cal libre, como ser, cementos de escoria, cementos puzometalúrgicos, cementos aluminosos.

Las aguas que hayan circulado por suelos que contengan sulfato de cal o yeso (aguas selenitosas), o sulfato magnésico (aguas magnésicas), representan un peligro para las cimentaciones de hormigón.

Las primeras se combinan con el aluminato tricálcico, el cual es produce una sustancia tremendamente expansiva llamada sal de Clandot. La formación de sal de Clandot provoca tales tensiones en el hormigón que determinan su rotura.

En el caso de cimentaciones de hormigón en contacto con aguas que hayan circulado por suelos que contengan cloruros –sódico, potásico– y agua de mar, se recurrirá al uso de los cementos adecuados a estos medios.

Otros agentes que atacan las fundaciones de hormigón son las aguas ácidas naturales, que contienen ácidos húmicos (aguas de turberas), las aguas que contienen ácido carbónico en disolución y ácidos minerales (nítrico, sulfúrico, etc.).



Las tierras y laderas inestables se deben contener, no envolver. En este caso ninguna medida se había adoptado para evitar el corrimiento de este suelo antiguamente expuesto a la intemperie y con poca consolidación.



Sin lugar a duda este es uno de los métodos más sencillos y naturales de estabilizar una ladera. El efecto garra de poderosas raíces de árboles como las coníferas colaboran para evitar corrimientos y aludes.

La mayoría de los ácidos orgánicos también atacan al hormigón: el ácido láctico –habitual en lecherías, queserías, fábricas de yogures, porquerizas, curtidurías–, el ácido acético –fábricas de vinagre–, el ácido fórmico –industrias químicas, farmacéuticas–, el ácido málico –fábricas de sidra, conservas–, deben mantenerse fuera del alcance de las cimentaciones a base de hormigón.

Los cuerpos grasos, como aceites animales, vegetales o minerales, se manipulan en numerosas industrias (almazara de aceite de oliva, colza, girasol, nuez, pesquerías de bacalao, industrias farmacéuticas; aceite de ricino, de lino, de glicerina) y, aunque no sean solubles en el agua de escorrentía, sí se pueden encontrar en emulsión y desempeñar un papel muy nocivo para el hormigón.

La enumeración de las agresiones de que puede ser objeto el cemento es demostrativa de la prudencia a que obliga la ejecución de cimentaciones en terrenos que puedan convertirse en agresivos.

Así sucede en la mayoría de las fábricas de productos químicos, que tienden a desembarazarse de sus residuos contaminantes por medios poco confiables.

Cuando se trata de eliminar residuos líquidos, uno de estos medios más utilizados es el pozo negro o sumidero, razón por la cual, a un cliente de este tipo, se le debe exigir el análisis del terreno y de las aguas previo a la realización de cualquier fundación.

El suelo se puede encontrar contaminado y, en cualquier caso, se recabará información acerca de la clase de residuos evacuados en el terreno.

La consulta a un especialista en materia de cementos permitirá establecer la clase de áridos y aditivos a utilizar.

La elección de un cemento apto no dispensa de conseguir un hormigón lo más compacto posible, con alta dosificación de cemento y mínima porosidad.

De esta manera, el ataque se producirá sólo a nivel superficial.

CIMENTACIONES EN TERRENO INESTABLE

En algunos casos el problema de las cimentaciones sobrepasa el simple ámbito del terreno sobre el que se apoyan y la patología de estas cimentaciones debe realizarse en un entorno urbano o geográfico más extenso, siendo necesario actuar a una escala amplia antes de entrar en obras de detalle.

Los problemas más característicos van desde la inestabilidad de laderas hasta los descensos de terreno generalizados. Por lo dicho, entonces, se diferencian unos problemas a nivel más bien superficial y otros cuyo origen se encuentra a profundidades considerables.

Los terrenos arcillosos sobre base rocosa en pendiente en donde las perturbaciones se exteriorizan en forma de deslizamientos de tierras pertenecen al primer grupo.

Los terrenos de cimentación que se encuentran sobre canteras, explotaciones mineras, cavidades y zonas de disolución de yeso son suelos cuya inestabilidad se debe a causas situadas en la profundidad del suelo.

LADERAS INESTABLES

La tendencia a los deslizamientos superficiales no siempre es evidente de antemano y sólo el estudio geotécnico minucioso permite establecer si el terreno es o no estable, tarea que corresponde realizar a especialistas en el tema.

Cabe recordar también que en los terrenos en pendiente la vegetación es lo que retiene las tierras y que cualquier tala de la misma acarrea el peligro de la cesión del terreno en superficie.

Por otro lado, hay que tener presente, en un terreno en pendiente, cuando las zapatas de cimentación no están a la misma cota, hay que tomar precauciones de la influencia de unas sobre las otras. La presión de las zapatas superiores sobre las inferiores genera una presión adicional para la cual no han sido calculadas.

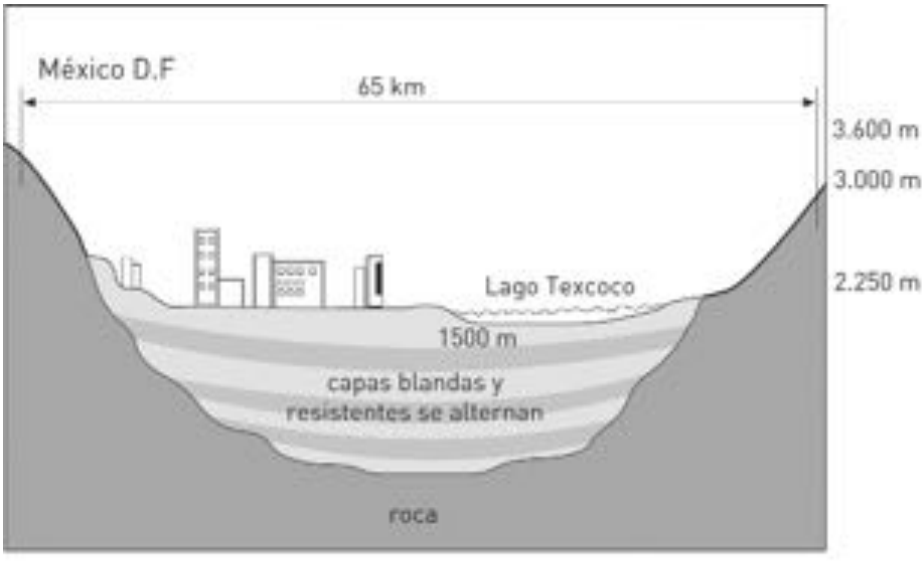
Son numerosos los centros urbanos afectados por movimientos de laderas, ya que precisamente la ubicación de ciudadelas, castillos y ciudades fortificadas se hacía en promontorios escarpados.

Este tipo de movimientos se manifiestan de formas muy diversas, aunque las predominantes son las siguientes:

- **DESLIZAMIENTOS LENTOS EN LADERAS** con equilibrio precario provocados, en general, por obras de urbanización, acumulación de edificaciones, fugas de saneamientos, excavaciones para nuevos viales, tala masiva de forestación consolidante. Suelen afectar a una capa de poco espesor (1 a 3 m) y paralela a la superficie.

- **DESLIZAMIENTOS CURVOS**, afectando a masas importantes, con formación de escarpes en cabecera. Suelen darse en taludes arcillosos o margosos, con pendientes fuertes (de 20 a 40°), en los que se producen ascensos anormales del nivel freático o socavaciones al pie por efecto de riadas o fuertes lluvias.

- **DESPRENDIMIENTOS DE BLOQUES ROCOSOS** que constituyen el contorno de un promontorio urbano. En terrenos estratificados horizontalmente es típica la formación de cornisas de caliza, yeso o arenisca al desaparecer, por alteración o erosión, las capas arcillosas subyacentes.



Caso de subsidiencia lenta, progresiva y generalizada de la ciudad de México D.F.

Cuando estas cornisas llegan a un determinado vuelo o la capa sustentante alcanza una falla (zona fracturada) colapsan. En terrenos estratificados verticalmente, éstos pueden descender al fluir capas blandas inferiores, o desgajarse volcando por efecto de presiones de agua o efectos sísmicos.

Es evidente que las soluciones deben orientarse al problema general no intentando efectuar recalces puntuales o parciales de uno u otro edificio, salvo cuando el edificio está en la cabecera de un deslizamiento y cabe independizar aquél del resto de la ladera mediante un recalce más o menos profundo.

La estabilización de una ladera urbana requiere fuertes inversiones económicas y debe ir precedida de un estudio geotécnico muy detallado.

Las soluciones suelen incluir las siguientes medidas:

- **CORRECCIÓN DE FUGAS DE AGUA Y DRENAJE GENERAL DEL TALUD.**
- **ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN AL PIE**, y a veces también a niveles intermedios, que pueden ser muros tradicionales o mejor si se utilizan pantallas con anclajes o cortinas de pilotes.
- **COSIDO DE BLOQUES ROCOSOS** con riesgo de movimientos mediante bulones o anclajes profundos.
- **PROTECCIÓN FRENTE A LA ALTERACIÓN DE CAPAS BLANDAS** mediante gunita, poliuretanos o fluosilicatos.
- **CREACIÓN DE ESTRIBOS O CONTRAFUERTES DE HORMIGÓN** para apoyo de zonas descalzadas.
- **SANEO, LIMPIEZA Y SELLADO DE GRIETAS Y FISURAS DEL TERRENO**.

Un problema habitual suele ser el impacto estético de estas intervenciones. Para evitar o minimizar el choque visual de elementos metálicos o de hormigón ajenos al paisaje histórico o natural, la utilización de vegetación puede ser de gran ayuda en el recubrimiento de las estructuras de refuerzo o contención.

En algunos casos la mejor solución puede ser la rigidización de los edificios para acompañar el movimiento del terreno sin daños apreciables. La rigidización de estos cimientos puede hacerse mediante vigas de arriostramiento, con anillos de hormigón abrazando las zapatas o, en algunos casos, mediante un zuncho en todo el perímetro del edificio.

DESCENSOS GENERALIZADOS

Estos descensos resultan de los vacíos que se forman de manera natural o por obra del hombre. Estos vacíos se encuentran a medias o grandes profundidades como es el caso de zonas de explotación de canteras, o consolidación de terrenos blandos por extracción de agua, gas o hidrocarburos.

El descenso a gran escala afecta a zonas tan diversas como Venecia, Bangkok o el Valle de México, con soluciones de momento muy difíciles y costosas.

Un problema conocido, también, son las disoluciones de yeso. El yeso es un sulfato de calcio que tiene la propiedad de ser algo soluble en agua. Cuando las aguas subterráneas circulan por un terreno con yeso, además de que se transforman en agresivas, forman cavidades llamadas bolsas de disolución de yeso, cuyas dimensiones llegan a tener un volumen de varios miles de metros cúbicos.

La construcción en zonas de disolución de yeso, obliga a reconocer el emplazamiento y conocer acerca de la importancia de estas cavidades, ya sea su profundidad como sus dimensiones.

Si, finalmente, la edificación debe llevarse a cabo sobre estos terrenos con problemas de descensos, caben algunas recomendaciones como:

- **CIMENTAR POR DEBAJO DE LAS CAVIDADES MEDIANTE CIMENTACIONES PROFUNDAS.**

- **RIGIDIZAR LA ESTRUCTURA PARA QUE SOPORTE SIN DETERIORO HUNDIMIENTOS LOCALIZADOS**. Esta solución es aplicable cuando se llenan las cavidades y la aparición de socavones en la superficie es improbable o de escasa magnitud.

En cuanto al refuerzo vertical de los muros y la estructura, se pueden distinguir dos casos.

En el primero, el terreno se hunde con facilidad sin formación de hendiduras.

Aquí cabe adoptar estructuras armadas ligeras, susceptibles de sufrir deformaciones sensibles sin romperse; es una solución válida para aquellas construcciones que tengan dimensiones predominantes en planta.

En el segundo caso, los terrenos se deforman con fracturas y con formación de fallas importantes.

Son compatibles con esta clase de terrenos los edificios de pequeñas dimensiones en planta, con muros en sótano que constituyan verdaderas vigas que salven grandes luces o puedan trabajar en voladizo.

La infraestructura se compone de una trama de zapatas y vigas o carreras continuas de elevado momento de inercia, solución que recibe la denominación de ***CAJA DE HUEVOS***.

En casos concretos como iglesias, depósitos de agua, edificios públicos, monumentos artísticos y demás edificaciones de cierta relevancia, ante la probabilidad de asentamientos futuros de importancia es útil proyectar nichos para gatos de rosca que introduzca las oportunas correcciones.

El caso de la ciudad de México, construida a 2.300 m de altitud, descansa sobre una masa enorme de aluvión de un lago dsecado y que colma un viejo cráter.

Es este un caso paradigmático de lo que en este apartado se viene desarrollando. Los materiales de aluvión subyacentes son muy compresibles, tienen 700 m de espesor y comportan capas de limo arcilloso de origen volcánico que se alternan con lechos de arena.

El descenso del nivel de las aguas subterráneas para abastecer a una población numerosa, provoca asientos del suelo que, hasta 1930, era de un metro pero entre 1930 y 1969 aumentó a 6 metros.

CAVIDADES Y GALERÍAS

La existencia de galerías, bodegas, criptas, aljibes que sufren un natural proceso de degradación o hundimiento, son causa frecuente de daños en edificios en cascos urbanos más o menos antiguos.

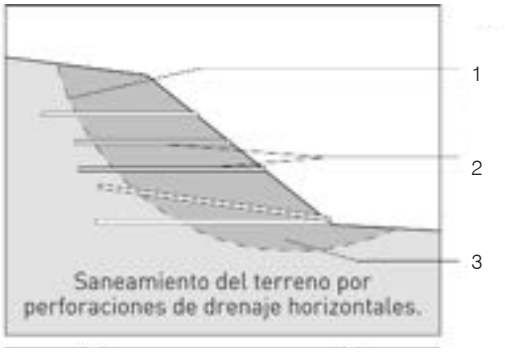
Situadas a medianas profundidades, estas cavidades constituyen depósitos de acumulación de agua o sirven de vía para la erosión interna del terreno como se vio en apartados anteriores.

En algunas áreas el descenso se debe a labores mineras o túneles urbanos. En el primer caso es importante evitar que el edificio llegue a las distorsiones límites que puedan provocar su agrietamiento.

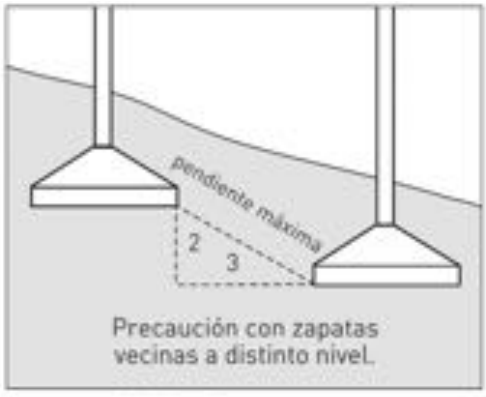
Las soluciones son complicadas y suelen limitarse a una rigidización mediante cosido o arriostrado de muros y zunchado de cimientos de forma que el edificio se mueva monolíticamente y se le pueda enderezar mediante gatos una vez que haya cesado el descenso.

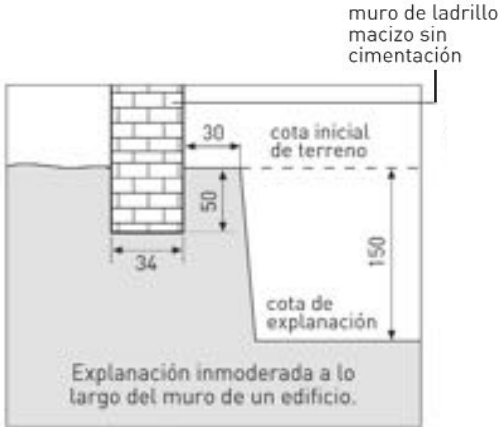
El tratamiento por inyección de estos huecos es poco aconsejable sin conocer previamente la extensión de los mismos.

Es frecuente encontrarse con volúmenes de relleno muy superiores a los esperados y de esta manera no se puede asegurar un relleno completo sin huecos residuales.



1. Línea de posible deslizamiento
2. Drenajes subhorizontales
3. Suelo sensible al agua





Consideraciones preventivas en el diseño de las intervenciones sobre el terreno.

Es más conveniente recalzar la zona afectada, apoyando la edificación por debajo de las cavidades, o puentear las mismas rigidizando los muros, los elementos estructurales y las soleras.

En áreas con muchas cavidades se utilizan métodos de relleno hidráulico, bombeando arena con cemento por tramos separados por tabiques y permitiendo el escape del aire existente al exterior.

A veces se hace un relleno previo con escombros gruesos para hacer la tarea más económica y luego se inyecta el mortero.

Si las cavidades son de dimensiones considerables y accesibles puede ser preferible reforzarlas frente a la erosión, la humedad y el hundimiento mediante bulonado, gunitado o revestimiento de ladrillo, mampostería u hormigón. En algunos casos se llega a acondicionar estas galerías como almacenes o cavas.

A pesar de todo, los daños que ocurren en superficie se deben al incorrecto relleno de las galerías. El relleno puede ser hidráulico, como mencionamos, neumático o por derrumbe.

Esta última técnica consiste en desencadenar el hundimiento de la galería por supresión sucesiva de los puntales que la sostienen. Esta técnica debe su aceptación a su bajo coste, aunque es algo arriesgada, difícil de controlar totalmente y los daños superficiales son más importantes.

Las medidas que se pueden tener en consideración para edificaciones en zonas de minas y túneles, susceptibles de ser afectadas por movimientos de los mismos, dependen de la naturaleza de los terrenos y de las condiciones de explotación.

A saber:

- **EVITAR LAS CONSTRUCCIONES DEMASIADO LARGAS** o dividirlas en bloques separados por juntas dimensionadas con holgura y situadas entre dos muros rígidos.

- **EVITAR LAS BÓVEDAS Y CÚPULAS**, especialmente las de fábrica de ladrillos.

- **PRESCINDIR DE VENTANAS Y HUECOS DE GRANDES DIMENSIONES.**

- **PRESTAR SUMA ATENCIÓN A LOS ANCLAJES Y APOYOS DE LOS FORJADOS Y VIGUERÍA.**

- **AISLAR LA CIMENTACIÓN DEL SUELO DE APOYO MEDIANTE UNA JUNTA HORIZONTAL DE DESLIZAMIENTO** para evitar los efectos de pandeo del terreno (esta solución no es viable con el zampeado general).

- **UNIR LA CIMENTACIÓN HORIZONTALMENTE** para responder a los esfuerzos de tracción que puedan manifestarse en su plano.

- **PREVER LA AFLUENCIA DE AGUA EN PENDIENTES FUERTES** y dotar de juntas elásticas a los conductos que lleguen a la edificación.

ERRORES DE PROYECTO, CÁLCULO Y EJECUCIÓN

La cimentación insuficiente se trata de un defecto de proyecto poco frecuente donde la superficie de apoyo no alcanza para transmitir la carga del edificio que sostiene.

Esto sucede, por lo general, por errores de cálculo, olvido de algunas sobrecargas en servicio o algún factor extraordinario que no se tuvo en cuenta.

La previsión de asientos excesivos es otro error también de proyecto, donde los asientos calculados no son tolerados por la estructura diseñada, originando daños y deformaciones en la misma de diversa magnitud.

La mala calidad de los materiales, no tanto en cimentaciones recientes como en las que encontramos en algunos edificios antiguos realizadas con hormigones muy pobres, piedra suelta o cascote, que se deterioran fácilmente son otro factor de ejecución que lleva a los problemas con las cimentaciones.

También complican mucho su reparación o bien las hacen más costosas, ya que muchas veces la solución es reeemplazar gran parte de las fundaciones.

El lavado del hormigón por la presencia de agua en movimiento en zanjas o pozos, o por la no protección del hormigón recién vertido en época de fuertes lluvias, puede segregar gravemente el hormigón fresco, llevándose parte de la lechada y produciendo por consiguiente un lavado que lo deja en condiciones inaceptables para el desmpeño de su función estructural.

La ejecución de pilotes realizada por personal con poca experiencia o con poco cuidado y control puede propiciar la existencia de pilotes inservibles en una cimentación.

Este accidente puede sobrevenir tanto en pilotes prefabricados, rotos durante la hinca, como en pilotes hormigonados in situ, que pueden quedar con el fuste estrangulado por una incorrecta ejecución.

Indudablemente, si algo de esto ocurre, la cimentación quedará debilitada en mayor o menor medida.

La ausencia de una información completa de la constitución del suelo en sus diferentes estratos es un grave error que se viene señalando a lo largo de este texto.

Puede originar problemas en un edificio por una incorrecta elección del firme o del tipo de cimentación. Por ello es aconsejable disponer de un estudio geotécnico del suelo.

Asimismo, al realizar este estudio de suelos, el mismo debe ser realizado por profesionales especializados y personal competente, ya que puede ocurrir que se disponga de un informe incompleto o inadecuado.

Otro posible fallo puede también provenir de una defectuosa interpretación de resultados obtenidos de dicho informe.

Un conocimiento incompleto del suelo puede llevarnos a cimentar sobre un falso firme, es decir, sobre un estrato aparentemente resistente pero que no tiene, en el momento de aplicarle las cargas reales, poder de sustentación.

Así ocurre cuando el espesor del firme estudiado y utilizado es insuficiente y debajo de él hay estratos de inferior categoría.

De esta manera pueden no detectarse galerías, cuevas, terrenos compresibles que, si quedan cercanos a la cimentación, pueden no soportar la carga del cimiento o propiciar asientos diferenciales.

Como se indicó anteriormente, cuando el terreno de cimentación es poco homogéneo hay que tomar precauciones adicionales en el diseño de la cimentación, como reducción de coeficientes de trabajo, disposición de vigas de arriostre y una mayor rigidización de toda la estructura.

Si esta circunstancia se desconoce, no se tendrán en cuenta sus efectos y se producirán asientos diferenciales que pueden llevar a deformaciones incompatibles con el uso del edificio.

La no consideración de los fenómenos agresivos, como los terrenos y aguas contaminados, por desconocimiento de su existencia producirá a la larga problemas en las cimentaciones.

Ya se ha indicado la agresión que pueden sufrir los hormigones normales en determinados terrenos, sobre todo los yesíferos que puede originar graves deterioros.

La incorrecta valoración de un determinado estrato del terreno puede llevar a la ejecución defectuosa de cimentaciones profundas por pilotes.

Es posible, de esta manera, que el rozamiento calculado para pilotes flotantes sea superior al real y no resistan la carga prevista.

Una vez más, un estudio geotécnico en profundidad puede evitar estas complicaciones.

Las intervenciones constructivas en el entorno de un edificio influyen siempre en el suelo sustentante del mismo.

Con mayor o menor intensidad, cualquier actuación en un terreno próximo a una edificación existente debe ser valorada en todos sus detalles.

Por ejemplo, toda excavación junto a un edificio en terrenos arcillosos –también en los arenosos, aunque con menor incidencia– produce asientos en su entorno aunque se realicen cuidadosos apeos del terreno.

Este asiento junto a la excavación disminuye al alejarnos de la misma, pero puede tener una magnitud peligrosa aún a distancias consideradas como prudenciales.

En consecuencia, el edificio próximo a trabajos de excavación puede sufrir asientos desiguales que, en general, no serán tolerados por su estructura.

DEBIDAS A	CONSECUENCIAS
No considerar adecuadamente el terreno de apoyo de la cimentación	Se somete al terreno a una tensión que supera la admisible. Se olvidan en el proyecto sobrecargas de uso que aumentan la tensión en la zapata. La cimentación es escasa. Asientos reales mayores de los calculados.
La alteración de la cimentación	Cimentaciones situadas en terrenos agresivos y no protegidas adecuadamente. Cimentaciones no ejecutadas con los materiales y geometrías convenientes. Hormigones situados en suelos o aguas con gran contenido en sulfatos.
La existencia de rellenos	Presencia en toda la parcela de un recubrimiento de rellenos de cierto espesor. Desconocer qué tipo de rellenos fueron aportados. Falta de compacidad uniforme de los rellenos y baja resistencia.
La existencia de cavidades	La existencia de cavidades naturales (origen kárstico, disoluciones de yesos) y artificiales (bodegas, minas).
La acción del agua	Erosiones con arrastres importantes de materiales gruesos. Se produce habitualmente en apoyos de puentes. Pérdidas en las redes de saneamiento o abastecimiento en zonas urbanas arrastran los finos del terreno y provocan socavones y descalces. Las corrientes de agua en arenas pueden llegar a provocar el sifonamiento de las mismas. El terreno saturado, si es de naturaleza fundamentalmente limosa o arcillosa, reduce su capacidad portante, sus parámetros georresistentes fundamentales: la resistencia al corte, la cohesión y el ángulo de rozamiento interno. El ascenso del nivel freático provoca cambios de volumen en terrenos expansivos, subpresiones en cimentaciones superficiales, incrementos de empujes en muros y humedades.
La inestabilidad del terreno	Las excavaciones pueden disminuir los coeficientes de seguridad al deslizamiento y hacer inestable el terreno cuando se efectúan intervenciones en laderas.

ORIGEN DE LAS LESIONES GEOTÉCNICAS MÁS FRECUENTES

La puesta en carga de anclajes para anular empujes en muros de contención produce en el terreno compresiones entre el anclaje y el muro y descompresión del suelo a partir del bulbo de anclaje.

Si estos anclajes se sitúan por debajo de un edificio, esta descompresión puede producir daños en el mismo a causa de los asientos que se producirán en las cimentaciones situadas en su zona de influencia.

Esta técnica, profusamente utilizada para anclaje provisional de muros pantalla en edificios de nueva planta con sótanos junto a edificios existentes que no los tienen, es peligrosa y necesita un cuidadoso estudio del suelo, distancia y profundidad de anclajes para evitar daños, aparte del permiso explícito del colindante.

Una cimentación flotante por losa realizada junto a un pilotaje, en determinadas situaciones de suelos, puede producir daños, no sólo en el edificio existente, sino también en el nuevo.

El cambio de sistema de cimentación de un edificio nuevo respecto a otro colindante puede ancontrar complicaciones, más aún cuando alguno de ellos tiene sótano.

En la ejecución de pilotes en una cimentación profunda, cuando el tubo o manga que transporta el hormigón alcanza la capa de terreno resistente y penetra la longitud de anclaje necesaria, se llena progresivamente de hormigón por capas de 20 a 50 cm que se compactan.

El tubo se va izando poco a poco con objeto de asegurar la presencia de una altura suficiente de hormigón en el mismo para que su interior no quede nunca abierto y penetre agua o que la tierra se desmorone.

Sucede que en terrenos muy blandos la compactación excesivamente violenta puede originar deformaciones en el fuste del pilote, que dan paso a esfuerzos que el suelo no puede absorber.

En el hormigonado bajo el agua, el constructor debe verificar, antes del hormigonado, si hay presencia de agua y, durante el proceso de pilotaje, si es preciso respetar la altura de hormigonado.

La penetración del tubo de los pilotes perforados y de algunos tipos de pilote hincado en un terreno inmerso en agua, provoca necesariamente la subida de ésta por el tubo. En estas circunstancias el vertido sin ningún cuidado del hormigón comporta la dilución del mismo.

La técnica de la perforación con lodo es un procedimiento muy seguro, si la empresa que lo ejecuta tiene total dominio de la misma y posee el equipo apropiado.

Por lo tanto, el principal error de ejecución aquí es equivocar la elección del lodo.

La viscosidad del mismo no puede ser muy baja porque entonces no es apto para desarrollar su labor de contención provisional de la excavación.

DEBIDAS A	CONSECUENCIAS
Efectos naturales extraordinarios	Terremotos de gran intensidad. Inundaciones con subidas importantes del nivel freático, tormentas costeras.
Construcciones exteriores	Realización y construcción de edificios más o menos próximos a nuestra estructura. Cuando se efectúan excavaciones próximas para situar sótanos en zonas urbanas se produce una descompresión del terreno que puede provocar asientos y movimientos horizontales de la estructura. El derribo de un edificio para construir otro en su lugar puede producir la eliminación de reacciones y empujes pasivos en los edificios adyacentes. El empleo de maquinaria potente que produce vibraciones en el entorno. El empleo de explosivos, la hinca de pilotes, el empleo de trépanos pueden provocar lesiones. Las losas junto a zapatas implican asentamientos de estas últimas, y las losas junto a pilotes generan empujes horizontales sobre los mismos. La ejecución de sótanos en edificios adyacentes puede generar variaciones en el nivel freático, tanto por efecto pantalla como por achique de agua.
Defectos de ejecución	Durante la ejecución de la cimentación, si no se lleva un control correcto, se pueden producir errores que den lugar a lesiones.
Variaciones en las hipótesis de proyecto	Es el caso de los cambios de uso de los edificios: incremento de las sobrecargas, eliminación de tabiquería y cambio de distribución de pilares. Si los daños proceden de que la cimentación está en mal estado, se adoptará el sistema que mejor se adapte a esa situación. Se debe tener en cuenta que la estructura suele estar en un estado de estabilidad más precario durante la ejecución de los trabajos y que los movimientos no cesarán en el instante de terminarse el recalce, sino que precisarán un cierto período de estabilización y puesta en carga.

ORIGEN DE LAS LESIONES GEOTÉCNICAS MÁS FRECUENTES

Y por otro lado, tampoco puede ser muy denso ya que el lodo excesivamente rígido no asciende a medida que progresa el hormigonado y existe el peligro de que se formen bolsas de lodo en el mismo.

En suelos relativamente plásticos y saturados, el hincado de un pilote genera un movimiento ascendente del terreno análogo al que se produce al introducir un cuerpo en un líquido. Se ha comprobado que los defectos que aquejan a muchos grupos de pilotes recién ejecutados proceden de esta circunstancia.

La única medida para prevenir el levantamiento, estiramiento o rotura de los pilotes adyacentes es fijar un orden de hincado partiendo simpre del centro hacia los bordes de la edificación, nunca a la inversa.

Convendrá, de cualquier manera, vigilar atentamente la nivelación de las cabezas de pilotes a medida que se hincan.

CAUSAS VARIAS

Las vibraciones producen asientos en rellenos y suelos granulares flojos que pueden llegar a comprometer muros de mampostería, arcos de dovelas y fábricas poco cementadas.

Su origen puede deberse a circulación de tráfico pesado, voladuras en excavaciones en canteras próximas, bombardeos, demoliciones, ejecución de pilotajes, uso de maquinaria pesada, etc. Estas vibraciones se propagan con facilidad sobre todo cuando el suelo está constituido por arenas poco densas.

La circulación de vehículos pesados en la proximidad de edificios produce una compactación localizada del terreno con los inevitables asientos, además de la alteración de morteros, desprendimiento de revocos y alicatados.

Algunos estudios realizados indican que la circulación de vehículos pesados –más de 5 toneladas– con una frecuencia de 1.500 vehículos/día, reducen la vida de un edificio hasta un 15 %, llegando al 50 % con una frecuencia superior a 7.500 vehículos/día.

Los efectos son aún peores si no existe acera o es ésta es muy pequeña, o si la velocidad de los vehículos es superior a 20 km/h.

Si se forman baches o escalones en el vial que generan impactos permanentes, acrecentan aún más la posibilidad de problemas en las cimentaciones. La susceptibilidad es menor en estructuras reticuladas de hormigón o metálicas que en las de ladrillo o mampostería.

Respecto de esto último, la hinca de pilotes debe prohibirse de forma terminante en el entorno de edificios históricos si el terreno es de naturaleza arenosa.

La norma DIN 4150 contempla esta circunstancia y establece la velocidad límite de las vibraciones para cada tipo de terreno.

TERREMOTOS

Los efectos sísmicos han sido causa tradicional de ruina de edificaciones de toda clase.Por lo general las grandes zapatas continuas y las losas son más seguras que las zapatas aisladas.

Los pilotes pueden transmitir con facilidad las vibraciones del substrato pero, por otro lado, aumentan considerablemente la seguridad en el caso de terrenos arenosos poco densos y con nivel freático elevado, en donde existe un alto riesgo de desconsolidación del terreno.

Normalmente los edificios monumentales suelen ser masivos y bastante rígidos por lo que la duración de las vibraciones de un sismo no llegan a afectarlos grandemente.

Lo contrario sucede en las torres o edificios esbeltos, con elevado riesgo de resonancia en alguno de sus modos de vibración.

Las principales actuaciones tienden al atado y refuerzo de los cimientos y a la seguridad frente a la licuefacción del terreno, aunque suele ser más importante el refuerzo y arriostramiento de la estructura superior de la edificación.

También resulta útil crear amplias juntas entre edificios o partes del mismo edificio para que puedan vibrar de forma distinta y no golpear unas sobre otras.

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

Este punto trata sobre el estudio, análisis y diagnosis de los fallos detectados con vistas a la elaboración de un programa de intervención.

Aquí se estudiarán las hipótesis de origen de los fallos, el desarrollo de la campaña de ensayos y la elaboración del pliego de intervención. Se verán también las tecnologías disponibles para el estudio de las lesiones como así también el procesamiento de los datos obtenidos.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

El conocimiento de estos problemas comenzará a partir de los diversos daños aparecidos en el inmueble, como grietas, fisuras, desplomes, inclinaciones y pérdidas de escuadra.

La actuación, como se había anticipado, se dirige al estudio de los daños, seguido de los reconocimientos necesarios para poder saber, con el mayor grado de seguridad posible, cuál es la causa de los desperfectos detectados.

Cuando se comprueba que el origen de los problemas está en la cimentación, se definirá cuál es la intervención constructiva óptima para la reparación de los daños y la eliminación de las causas.

La diagnosis de las lesiones detectadas, comienzan por una inspección visual más atenta, el levantamiento gráfico y fotogramétrico del edificio y el levantamiento gráfico detallado del cuadro fisurativo y de lesiones que la estructura haya sufrido.

El estudio del historial del edificio, o sea, su construcción, su usos y reparaciones completan el marco de análisis de la patología.

A esta primera fase de estudios, que ya permite reconocer los principales problemas estructurales, le sigue una serie de estudios especializados que tienen el objetivo de determinar los parámetros para definir el comportamiento estático del edificio.

A. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS LESIONES

El estudio de las lesiones se refiere a la inspección y registro de grietas, fisuras, daños estructurales u ornamentales, así como el historial de los mismos.

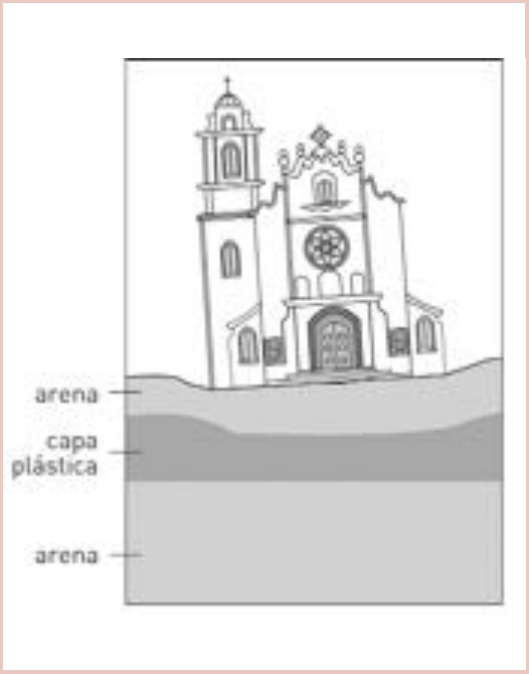
Con a respecto a las grietas, fisuras y demás daños, se debe recurrir a fotografías, documentos gráficos o escritos anteriores e incluso al testimonio de personas conocedoras del edificio. Así se obtienen más herramientas para estimar la fecha de aparición de estas lesiones y si se encuentran en un proceso evolutivo o estabilizado.

Se debe medir la forma y longitud de las grietas y fisuras existentes y apuntar la fecha de la medición. Si la grieta es de cierta magnitud, podrá medirse también su profundidad, así como conocerse si es de reciente o más remota aparición por la acumulación de polvo en su interior.

Siempre que sea posible se debe conseguir el proyecto original del edificio y todas las referencias históricas que puedan dar pistas sobre usos anteriores, reparaciones, incendios, modificaciones estructurales o arquitectónicas, daños por terremotos o inundaciones.

Es importante saber si existían edificaciones anteriores que se demolieron para construir las existentes y las causas que llevaron a la eventual ruina de aquellos edificios anteriores.

Es de interés conocer las modificaciones que haya sufrido el entorno inmediato del edificio, ya sean excavaciones, recrecido o repavimentación de calles, introducción de redes de saneamientos, cegado de pozos, fuentes o aljibes, derrumbe o abandono de sótanos y bodegas, relleno de fosos, etc.



Giro monolítico de un edificio por la proximidad de una capa de terreno muy compresible.

Las causas que se han enumerado en apartados anteriores dan una idea sobre las circunstancias a indagar en el momento de recavar información sobre un edificio dañado –modificaciones del nivel freático como consecuencia de bombeo de pozos, supresión de actividades agrícolas, construcción de embalses, explotación minera–.

Es de suma importancia evaluar la antigüedad y velocidad de evolución de los daños. Los gráficos de movimientos han de servir de indicación respecto a la urgencia de las reparaciones y constituyen la mejor referencia para el seguimiento de las lesiones.

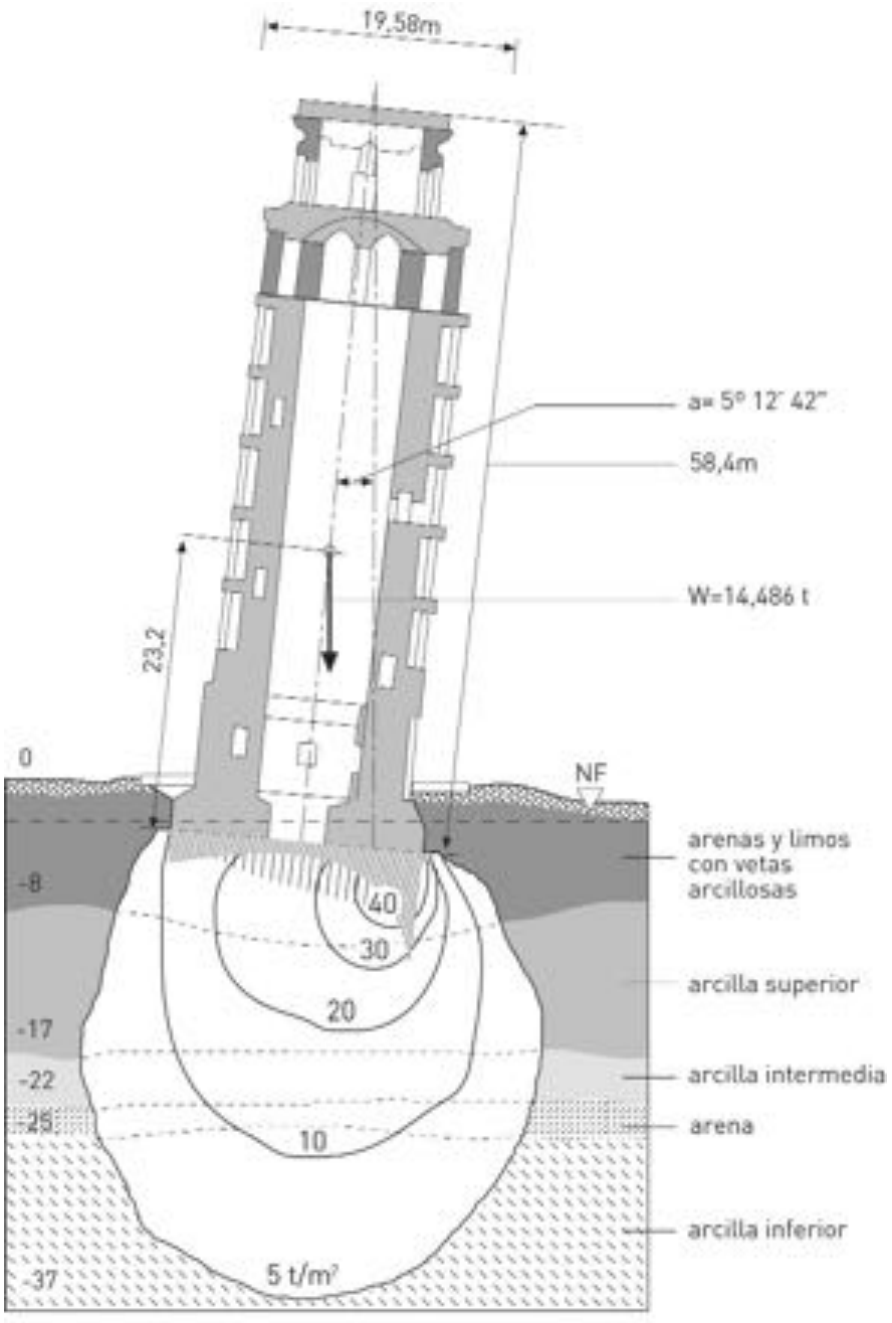
Se pueden encontrar grietas estabilizadas cuya apertura no varía y que no tienen más utilidad que la de saber lo que pueda haber ocurrido al edificio en tiempo pasado.

Se debe medir también el posible desplome de elementos verticales – muros y pilares– y la inclinación de elementos horizontales –forjados, vigas y soleras– con la mayor precisión posible, vigilando su variación en el tiempo con instrumentos de la mayor precisión posible.

La observación de las lesiones existentes llevará en algunas ocasiones a decidir el apeo de la zona afectada por motivos de seguridad, aún sin conocerse con certeza la causa de los daños detectados.

Dentro de los métodos de control más usuales pueden citarse:

- **EL SEGUIMIENTO DE LAS VARIACIONES DE LA APERTURA DE GRIETAS CON LOS TESTIGOS DE YESO** (12 x 6 x 0,6 cm aprox.) **O DE VIDRIO** (7 x 3 x 0,1 cm aprox.). Sólo dan indicaciones de rotura o estabilidad, por lo que son de escasa utilidad para seguir movimientos.



Bulbo de presiones de la Torre de Pisa.

- **DEBEN UTILIZARSE REFERENCIAS FIJAS PARA MEDIR CON *REGLETA EXTENSIOMÉTRICA*** o dejar permanentemente instalados en las grietas más características ***FLEXÍMETROS*** (precisión ± 0,001 mm) para un control óptimo de las mismas.

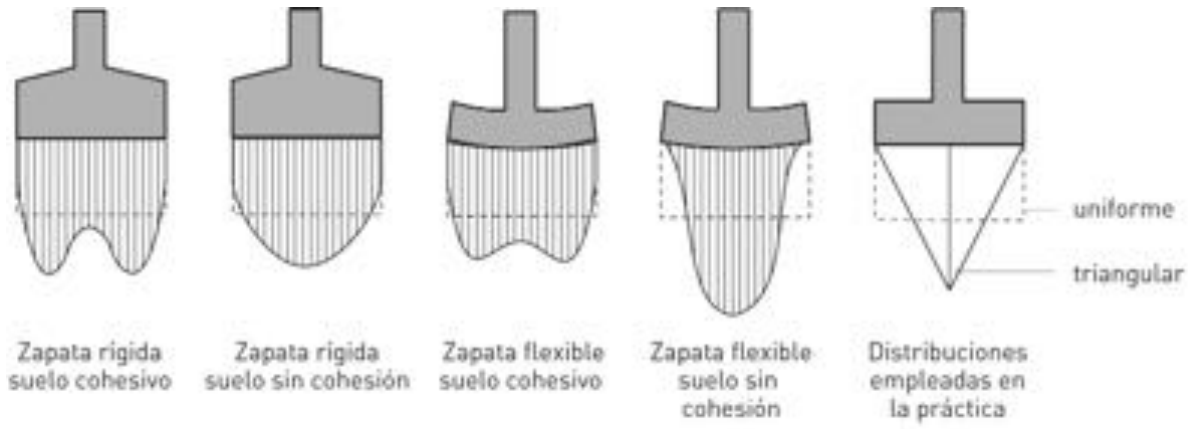
- **PARA LA MEDICIÓN DE DISTORSIONES DE PÓRTICOS, CRUJÍAS**, es útil la instalación de pernos metálicos empotrados en la estructura, como bases para medida con cinta extensiométrica o de convergencia (precisión ± 1 mm).

- **LA MEDICIÓN DE ASENTAMIENTOS DEBE REALIZARSE MEDIANTE NIVELACIONES DE PRECISIÓN** (± 0,10 mm).

- **EL CONTROL DE GIROS Y DESPLOMES DE PARAMENTOS Y PILARES ES PREFERIBLE QUE SE HAGA MEDIANTE PLOMADAS ÓPTICAS O TAQUÍMETROS**.

Puede afirmarse que los asientos del orden de 1 mm por mes entrañan un riesgo notable para cualquier edificación, mientras que 1 mm por año no exigen una evaluación inmediata. La tolerancia de estas medidas es mayor en mamposterías y fábricas de ladrillo que en estructuras de hormigón armado.

Las grietas en tabiquería son indicativas de problemas graves cuando alcanzan velocidades del orden de 2 mm por mes, mientras que los problemas ligeros suelen estar asociados con velocidades de 1 mm por año.



Esquema de distribuciones de presiones bajo una zapata de cimentación.

Sin embargo, lo deseable siempre es que el proceso tienda a una estabilización, lo cual debe deducirse de un seguimiento de las medidas de manera prolongada.

Cuando se recurre a medidas de precisión es importante controlar y registrar los factores externos de influencia como la temperatura, humedad, asoleamiento, etc.

Una vez realizadas las inspecciones de las lesiones, se deben comparar las mismas con los conocimientos y la experiencia que se poseen.

De aquí saldrán las hipótesis sobre las causas que han podido producir los daños y se excluirán los fenómenos no relacionados con el terreno o la cimentación, ya que, antes de proceder a cualquier actuación sobre la cimentación de un edificio, debe existir la seguridad de que los eventuales daños provienen de la misma.

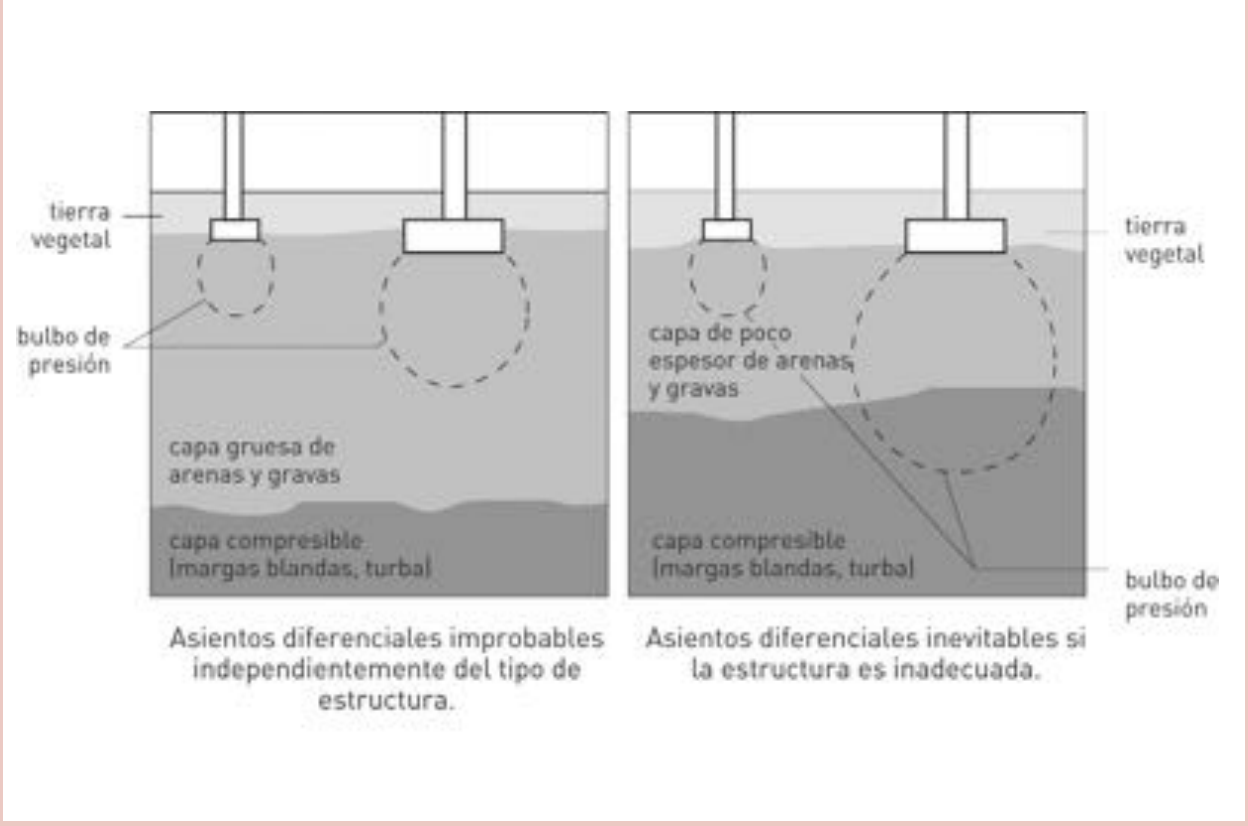
En caso contrario, puede incurrirse en costes innecesarios o incluso provocar nuevos daños.

Este tipo de análisis requiere bastante experiencia, tanto en el campo de la construcción y las estructuras como en el de mecánica del suelo y las cimentaciones, ya que existen formas de agrietamiento o fisuración que pueden explicarse por mecanismos muy diversos.

A modo de resumen, se pueden establecer algunas relaciones:

1. MOVIMIENTO DE BORDE: descenso de testero y descenso de esquina

2. MOVIMIENTOS INTERNOS: en arcos y bóvedas de descarga o descenso de pilares



Análisis de dos zapatas vecinas cargadas desigualmente sobre distintos suelos.

3. MOVIMIENTOS GENERALIZADOS:

- **UNA DEFORMACIÓN CONVEXA** del edificio depende de la rigidez y atado del edificio a nivel de cubierta. Este tipo de deformación se da con frecuencia en arcillas expansivas.

- **UNA DEFORMACIÓN CÓNCAVA** viene acompañada a veces de pandeo de cornisas superiores o aplastamiento de fábricas por causa de las fuertes compresiones horizontales. En el caso de edificios poco rígidos o mal trabados longitudinalmente la resistencia vertical a cortante es muy baja, produciéndose fuertes distorsiones en los huecos de fachada y grietas oblicuas de tracción.

4. GIROS Y DESPLOMES:

- **LOS GIROS DE MUROS DE CARGA** se dan principalmente en testeros y muros de fachada, produciéndose un despegue más o menos profundo de los elementos perpendiculares a los mismos.

- **LOS GIROS DE PILARES** suelen producirse por empujes descompensados, como es el caso de los arcos y bóvedas o por variaciones en la deformabilidad de la cimentación.

- **EL GIRO DE EDIFICIOS EXENTOS** depende de lo monolítico que sea mismo y la resistencia de la estructura. Si se crean condiciones de vuelco o excesivas presiones sobre el terreno se da lugar a un desplome progresivo con el colapso final.

- **EL GIRO DE EDIFICIOS O ELEMENTOS ADOSADOS** puede producir un desgarro de la zona medianera o grietas de transmisión de empuje.

B. COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS ELABORADAS

A partir del estudio y el análisis de las lesiones antes mencionados, se pasa a la corroboración de las hipótesis patológicas sobre el origen de estos daños.

A tal efecto, se procederá a una observación más guiada, buscando precisiones que avalen o refuten las mencionadas hipótesis. Los pasos a seguir son:

- **RECONOCIMIENTO DE LA CIMENTACIÓN.**

- **PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO.**

- **APLICACIÓN DE MODELOS FÍSICOS O MATEMÁTICOS** que justifiquen los movimientos producidos o el comportamiento general observado, así como su probable desarrollo en el tiempo.

  Una vez analizado el mecanismo de deformación y existiendo una presunción razonable de que el terreno ha contribuido en las actuales condiciones, deben encontrarse las causas de este comportamiento.

En definitiva, cuando se trata de un problema de interacción entre un terreno con propiedades heterogéneas de resistencia y compresibilidad y un edificio con una determinada distribución de cargas, no siempre constantes en dirección y magnitud, resulta necesario hacer un reconocimiento detallado de la cimentación y el terreno subyacente.

Si no existe información previa suficiente de tipo geotécnico y estructural esta investigación se torna perentoria antes de proponer cualquier medida correctora.

No siempre es evidente o fácil calcular la magnitud y dirección de las cargas que llegan a la cimentación de un edificio, sobre todo en casos de estructuras de elevada hiperelasticidad o cuando se han alterado las condiciones iniciales de equilibrio.

En cimentaciones superficiales, si el reconocimiento directo es satisfactorio, puede renunciarse a un estudio geotécnico, aunque siempre es recomendable realizarlo.

Sin embargo, ante la menor sospecha de problemas en estratos inferiores, se hace necesario un informe geotécnico del suelo que nos informe de manera fiable sobre la constitución de los estratos que lo componen, sobre la capacidad portante de cada uno de ellos, situación del nivel freático, etc.

Igualmente, será también necesaria una investigación completa en cuanto a posibles fugas –recientes o pasadas– en las distintas tuberías del edificio y de su entorno, y en cuanto a posibles obras recientes superficiales o subterráneas en los alrededores.

Los efectos variables a lo largo del tiempo, como los de la temperatura o el viento, añaden una mayor complejidad a este tipo de determinaciones.

Las técnicas a emplear para analizar pueden ser:

- **LA FOTOELASTICIDAD.**
- **LA DISCRETIZACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS.**
- **LOS MODELOS DE ANÁLISIS FÍSICOS, MAQUETAS, ETC**.

Una operación habitual consiste en la extracción de muestras o bloques representativos del conjunto de elementos que componen el sistema constructivo, y luego realizar ensayos mecánicos, físicos y químicos en el laboratorio.

Utilizando los métodos de la mecánica del suelo, los fenómenos de deformación observados se deben poder justificar, partiendo de la naturaleza y propiedades del terreno así como de las características de las cimentaciones y de las cargas aplicadas.

Como ya se debe haber entrevisto, independientemente de los valores numéricos, en la patología existe una serie de problemas que ya están relativamente tipificados y que deben tenerse presentes a la hora de dictaminar un determinado comportamiento.

Vale recordar, entonces, que la resistencia de los morteros a base de cal suelen variar se resistencia mecánica de 25 a 100 kp/cm^2, según la proporción de conglomerante. Con la adición de cemento pueden alcanzar los 200 kp/cm^2.

Cuando la cimentación es somera su reconocimiento es posible y relativamente fácil, siempre que se tomen las debidas precauciones. Esta operación se realiza en los puntos más significativos mediante catas o pozos hasta el nivel de apoyo, pudiéndose así comprobar las dimensiones, calidad de los materiales y estado de conservación de las zapatas, obteniéndose al mismo tiempo un primer conocimiento del suelo y de su grado de humedad y cohesión.

De todos modos es difícil realizar un pozo de más de 3 o 4 metros en la base de un edificio y la realización de estas operaciones requiere casi siempre la construcción de apeos de la fundación, el acodalamiento de los macizos descubiertos y demás medidas de seguridad. En las cimentaciones profundas, el reconocimiento directo es difícil y costoso, por lo que se recurre normalmente a métodos indirectos o sólo al estudio del suelo.

Es otro dato a tener en cuenta que las cimentaciones medievales son muy heterogéneas en ejecución, tanto en los anchos como en la profundidad.

A veces incorporan restos de edificaciones anteriores y suelen ser bastante superficiales, próximas a los niveles de soleras o pavimentos. Su ancho suele diferir poco del de los muros que soportan y en general la calidad de los morteros y mampuestos suele ser muy deficiente.

No sucede o mismo con las cimentaciones de las civilizaciones griegas, romanas o árabes, que son regulares y de calidad.

Asimismo, las cimentaciones mediante pilotes de madera de corta longitud (3 o 4 metros) y de diámetro pequeño (150 a 250 mm) agrupados en gran número mediante un emparrillado de troncos o mamposterías bajo los muros de carga son difíciles de reconocer por encontrarse bajo el nivel freático. Su deterioro se produce por pudrición de la madera al quedar parcialmente expuesta al aire o por degradación del contacto con la estructura superior.

Las elevadas tensiones de trabajo a las que se solicita al terreno por insuficiente superficie de reparto es un problema corriente en edificios de cierta antigüedad. La utilización de códigos locales de cimentación llevó, a finales del sXIX y con el desarrollo en altura de los edificios, a situaciones límites.

Hoy en día es fácil determinar el coeficiente de seguridad de una cimentación respecto a su asiento si se conocen sus dimensiones, las cargas que llegan a la misma y las propiedades del terreno inmediato.

En épocas anteriores, los reconocimientos del terreno se limitaban a simples catas de observación o a pruebas elementales como la hinca de barras o estacas.

No resulta extraño que el apoyo de las cimentaciones se hiciera muchas veces sobre capas poco fiables o bajo las cuales existían niveles blandos o compresibles. Son frecuentes, en los edificios antiguos, las grandes diferencias de asientos por encontrar apoyos muy distintos.

Esto produce muy a menudo grietas en muros y tabiques y, en el caso de arcos y bóvedas, la ruina estructural.

Las causas fundamentales de estos apoyos diferenciales son:

- **VARIACIONES DE ESPESOR DE UN ESTRATO COMPRESIBLE PRÓXIMO AL NIVEL DE CIMENTACIÓN.**

- **IMPORTANTES DIFERENCIAS DE CARGA ENTRE ZONAS DE UN MISMO EDIFICIO.**

- **ACCIONES LOCALES** (excavación, saturación).

- **DEGRADACIÓN ESTRUCTURAL**: la meteorización y la alteración de elementos pétreos, la disgregación de morteros u otros elementos de madera, la corrosión de apoyos metálicos, armaduras, etc.

C. SELECCIÓN DE LAS INTERVENCIONES A REALIZAR

Esta es la fase que requiere mayores conocimientos tecnológicos y experiencia. Hay que confiarla a empresas especializadas y requiere disponer de una completa información sobre la geometría del edificio, sus cargas, el estado de la estructura y las tolerancias de la misma frente a movimientos y vibraciones adicionales.

Del estudio y análisis de todos los síntomas y de su contraste con nuestras hipótesis, se puede proceder a la redacción del pliego sobre las intervenciones a realizar en la cimentación dañada.

Este pliego o documento es un informe que debe tener muy en cuenta la seguridad del edificio y del personal que intervenga en las obras, también debe definir de forma inequívoca el orden y la forma de realización de todas y cada una de las operaciones previstas.

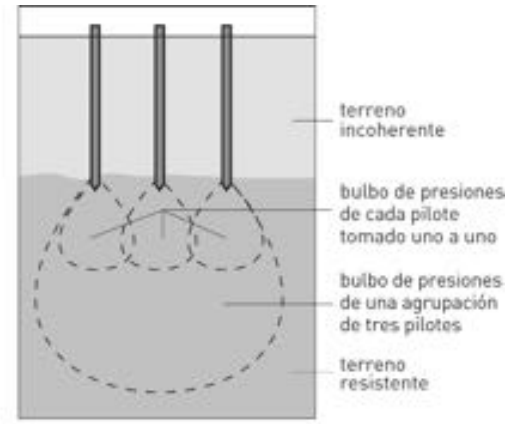
Una parte esencial de este pliego o proyecto de ejecución, es la definición de los apeos y entibaciones a realizar, el momento y secuencia de su colocación, la forma de puesta en carga, como también el momento y secuencia de descarga y cuando se retiran.

Son operaciones muy delicadas que necesitan un estudio detallado, a veces más complejo y más difícil de realizar que el propio recalce, pues se trata de una estructura provisional que va a sujetar parte del edificio durante la ejecución de las obras y que deberá proyectarse de forma que, además, permita sin demasiada molestia la ejecución de los trabajos.

D. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

La ejecución de obras de reparación y recalce exigen una dirección y un seguimiento muy cuidadosos para ir adaptando el proyecto a cualquier situación imprevista, modificándolo si es necesario. Es importante un control de movimientos muy preciso durante toda la obra con el fin de evitar y prever una evolución desfavorable del estado de algunas partes de la estructura.

Debe, por lo tanto, vigilarse continuamente la evolución de las grietas y fisuras existentes, estar atentos a las nuevas que puedan aparecer y verificar la posible variación de desplomes e inclinaciones.



El desconocimiento del estado de cargas que desarrolla un conjunto de pilotes lleva a errores de proyecto y cálculo que son difíciles de subsanar.

CAMPAÑA DE ENSAYOS

La serie de ensayos que se programen sobre muestras de la cimentación tenderán a ratificar o rectificar nuestras hipótesis de trabajo. Muy a menudo, la diagnosis se realiza no sólo con ensayos no destructivos, de ejecución simple y rápida, sino también con ensayos destructivos que implican una mínima intervención sobre los materiales de las fundación.

Estos últimos ensayos nos proveen de medios muy fiables para determinar los parámetros que condicionan el comportamiento estático de una estructura y del camino a seguir en su reparación. Recordemos que en esta fase de la diagnosis, ya hemos realizado varias inspecciones previas, y hemos recavado una información del historial del edificio y ya se ha realizado el levantamiento del cuadro de fisuras de la estructura.

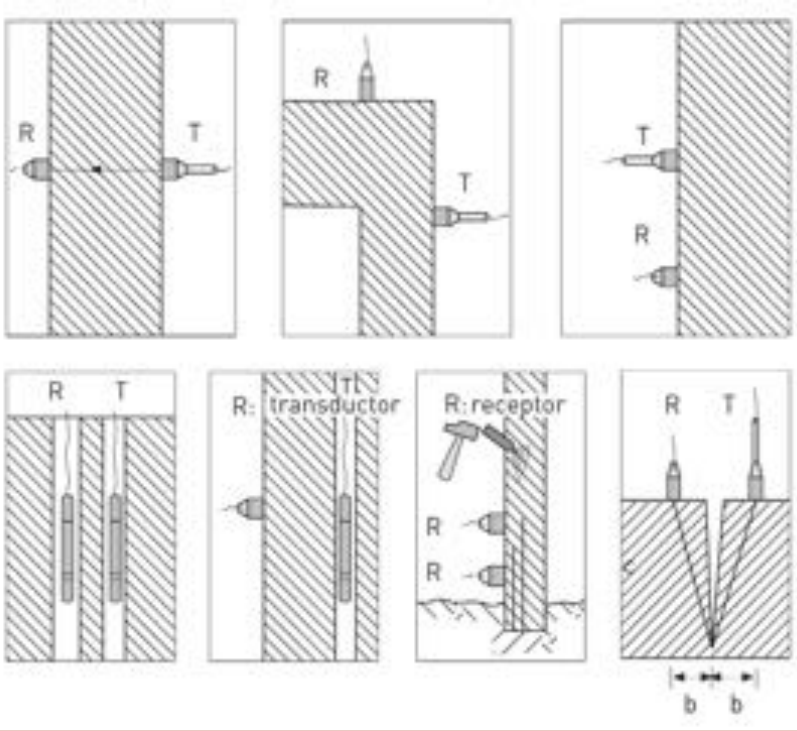
Esta primera evaluación de las condiciones estáticas de la estructura, entones, nos deja en la puerta de los ensayos pertinentes a realizar.

A. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

MEDIDAS SÓNICAS

Entre todos los ensayos de tipo no destructivo las medidas sónicas, sin duda, son las que se utilizan más a menudo. La técnica de prueba está basada en la emisión de ondas de sonido o ultrasonido a un punto de la estructura mediante un sistema de percusión y un transductor electrodinámico conectado a la vez a un aparato receptor.

La medida del tiempo que el impulso tarda para atravesar la sección de material existente entre el generador y el receptor es el dato que se estudia.



Esquemas de ensayo por el método de sonido y ultrasonido.

Los ultrasonidos son utilizados preferentemente para el estudio de las estructuras continuas como las de hormigón. Para el estudio de estructuras heterogéneas como las paredes de carga es necesario utilizar ondas de sonido, las mismas que se utilizan para estudiar terrenos y macizos rocosos.

TOMOGRAFÍA SÓNICA

Esta técnica facilita un relevamiento detallado de la distribución de la velocidad del sonido en una sección plana de la estructura analizada. La técnica se basa en la lectura del tiempo empleado por los impulsos sónicos en atravesar la sección en varias direcciones.

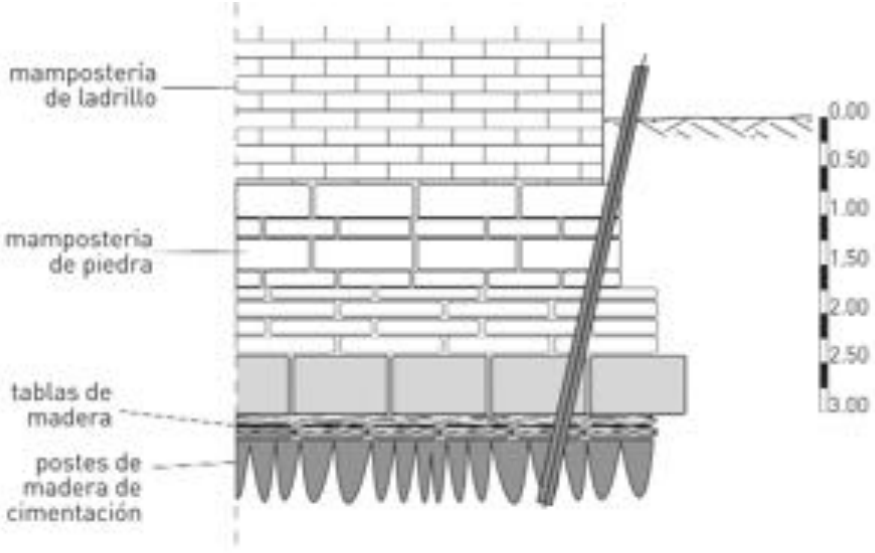
Los datos se elaboran con la hipótesis de que, en un campo de velocidad no uniforme, los impulsos sónicos no se propagan en línea recta sino siguiendo una línea curva a causa del fenómeno de refracción.

La tomografia sónica, ampliamente experimentada en el campo de las grandes estructuras de hormigón, también proporciona resultados útiles en sus aplicaciones en las estructuras heterogéneas como las paredes de carga.

BÚSQUEDA CON RADAR

Este es otro método de ensayo no destructivo para el estudio de las características estructurales de las paredes. Esta técnica utiliza ondas electromagnéticas de alta frecuencia emitidas mediante una antena con impulsos de breve duración.

Las ondas vuelven reflejadas de la superficie de contacto entre materiales de diferentes constantes dieléctricas y son recibidas por una antena y transformadas en señales eléctricas. El resultado se grafica sobre una pantalla y se puede imprimir.



Relevamiento del sistema constructivo de los cimientos de los pilares de la Basílica de San Marco, Venecia, mediante perforación mecánica. Esquema constructivo del cimiento.

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

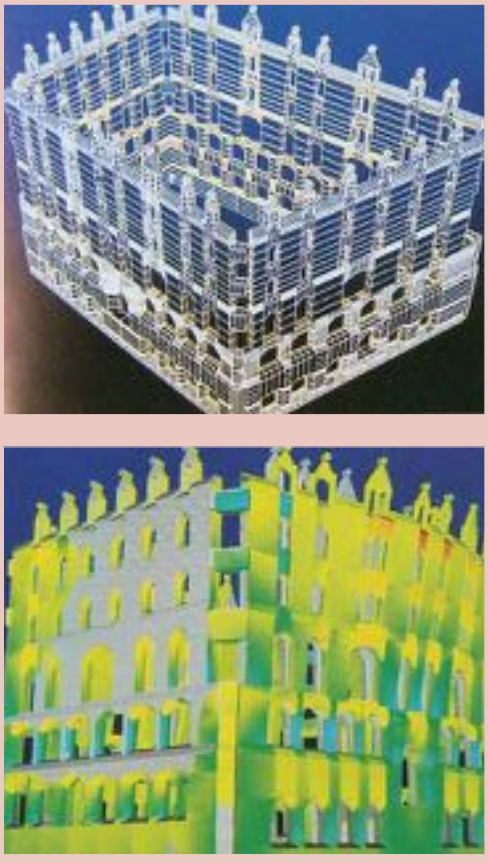
La radiación térmica de una estructura es recogida por aparatos sensibles a los rayos infrarrojos y es transformada en señales eléctricas, que a su vez serán convertidas en imágenes con diferentes tonalidades de color.

El análisis termográfico analiza, de esta forma, la radiación emitida durante una transferencia térmica provocada por fenómenos naturales o bien introducida de manera forzada en la estructura.

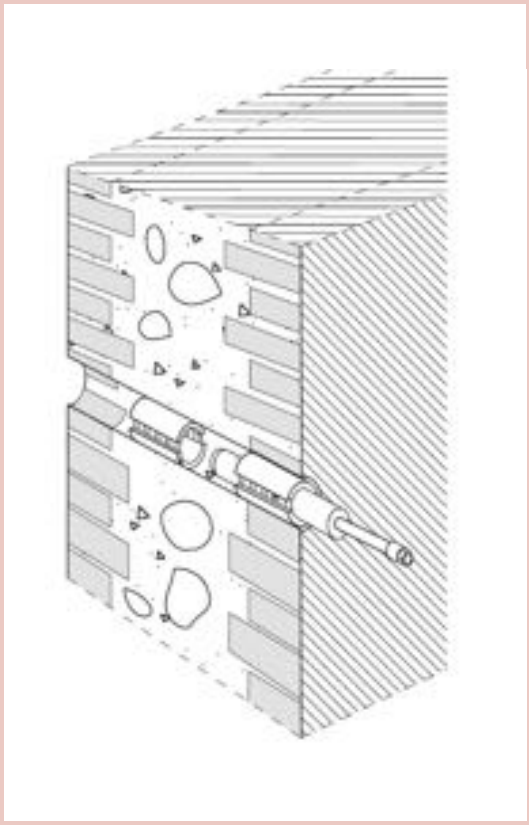
Esta termovisión es utilizada para identificar la presencia de anomalías constructivas en los elementos estructurales cubiertos con un revoque y se ha demostrado que es muy eficaz para estudiar paredes que soportan pinturas al fresco, donde no es posible extraer muestras o se debe trabajar con el máximo cuidado.

B. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Las técnicas de ensayo no destructivo, como ya hemos dicho, no son suficientes para determinar los parámetros necesarios de evaluación de las condiciones estáticas de una estructura.



Sistemas de diagnosis mediante ordenadores y modelos gráficos.



Prueba dilatométrica para la determinación de las características de deformabilidad de la parte interior de una pared de tres hojas. Esquema de la prueba.

Una evaluación de los parámetros para determinar la futura intervención, sólo es posible mediante la utilización de pruebas mecánicas de tipo ligeramente destructivo.

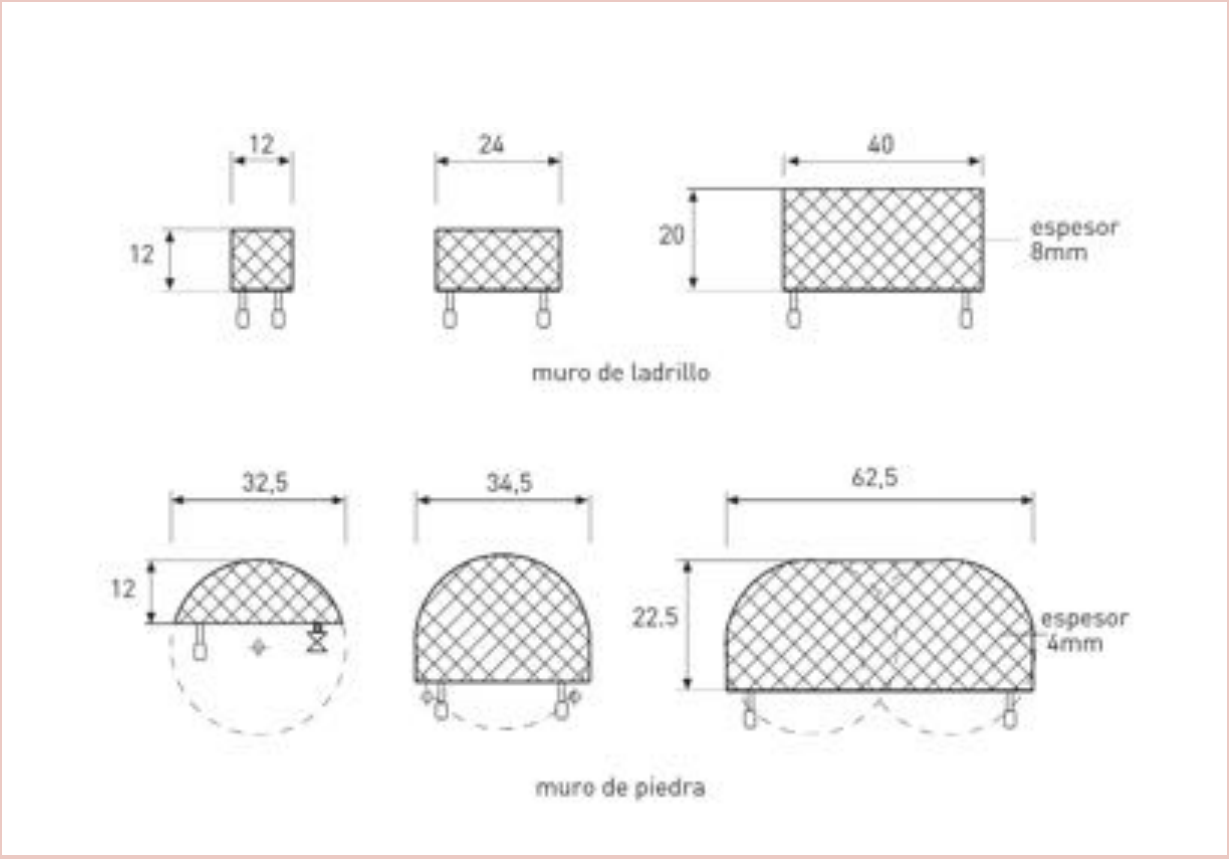
Esto quiere decir que requieren alguna intervención sobre la estructura de la cimentación.

Las pruebas se han de ejecutar de manera simple y rápida para reducir al máximo el costo del ensayo y permitir una rápida restitución de las condiciones originales del elemento constructivo.

RECONOCIMIENTO CON SONDA DE TELEVISIÓN

Para conocer las características estructurales de los diferentes tipos de paredes de un edificio es necesario ejecutar una perforación de pequeño diámetro y recoger unas muestras en los puntos más representativos de la estructura portante.

La perforación debe hacerse por rotación con corona diamantada de diámetro inferior a 60 mm. La perforación se puede realizar en zonas de difícil acceso si se utilizan herramientas de perforación ligeras.



Forma y dimensiones de los gatos planos que se utilizan para medir el estado de solicitaciones de una pared. Dibujos en planta, medidas en centímetros.

Las muestras de material son sometidas a las pruebas de laboratorio que hagan falta para identificar las características fisico-químicas de los materiales.

Una vez realizada la perforación se puede introducir la sonda televisiva para un análisis instantáneo y un posterior monitoreo de la zona.

TÉCNICA DE LOS GATOS PLANOS

Una vez analizadas las características estructurales del aparejo de un muro de carga es indispensable determinar los parámetros que nos informan sobre su comportamiento mecánico.

Las pruebas mecánicas de laboratorio hechas con probetas extraídas por perforación mecánica pueden proporcionar únicamente información sobre las características de los materiales que componen la estructura, pero no permiten alcanzar los parámetros de deformabilidad y de resistencia de la pared en su complejidad y en su totalidad.

La técnica de ensayo de los gatos planos nos permite adquirir una información sin igual sobre el comportamiento estático de una pared, mediante el análisis de los siguientes parámetros:

- **MEDIDA DEL ESTADO DE SOLICITACIONES EXISTENTES EN LA PARED.**
- **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDAD.**
- **EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.**

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDAD DE MUROS DE TRES HOJAS

En este caso, la técnica de los gatos planos no nos informa sobre las características mecánicas de la parte comprendida entre dos hojas exteriores de un muro de tres hojas.

Para resolver este problema se propone una técnica que consiste en analizar separadamente las características de deformabilidad de la parte interna del grueso de la pared.

De esta manera es posible determinar la relación entre el módulo de elasticidad de las hojas exteriores del muro y el del núcleo del mismo.

Aunque la prueba ***DELATOMÉTRICA*** es menos fiable que el ensayo de gatos planos, el método permite comparar los módulos de elasticidad exterior e interior otorgando un información relativa muy útil.

C. ANÁLISIS

APLICACIÓN DE MODELOS FÍSICOS

En un modelo físico se combinan las fuerzas, las solicitaciones, los módulos de elasticidad, los asentamientos, por lo tanto, habrá una escala de fuerzas, una escala de solicitaciones, etc.

Los modelos estructurales modernos son un instrumento válido para la evaluación de la resistencia de la estructura, sobre todo para lo que hace a la descripción de su comportamiento frente a la carga del viento, una carga accidental o a sismos.

APLICACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS

Con el modelo numérico se pueden analizar diversas condiciones de carga –peso propio, carga térmica, asentamientos diferenciales de las fundaciones– y el comportamiento de las deformaciones que permiten comprender mejor los resultados proporcionados por el sistema de monitorización.

Los modelos numéricos proporcionan una contribución significativa al análisis de las condiciones estáticas de una estructura, los cuales utilizan los datos obtenidos en los ensayos in situ, en el laboratorio y en la instrumentación de control.

Los datos de entrada para el modelo matemático o numérico provienen de los ensayos de deformabilidad in situ con gatos planos y la validación del mismo se realiza mediante la comparación entre estas solicitaciones realizadas in situ y las calculadas teóricamente para el modelo.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO

Los ensayos in situ que utilizan métodos dinámicos permiten verificar el comportamiento estructural y la integridad del edificio y pueden ser considerados ensayos de tipo no destructivo.

Las pruebas dinámicas pueden realizarse de acuerdo con los procedimientos siguientes:

- **MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA A CARGAS DINÁMICAS HABITUALES O FORTUITAS A QUE ESTÁ EXPUESTA HABITUALMENTE LA ESTRUCTURA** (tráfico urbano o ferroviario, acción del viento, máquinas).

  Los parámetros dinámicos son determinados mediante la técnica de análisis espectral.

- **SOMETER LA CONSTRUCCIÓN A PRUEBAS DE VIBRACIONES DE BAJA INTENSIDAD** (siempre y cuando no alteren la integridad estructural) a la vez que se registran las respuestas del sistema en términos de traslación, velocidad y aceleración. La respuesta a estas vibraciones es medida por sensores sismométricos.

  Este ensayo permite identificar el comportamiento dinámico de la estructura por medio de la evaluación de parámetros tales como frecuencia natural, formas modales, índice de amortiguación y otros.

El conocimiento de estos parámetros permite calcular la respuesta estructural a cualquier tipo de carga dinámica y, en particular, permite evaluar la resistencia de la estructura a las acciones sísmicas.

DICTAMEN	Presentación	Portada Indice Copyright
	Texto	Introducción Antecedentes Objetivo Ordenación Estudio Conlusiones Resumen
	Complementos	Anejos Bibliografía

ESQUEMA DE UN DICTAMEN PATOLÓGICO
(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).

SISTEMAS DE CONTROL

Los estudios diagnósticos, muy a menudo, van acompañados de la instalación de instrumentos de medida para el control de las deformaciones de la estructura en función del tiempo.

Esta monitorización estructural, a parte de garantizar la seguridad de la estructura durante las diferentes fases de la consolidación, puede ser considerada un medio de investigación muy apropiado para evaluar las condiciones estáticas del edificio.

A. MONITORIZACIÓN ESTRUCTURAL

La instalación de una instrumentación de medida para el control del comportamiento estructural de un edificio es de suma importancia en el estudio de las condiciones estáticas de la estructura.

Esta técnica de reconocimiento tiene un amplio campo de aplicación, ya que además de proporcionar información sobre las condiciones estáticas del edificio, se considera el único medio que permite garantizar la seguridad de la estructura durante los trabajos de consolidación y recalce.

Los principales parámetros que se tienen bajo control suelen ser:

- **LOS ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES DE LAS FUNDACIONES.**
- **LOS MOVIMIENTOS ABSOLUTOS Y RELATIVOS DE LA ESTRUCTURA VERTICAL.**
- **LA ABERTURA DE LAS PRINCIPALES FISURAS DE LA ESTRUCTURA.**
- **LA ROTACIÓN DE ESTRUCTURAS VERTICALES U HORIZONTALES.**
- **EL COMPORTAMIENTO DE LAS DEFORMACIONES DEL TERRENO DE FUNDACIÓN.**
- **LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA DE LA ESTRUCTURA.**

El diseño del sistema de monitorización puede estar basado bien en el uso de sensores eléctricos y adquisición de forma continuada de datos conectada a un sistema de registro, o bien en el uso de instrumentos desmontables y la toma de medidas manuales a intervalos fijos de tiempo.

El primer método permite la monitorización en tiempo real del comportamiento de la estructura sin la ayuda de operarios técnicos presentes en el edificio y facilita la transferencia de datos a larga distancia.

Por el contrario, el método manual de lectura requiere una presencia periódica de operarios técnicos en el edificio y no es capaz de una monitorización continua en tiempo real del comportamiento estructural.

A pesar de esto, el método manual no debe ser descartado ya que suministra información de forma económica, en aquellos casos donde las condiciones ambientales no hacen posible garantizar la protección de los sensores y la obtención automática de datos.

Sin duda, medir los movimientos relativos de las grietas (aberturas y desplazamientos) es el método más sencillo y frecuente que se emplea.

Primero se debe realizar un examen detallado del cuadro fisurativo para detectar las grietas más importantes y representativas del comportamiento de la estructura.

La técnica más sencilla de control de grietas se basa en tomar la medida entre dos pequeñas plaquetas metálicas encoladas a cada lado de la misma.

Sobre una de estas plaquetas se encuentra fija una aguja que señala el movimiento sobre una regla fija en la otra. De cualquier modo, hay varios modelos de estos instrumentos extensiométricos válidos en el mercado.

Por ejemplo, los extensiómetros de hilo se utilizan para medir el movimiento horizontal relativo de estructuras verticales –muros, pilares–.

El instrumento está equipado con un alambre que se mantiene en tensión debido a un peso muerto y con un transductor eléctrico conectado al sistema de recogida de datos. Estos instrumentos son fiables y su instalación es fácil gracias a su gran flexibilidad.

Un péndulo directo sirve para medir los movimientos horizontales absolutos de las estructuras verticales.

Se prepara un pequeño voladizo en la parte superior de la estructura para colgar ahí el cable del péndulo, mientras que en la parte inferior se instala la unidad de lectura, una regleta, que mide los dos componentes de desplazamiento del cable.

Los asentamientos diferenciales de las fundaciones se miden utilizando recipientes nivelométricos, que contienen líquido y se comunican entre sí. Dentro de cada recipiente, un sensor eléctrico mide el nivel del líquido.

Cuando la estructura es afectada por asentamientos diferenciales, también es necesario instalar un sistema de monitoreo geotécnico. El mismo incluye testigos de precisión para medir asentamientos, y niveles piezómetros que permitan analizar la deformación de las diferentes capas del suelo de fundación con relación a las variaciones del nivel freático.

Para medir la inclinación de planos verticales y horizontales se utilizan inclinómetros fijos o desmontables.

B. CONTROL DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

El seguimiento de las deformaciones de la estructura ha de ser contrastada con las condiciones ambientales principales: temperatura, niveles de radiación, humedad relativa y dirección y velocidad del viento.

Sin duda la medida de la temperatura es la más importante, por sus efectos en el comportamiento de la deformación de la estructura. Aunque estos controles no sólo se realizan por la influencia de estos parámetro sobre la estructura misma sino también por su incidencia sobre los instrumentos de precisión.

C. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los instrumentos instalados en diferentes puntos de la estructura deben estar conectados a unidades periféricas que transforman, según el caso, las señales analógicas en información digital o bien las señales eléctricas en información gráfical y digital.

A partir de este lugar se procesa por ordenador la adquisición de datos.

Se recomienda que las unidades periféricas sean conectadas al ordenador con las siguientes funciones:

- **OBTENCIÓN PERIÓDICA DE DATOS A INTERVALOS FIJOS.**
- **OBTENCIÓN EN MOMENTOS ESPECIALES.**
- **REGISTRO Y ELABORACIÓN DE DATOS.**
- **COMPROBACIÓN DE ANOMALÍAS O CUANDO SE EXCEDEN LOS NIVELES CRÍTICOS.**
- **REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS.**

La interpretación de las medidas obtenidas durante los trabajos de restauración han de ser estudiados de manera inmediata para elevar las propuestas de acción y los procesos de corrección que hagan falta.

Sin embargo, las medidas obtenidas durante una monitorización o control a largo plazo se realizan con el objeto de comprender el comportamiento estructural de un edificio con mayor precisión.

Estos controles suelen ser más susceptibles a los efectos ambientales y estacionales y, por lo tanto, los datos han de ser filtrados y tratados estadísticamente para poder ser examinados.

En edificios de cierta importancia, que han sido reparados mediante sistemas complejos, o bien que se encuentran sobre terrenos muy cambiantes, es habitual que su monitorización sea permanente e indefinida en el tiempo.

CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN CIMENTACIONES

Intervenir en la cimentación de un edificio existente es siempre una labor delicada y laboriosa que debe estar justificada, como ya se ha visto, por un estudio y análisis de las lesiones y la elaboración de un informe diagnóstico, en el que se incluye la elección de la solución a adoptar y la forma de ejecución de la misma.

La intervención en la cimentación tiene básicamente dos objetivos:

- **DETENER Y CORREGIR LAS DEFORMACIONES.**
- **ELIMINAR O CONTROLAR LAS CAUSAS QUE LA ORIGINAN.**

En algunos casos las deformaciones del edificio pueden detenerse por completo, en otros la intervención sólo las limitará a niveles aceptables.

La eliminación de las causas de los fallos es una operación ineludible para que nuevos problemas no vuelvan a aparecer. Esto no siempre es posible realizar de manera completa y en tal caso, se controlará al máximo las condiciones desfavorables, ya sea a través del uso del edificio, el control de las características del terreno o del entorno, etc.

Una posibilidad dentro de las intervenciones es no sólo reparar las lesiones acaecidas, sino incluso restituir el edifico a su posición original. Para ello se le hace recuperar los desplazamientos, los giros o los vuelcos producidos.

Estas operaciones son muy complicadas y costosas y, por consiguiente, se limitan a casos en los que los movimientos han sido excesivos y son incompatibles con el uso del edificio –siempre y cuando el edificio permita esta delicada operación–.

Cuando la intervención corresponde a reformas o cambios de uso del edificio que se supone en perfectas condiciones en su estado actual, su planteamiento no ofrece mayores inconvenientes.

Se trata de una intervención programada de refuerzo donde los tiempos de las lesiones no influyen. La mayor dificultad estriba en que la solución adoptada no produzca deterioros o movimientos en el edificio a remodelar.

Distinto es el caso en que las obras de refuerzo y recalce se realizan bajo la presión de una situación que, como la de los asientos diferenciales, exigen la máxima rapidez en la toma de decisiones.

De cualquier modo, la elección de la solución que se adopte está muy relacionada con la forma de ejecución de la misma.

La forma de ejecución de la obra, las distintas operaciones a realizar y el orden o secuencia de su realización tienen que estar previstas y perfectamente definidas en el pliego de obras de intervención, como ya se ha señalado anteriormente, y deben ser consecuentes con la solución constructiva adoptada.

En este sentido, el constructor debe conocer las ayudas que debe facilitar para poder realizar la solución proyectada, los accesos a habilitar para la ubicación de los equipos, el apeo que ello puede precisar, y los plazos a respetar para acometer los trabajos finales.

Asimismo, deberá tener en cuenta que la estructura suele estar en un estado de estabilidad más precario durante la realización de los trabajos –por roturas de tabiquería para los accesos de máquinas, excavación de zanjas, aportación de materiales no endurecidos, fases de ejecución de los tajos, etc.– que antes del inicio de los mismos, y que las anomalías no cesarán en el instante de terminarse el recalce o tratamiento, sino que precisarán un cierto período de estabilización y puesta en carga.

Por otro parte, el que encomienda las obras de reparación debe conocer el alcance económico de la solución planteada, siendo consciente que en este tipo de soluciones es posible que las hipótesis de partida puedan sufrir variaciones en el propio transcurso de los trabajos.

Se puede decir que la mayoría de los casos de intervención suele darse en las cimentaciones someras, es decir, en aquellos casos en que la cimentación existente está realizada a nivel de apoyo mínimo necesario, tanto en edificios sin sótano como en aquellos que tienen uno o más sótanos. Aquí es donde se dispone de una mayor gama de soluciones.

Los casos en que la cimentación existente es profunda, o sea, mayor que la estrictamente necesaria para el uso del edificio –pozos, pilotes, muros pantalla–, las intervenciones sobre las mismas se centrarán en el refuerzo o sustitución mediante pilotes.

Hay otras operaciones de refuerzo y corrección de cimientos que operan no sobre las fundaciones mismas sino sobre el terreno de apoyo. Estas operaciones de mejora del terreno se pueden ejecutar, si es necesario, conjuntamente con las obras que se realizan sobre las fundaciones mismas.

EDIFICIO	FUNDACIONES	SUELO	CONSTRUCCIONES AFECTADAS
Descripción de las estructuras y las sobrecargas	Tipos	Estudio geotécnico con descripción y características	Tipos
Elementos rígidos vinculados a la estructura	Dimensiones	Resistencia y deformabilidad	Cargas
Movimientos y lesiones	Estado de conservación	Situación del nivel freático	Deformabilidad
Localización de la red de alcantarillado y acometidas de servicios	Lesiones	Posibilidad de excavación	Estado de conservación

INFORMACIÓN A RECABAR PREVIA A LA EJECUCIÓN DE RECALCES
(Fuente: Manual de Geotécnia i Patologia, Diagnosi i Intervenció en Fonaments).

El siguiente apartado plantea el itinerario por las intervenciones en las cimentaciones defectuosas de la siguiente manera.

Se describirán las intervenciones superficiales, las profundas, y las que se realizan sobre el terreno, luego se desarrollarán algunas intervenciones especiales o poco corrientes y el punto finalizará con los problemas más habituales en la ejecución de los refuerzos y con una serie de medidas para prevenir los fallos en la cimentación.

INTERVENCIONES SUPERFICIALES

En este tema se tratan los casos en los que la mejora de las condiciones de cimentación se consigue actuando a un nivel próximo al de los cimientos existentes, o mejorando la resistencia del terreno de apoyo.

Esto se debe bien a que la cimentación es de por sí somera o bien a que una consolidación superficial del terreno es suficiente.

Hay tres tipos de actuaciones según sea la necesidad de la cimentación o la calidad del firme: el refuerzo, la ampliación y la sustitución.

REFUERZO: solución empleada cuando el área de apoyo es suficiente pero la cimentación es deficiente por mala ejecución o deterioro.

AMPLIACIÓN: Cuando la cimentación es correcta y se conserva bien pero tiene un área de apoyo insuficiente, es necesaria la ampliación de la cimentación para conseguir la superficie de apoyo conveniente.

SUSTITUCIÓN: Por último, cuando la reparación o ampliación de la cimentación no es viable por el grave deterioro que presenta unida a dificultades para su refuerzo, habrá que optar por esta actuación, proporcionando al elemento estructural una cimentación completamente nueva, donde no se tendrá en cuenta la cimentación existente.

REFUERZO MEDIANTE INYECCIÓN

El refuerzo de una cimentación por inyección consiste en rellenar con lechada o mortero de cemento los huecos existentes en el macizo de cimentación. Esta inyección al fraguar formará un hormigón de mayor resistencia y el cimiento ganará cohesión suficiente para la función sustentante.

La inyección a presión de lechada o mortero de cemento es una buena solución para mejorar cimentaciones de baja calidad los cuales deben poseer espacios comunicados para poder progresar.

Esto es posible, por lo general, en edificios antiguos que poseen macizos de cimentación constituidos por mampostería en seco, gravas o incluso cascote, que como mucho pueden tener un aglomerante muy bajo en dosificación y, en consecuencia, degradado.

Algunos hormigones excesivamente pobres, de mala granulometría y con profusión de huecos son aptos también para la operación de refuerzo por inyección.

El refuerzo por inyección tiene la ventaja de que la puesta en carga queda hecha en la misma operación.

El mayor problema se halla, al tratarse de una operación ciega, en la incertidumbre de que no haya sido correctamente inyectada toda la masa. Si hay dudas, hay que proceder a la extracción de testigos convenientemente situados para comprobar que la inyección fue completa.

Esta técnica de refuerzo necesita también un cuidadoso reconocimiento del terreno que rodea al cimiento, ya que si éste es permeable a la inyección, la misma puede perderse en huecos innecesarios y no producirse donde interesa.

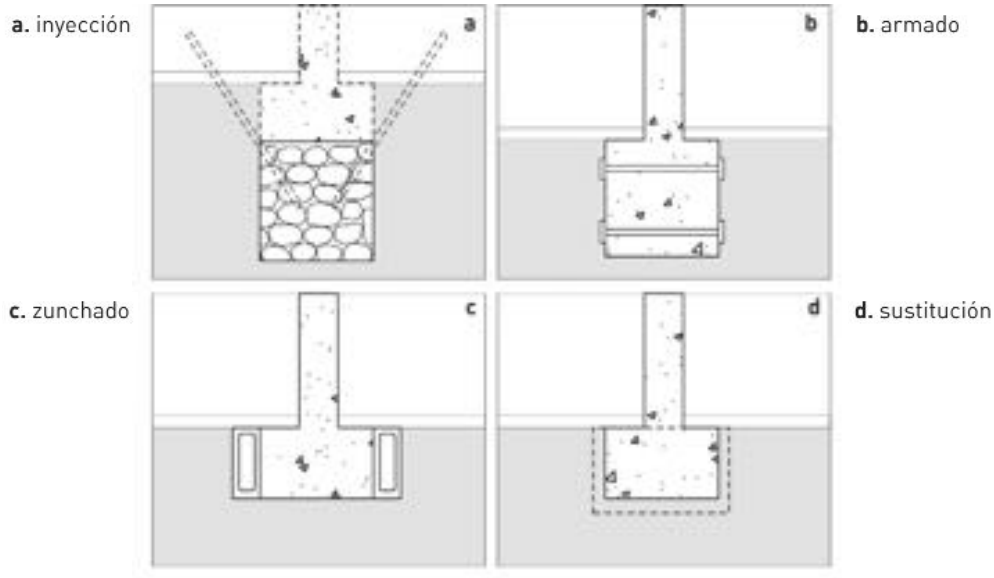
Para evitar este accidente, la inyección debe comenzar en el fondo y el contorno de la cimentación, esperar su fraguado para conseguir una franja impermeable y terminar la operación, siempre de abajo hacia arriba, controlando el volumen de lechada consumida.

La inyección, se deduce, debe ser realizada por una empresa especializada y con operarios expertos en esta técnica.

En zapatas aisladas o cuando el terreno es muy permeable, la situación es más crítica, y una solución efectiva, aunque cara, es la hinca de tablestacas que rodeen el cimiento para evitar los escapes laterales de la inyección.

También se puede retener el escape lateral de la inyección de lechada mediante la construcción previa de muretes de ladrillo o de hormigón.

La solución es buena y necesita menos medios que la de tablestacas, pero tiene el inconveniente de la necesidad de excavar previamente los laterales del macizo para la construcción de los muros, operación que entraña el peligro de desmoronamiento del macizo degradado.



Intervenciones superficiales sobre cimentación existente.

CIMENTACIÓN EXISTENTE	PROFUNDIDAD DEL RECALCE	TIPO DE RECALCE	SOLUCIÓN EMPLEADA
Superficial	Superficial	Refuerzo	Inyección Inyección confinada entre tablestacas Inyección confinada entre muretes Introducción de armaduras
		Ampliación	En el entorno Por debajo Mejora del terreno
		Sustitución	Zapatas corridas Zapatas aisladas Puenteado
	Profunda	Pozos Pilotes	Por pozos Pilotes Micropilotes Pilotes especiales
		Construcción de sótanos	Bataches Pozos Muros descendentes Micropilotes
Profunda	Profunda	Pilotes	Pilotes

CLASIFICACIÓN DE LOS RECALCES

(Fuente: Tratado de Rehabilitación Nº 3. Elementos Estructurales).



Refuerzo de cimentaciones superficiales mediante inyecciones.

REFUERZO MEDIANTE LA INTRODUCCIÓN DE ARMADURAS

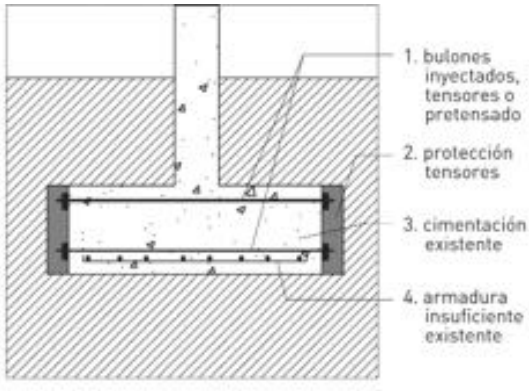
Un caso poco frecuente es el de la existencia de zapatas compuestas por un hormigón de calidad suficiente pero con una sección de acero insuficiente para soportar los esfuerzos de flexión. Esto puede suceder o bien por error de proyecto o bien de ejecución.

El refuerzo consiste, por lo tanto, en introducir armaduras adicionales taladrando el hormigón. Esta es una operación delicada y engorrosa ya que los taladros deben tener gran precisión de ejecución.

La armadura introducida debe ser puesta en tensión y posteriormente inyectada con resinas; se trata de un verdadero pretensado de la zapata.

Pero esta solución es aplicable solamente cuando el defecto ha sido detectado a tiempo, es decir, antes de la rotura de la zapata.

Si la zapata presenta una clara rotura, el refuerzo mediante la introducción de armaduras no sirve y habrá que recurrir al recalce o a la sustitución del cimiento.



Intervención en fundación superficial: refuerzo de zapata mediante la introducción de armaduras.

AMPLIACIÓN LATERAL DE LA CIMENTACIÓN

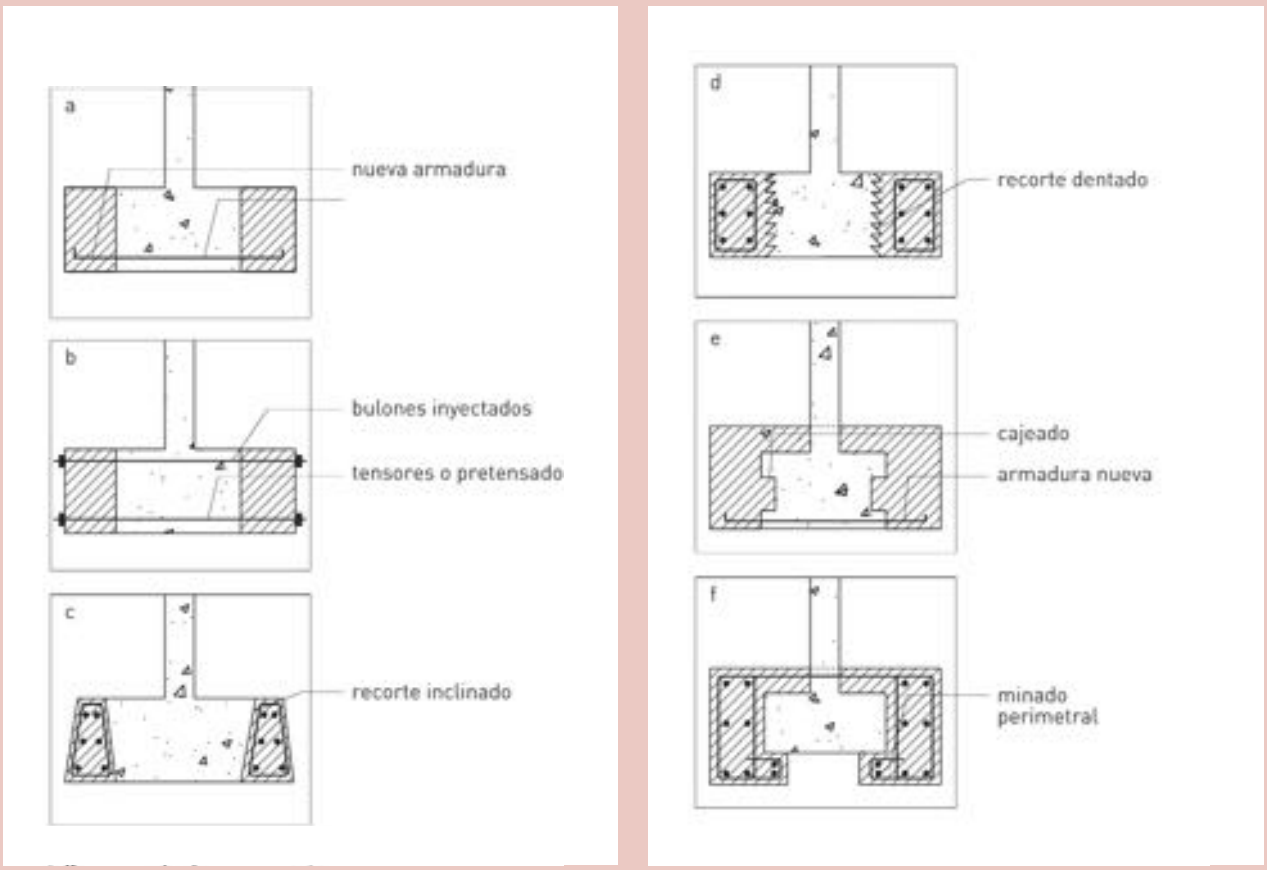
Cuando la superficie de apoyo de las zapatas resulta insuficiente por trabajar a tensiones muy elevadas o porque los materiales que la conforman se han degradado, hay que proceder a su ampliación. Este método también se utiliza cuando se van a aplicar mayores cargas que las existentes y el estrato de apoyo es de resistencia suficiente para la nueva situación.

La nueva zapata va a tener el mismo canto que la existente aunque a veces se impone el aumento del mismo por encima de la zapata a ensanchar, siempre que ello sea posible, ya que no es recomendable que la nueva zapata tenga un canto demasiado pequeño nto en su plano. La trabazón puede conseguirse mediante bulones, resinas, el dentado de la junta de contacto o el acuñamiento de forma.

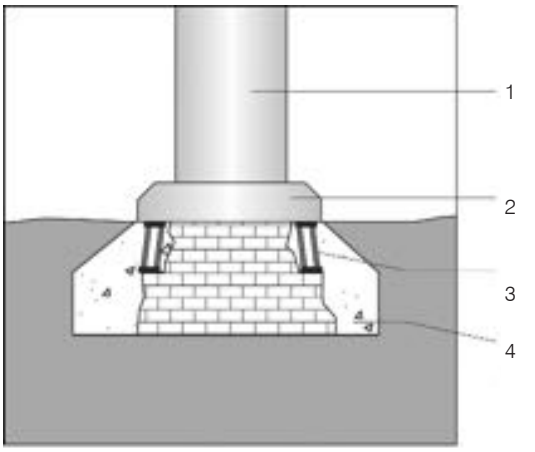
El problema fundamental en esta operación de ampliación es la unión de la parte nueva con la antigua y que la puesta en carga del conjunto se consiga sin asientos excesivos. Es necesario que el hormigón nuevo y el viejo queden totalmente adheridos para que formen un solo macizo.

El hormigón nuevo debe tener una resistencia característica igual o ligeramente superior a la del existente y de nada sirve que sea muy superior.

Para que el conjunto funcione, entonces, como una sola pieza, la buena unión de los hormigones se consigue con una cuidadosa preparación de la superficie de contacto, picando y limpiando la zapata antigua, y consiguiendo un perfil de contacto óptimo entre ambas partes.

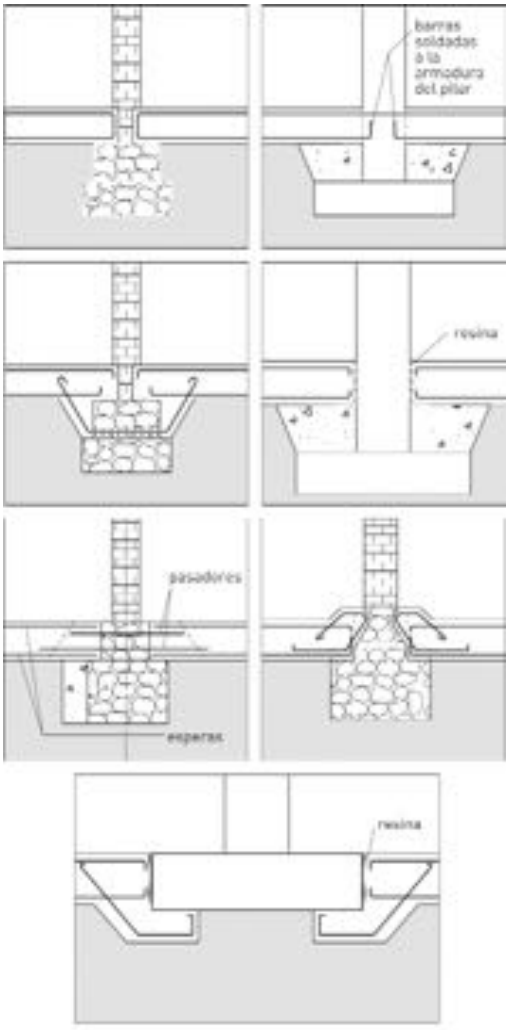


Intervenciones sobre fundaciones superficiales: ampliación de la cimentación actuando en el contorno.



1. Pilar 2. Anillo de refuerzo 3. Castilletes Pynford
4. Ensanche de hormigón

Intervención sobre fundación poco profunda: recalce con castilletes metálicos perdidos.



Creación de losas en cimientos someros existentes.

Una buena adherencia puede obtenerse, también, impregnando la superficie de contacto del hormigón viejo con resinas epoxi antes del hormigonado. En las zapatas aisladas, la propia retracción del hormigón beneficia a la adherencia por el efecto de zunchado que proporciona el hormigón nuevo al fraguar.

Esto no ocurre, sin embargo, en las zapatas corridas, por tratarse de dos agregados separados por la misma zapata.

Con todas estas soluciones la puesta en carga no está asegurada y tampoco es posible llevarla a cabo de manera controlada. Por este motivo, se produce un cedimiento para que la zona ampliada funcione a pleno rendimiento.

Por tanto, antes de adoptar esta solución, se debe valorar si las consecuencias de estos asientos son admisibles o no.

Puede hacerse la siguiente clasificación de las soluciones de ampliación por el contorno:

- **ENSANCHE DEL CIMIENTO EN SU PLANO**. La trabazón puede conseguirse mediante bulones, resinas, el dentado de la junta de contacto o el acuñamiento de forma.

- **SISTEMA PYNFORD**. Es una variante patentada que consiste en introducir unos castilletes metálicos en huecos abiertos en las cimentaciones, pasando entre ellos las armaduras y que sustituyen así las viejas zapatas de mampostería por bloques de hormigón armado.

- **PUENTEO DEL CIMIENTO POR ENCIMA DEL MISMO**, transmitiendo las cargas a un anillo que contornea y ensancha la cimentación. En el caso de muros el puente puede formarse mediante vigas de acero u hormigón. Si se trata de pilares aislados es necesario formar una base armada contorneando el arranque de los mismos, lo cual genera problemas de espacio. En cualquier caso, el ensanche de las zapatas puede tener una configuración muy distinta de la original.

Frecuentemente el ensanche de zapatas se complementa con el arriostrado de las mismas en una o dos direcciones.

Este tipo de ampliación tiene la ventaja de la seguridad en la ejecución, puesto que las zapatas no son descalzadas en ningún momento.

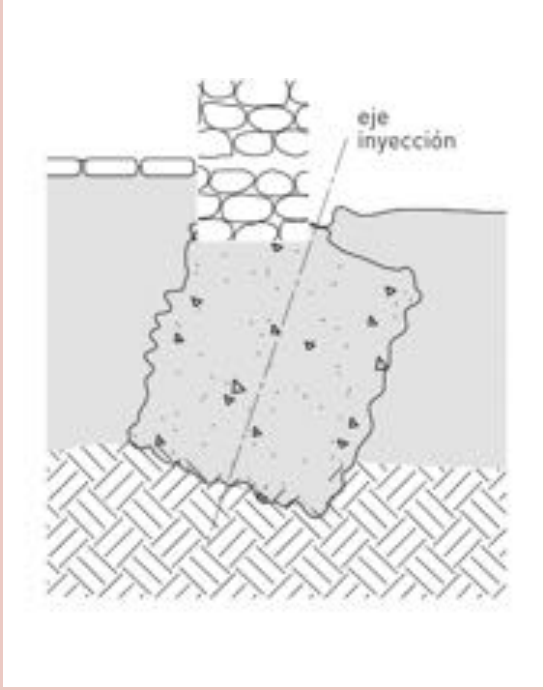
Existe un caso límite del ensanche de zapatas y es el que consiste en macizar el espacio existente entre las mismas, creando una especie de losa continua.

AMPLIACIÓN POR DEBAJO DE LA CIMENTACIÓN

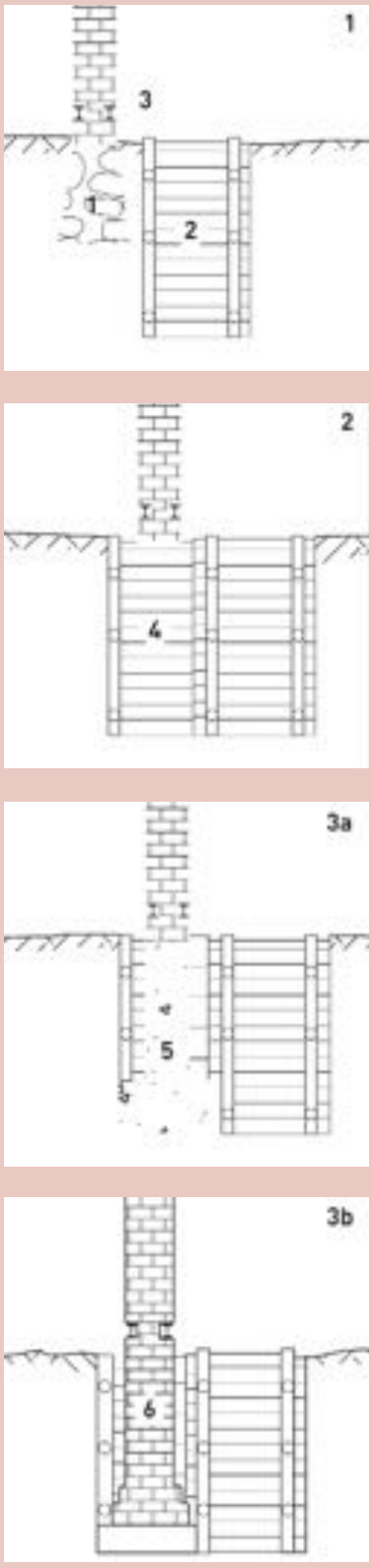
Esta operación consiste en construir una zapata debajo de la existente con las dimensiones suficientes para soportar la carga que realmente actúa o que se prevé que va a actuar. Es una solución muy efectiva y no precisa adherencia entre hormigones ni engorrosos taladros.

Sin embargo, la operación obliga a minar la zapata, por supuesto en fases sucesivas, por lo que es necesario descargar mediante apeos la cimentación existente. Su realización es más sencilla y segura en cimentaciones de zapatas corridas que en zapatas aisladas. Por lo que el recalce de la cimentación de un pilar necesita mayor cuidado en su puesta en carga que el del cimiento de un muro.

Por lo antedicho, se deduce que no es lo mismo ampliar la cimentación de un edificio cuyas cargas durante la ejecución de la obra son las máximas previstas, que intervenir en el cimiento de un inmueble que acusa asientos permanentes por insuficiencia de cimentación. Hay edificios que admiten un pequeño asiento sin mayores problemas y no se necesita ninguna operación de puesta en carga.



Procedimiento Soilcrete para recalce de muros de mampuestos.



1. antigua cimentación de mampostería **2.** pozo de recalce entibado **3.** perfiles metálicos para apeo del muro a lo largo del pozo de recalce **4.** pozo de recalce bajo cimentación **5.** muro y zapata de hormigón **6.** muro de ladrillo y zapata de hormigón

Operación de recalce de un muro de fábrica mixta (dos variantes).

Pero lo correcto siempre es emplear morteros expansivos en la junta horizontal entre los macizos nuevo y viejo para su puesta en carga, cuya efectividad sabemos que sólo se puede evaluar de manera imprecisa.

También se pueden utilizar gatos hidráulicos, normales o planos, para conseguir una puesta en carga gradual y controlada.

La operación de ampliación comienza con la descarga total del cimiento, o dejando como máximo actuar sobre el mismo el peso propio del muro o pilar de la primera planta. Incluso con la descarga total del cimiento, es prudente realizar la operación por puntos, es decir, por fases sucesivas o ***BATACHES***.

En el caso de zapatas corridas, se recalzará la zapata en un ancho que depende de la calidad del muro que sobre ella gravita, de la presencia de huecos en el mismo y de la calidad de la propia zapata.

Un muro de calidad y sin huecos admite aperturas anchas –de hasta 2 metros–, ya que funcionará como viga o arco de descarga. En casos menos fiables esta anchura debe ser menor de 1 o 1,20 metros.

Los casos de zapatas aisladas es de mayor compromiso y debe realizarse, por lo menos, en tres fases. Se construirán primero los dos recalces laterales y después el central, otorgando a las tres operaciones un tiempo prudencial para el fraguado del hormigón y el retacado con mortero expansivo.

El apeo previo en estos casos debe ser ejecutado de manera calculada y esmerada.

SUSTITUCIÓN DE ZAPATAS CONTINUAS

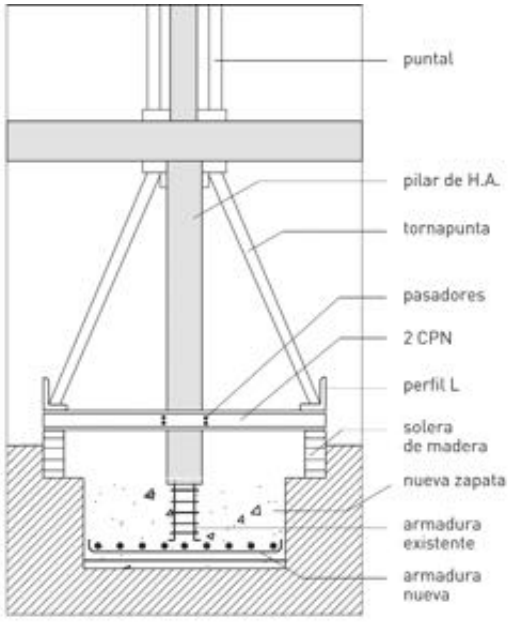
En algunas ocasiones no es viable el refuerzo o recalce de cimentaciones, por lo que será necesaria la construcción de una nueva que la sustituya, conservando o no la cimentación existente y no contando nunca con su colaboración.

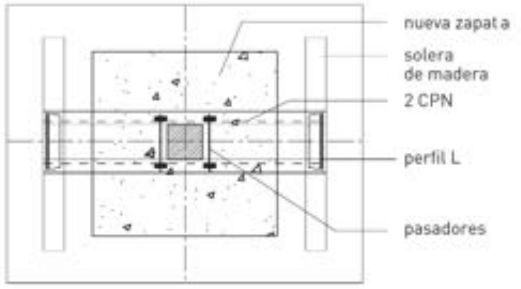
En el cimiento de muros la sustitución se realiza por puntos, y no será necesaria la descarga total si el muro se halla en buenas condiciones y no posee muchos de huecos.

La operación de sustitución se hace mediante pozos –bataches– construidos con descalce parcial de la cimentación existente y bajando hasta un nivel de terreno resistente. Normalmente se realiza también un aumento del área de contacto de la nueva cimentación.

Este método de sustitución es muy usado para el recalce de muros con zapata corrida ya que la propia rigidez estructural permite puentear los sucesivos huecos creados.

En el caso de las zapatas aisladas es de difícil ejecución ya que el proceso supone una concentración de esfuerzos desfavorable. Únicamente cabe utilizar este método sin apeo intermedio cuando se trata de grandes macizos de cimentación.





Intervención superficial: sustitución de una zapata de un pilar de hormigón armado.

En algunos casos el recalce se hace con fábrica de ladrillo, similar al muro recalzado, sobre una zapata de hormigón pero en general se construye con hormigón todo el recalce.

Los problemas fundamentales asociados con este tipo de recalces son la excavación de los bataches y la puesta en carga del muevo cimiento. Estos dos temas se ampliarán más adelante.

Un tipo especial de recalce es el procedimiento denominado Soilcrete. Consiste en abrir un batache de hasta 1 metro de diámetro bajo un cimiento mediante agua inyectada a presiones de 100 a 300 kp/cm^2 por un pequeño taladro.

La cavidad se rellena con mortero de cemento, llegando a hacer tantos bataches como requiera el recalce.

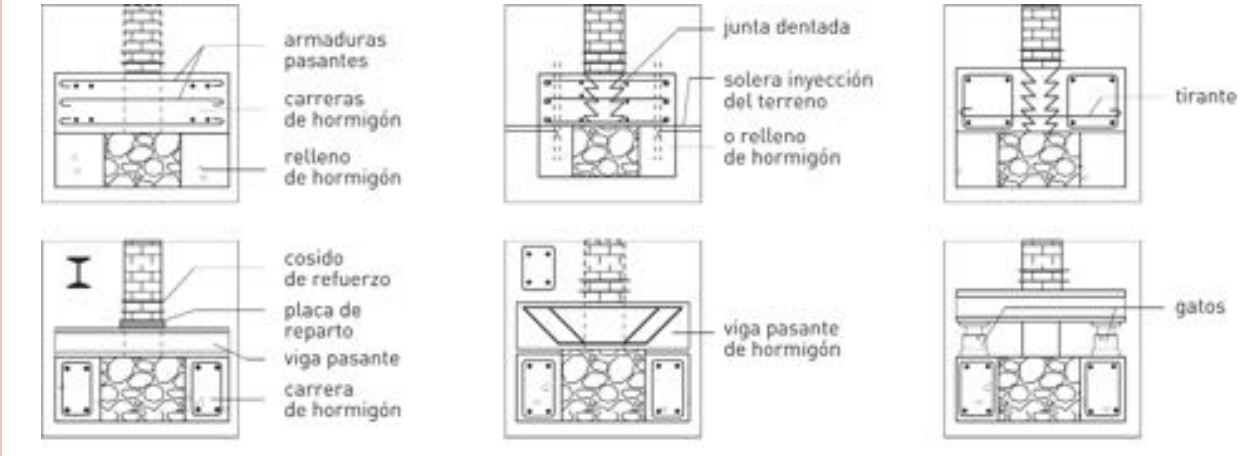
El procedimiento requiere un control muy cuidadoso y es aplicable preferentemente en suelos de grano fino algo cohesivos. La puesta en carga del batache se consigue por la misma presión de inyección lo cual es una gran ventaja.

SUSTITUCIÓN DE ZAPATAS AISLADAS

Como es de esperarse, la sustitución de una zapata aislada es mucho más comprometida que la de una zapata corrida, puesto que en la última se puede actuar por puntos pero en la zapata aislada se hace casi siempre necesaria la demolición completa de la zapata existente antes de la ejecución de la nueva.

Siempre será necesaria la descarga mediante apeos, y en el caso de la zapata aislada el apuntalamiento deberá ser total y de absoluta calidad.

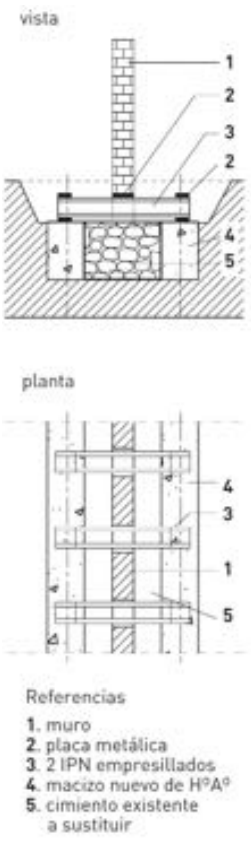
Por un lado, la cimentación de pilastras de fábrica –ladrillo, mampostería o bloques– tienen un área de apoyo sobre el cimiento relativamente amplia, aunque se trata de zapatas aisladas, y pueden ser sustituidas por puntos en la mayoría de los casos, con las ventajas que comporta el no tener totalmente suprimido el apoyo durante la operación. La puesta en carga debe hacerse con un mortero expansivo.



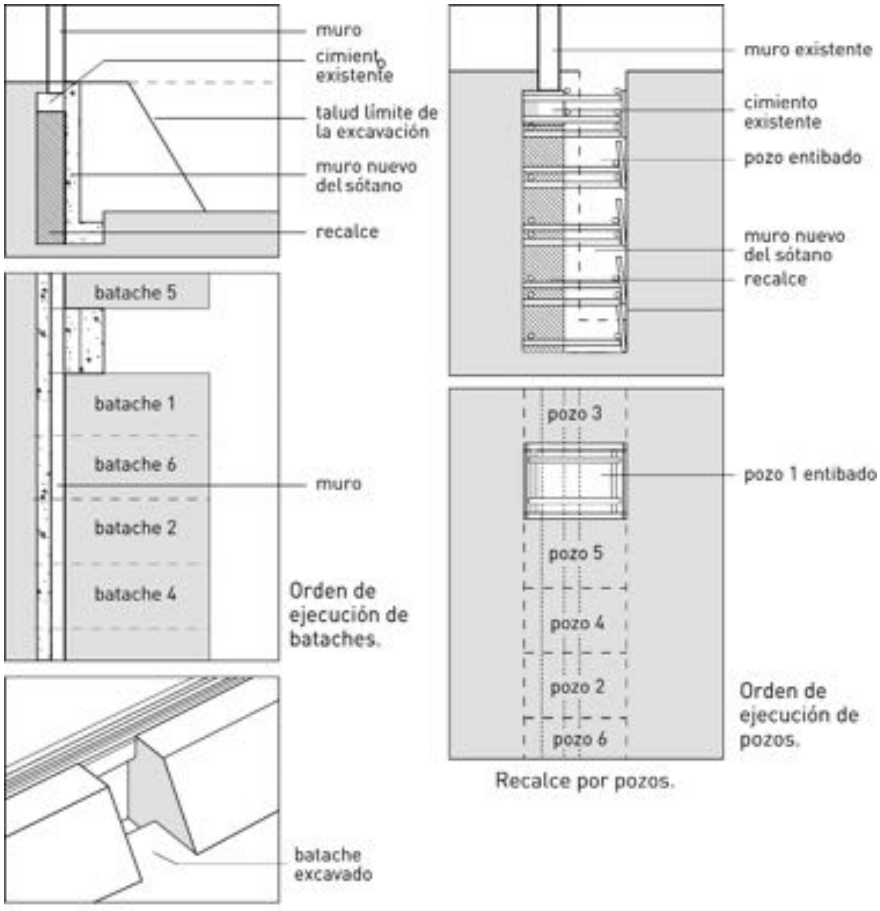
Intervención sobre zapatas corridas. Soluciones de ensanche y puenteo.



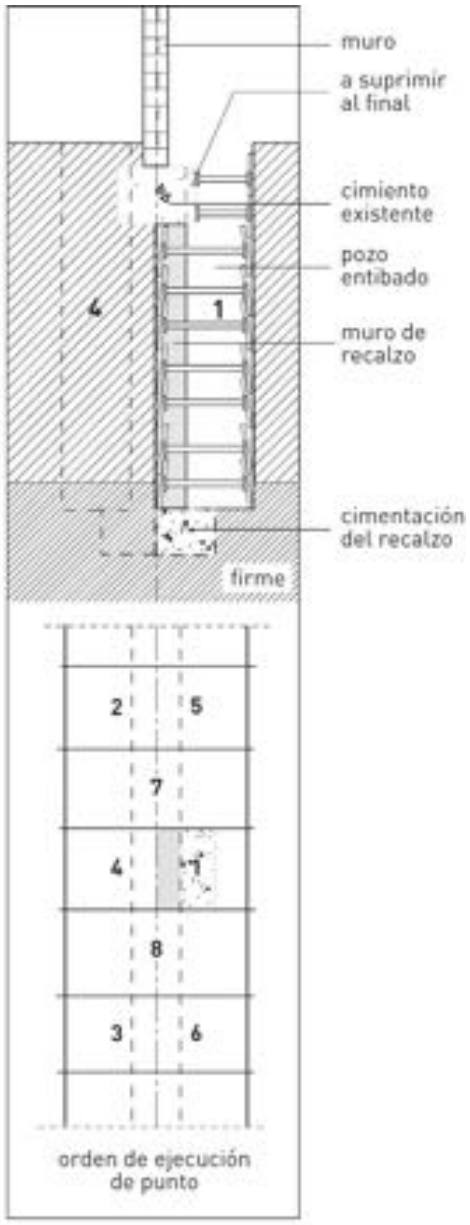
Actuación de ensanche de zapatas corridas con mejora del terreno.



Operación de sustitución mediante puentes metálicos de una zapata corrida.



Construcción de sótanos: recalces.



Operación de recalce de una zapata corrida por pozos.

Por otro lado, la sustitución de la cimentación de pilares de acero u hormigón deberá hacerse de una sola vez, dada la escasa sección del apoyo, y el apeo deberá ser total incluyendo el peso propio del pilar desde su arranque.

El apeo supone, como varias veces se ha dicho, la operación más delicada del trabajo, ya que luego el procedimiento de la sustitución es sencilla: simplemente demoler el viejo cimiento y construir el nuevo.

La puesta en carga en el caso de pilares de hormigón no es posible, pues la cimentación debe quedar desde el primer momento solidaria con el pilar.

Lo que sí se puede hacer es acuñar bien el apuntalamiento para contrarrestar la ausencia de la puesta en carga final.

En la sustitución de cimentaciones de pilares metálicos, la puesta en carga sí es posible actuando en la junta existente, entre la placa de asiento del pilar y la nueva cimentación.

Se puede realizar utilizando un mortero expansivo o cuñas metálicas, cuidando de dejar la holgura necesaria para una u otra solución.

SUSTITUCIÓN MEDIANTE PUENTEADO

Consiste en construir la nueva cimentación en los laterales o perímetro de la existente y dirigir las cargas de la pieza a la nueva cimentación mediante puentes de acero u hormigón armado.

Este procedimiento se parece bastante al recrecido de cimentaciones en el mismo plano, pero aquí no se tiene en cuenta la colaboración del cimiento antiguo.

Se trata de un procedimiento más caro que los anteriores, pues añade a los materiales empleados las piezas que deben trabajar a flexión y cuya flecha de cálculo deberá ser muy estricta.

Sin embargo, es una solución más segura, puesto que la cimentación existente se mantiene durante la ejecución.

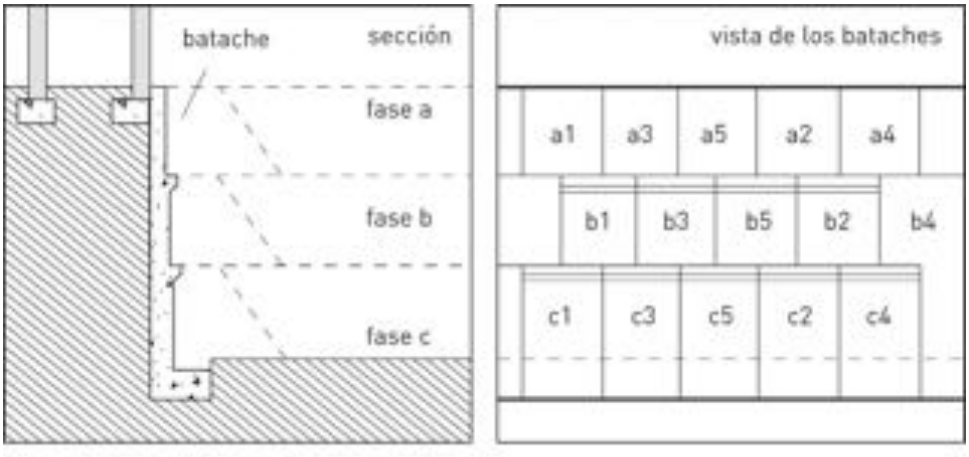
Luego de posicionar y nivelar las vigas con especial cuidado, se procede a la puesta en carga del conjunto actuando mediante cuñas metálicas o un mortero expansivo en el apoyo del muro sobre las vigas.

Los puentes se montan de forma alternativa en toda la longitud del muro.

REHABILITACIÓN Y CREACIÓN DE SÓTANOS

La rehabilitacion de edificios antiguos supone algunas veces obras de creación de sotanos para aparcamiento u otras funciones relacionadas con nuevos usos.

Los métodos más utilizados actualmente son:



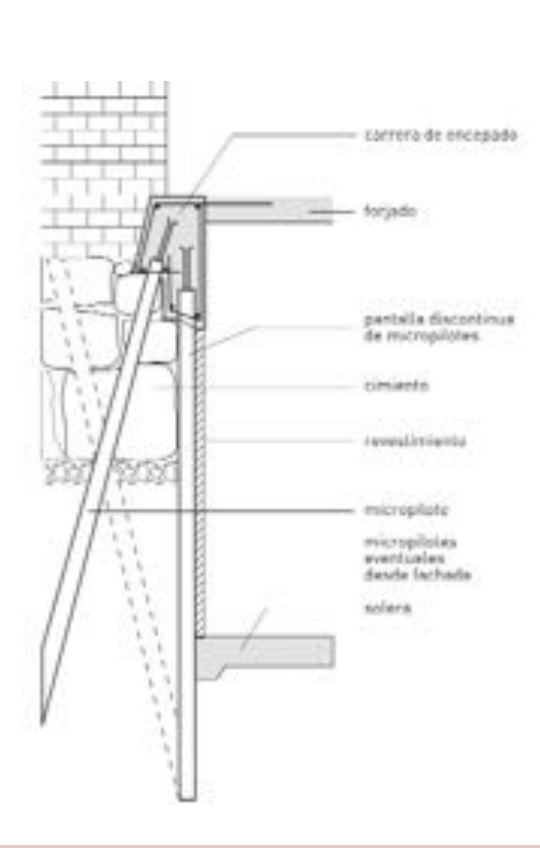
Construcción de muro de sótano por tramos descendentes.

- **PROLONGACIÓN HACIA ABAJO DE LA ESTRUCTURA**, recalzando pilares y muros de carga y excavando posteriormente los recintos de sótano.

- **RIGIDIZACIÓN DE LA BASE DEL EDIFICIO** y ejecución en subterráneo de una nueva estructura portante.

- **CONSERVACIÓN DE LAS FACHADAS ÚNICAMENTE, RECALZÁNDOLAS** y creando una nueva estructura interior hasta la profundidad requerida, construyendo una nueva cimentación .

Para la ubicación o paso bajo edificios de ferrocarriles subterráneos u otras instalaciones, normalmente suele construirse una estructura que al mismo tiempo sostiene el edificio y alberga estos servicios.



Recalce de muros de fachada o medianeras para creación de un sótano.

RECALCE DE CIMENTACIONES POR BATACHES

Este es el método más económico para la habilitación de sótanos cuando la excavación no es muy profunda –hasta 5 metros– y el suelo es bueno, homogéneo y sin problemas de presencia de agua.

La forma de actuación permite la excavación de todo el solar, excepto la zona cercana a medianeras y calles, que se deja en talud.

El batache es, entonces, la excación que se realiza luego en el talud hasta la medianería, con una anchura que varía según la calidad del terreno y de la obra existente –de 1,50 a 2 metros–.

Es conveniente soportar los costados verticales de cada batache.

A continuación se excava con cuidado debajo de la cimentación existente, se recalza y se construye el tramo de muro de sótano, generalmente en hormigón armado.

A veces el recalce no necesita ser continuo y basta con hacerlo en puntos convenientemente elegidos. Los bataches deberán distanciarse al menos dos veces su anchura, para no producir tramos muy largos de descalce.

RECALCE POR POZOS

Cuando el terreno no es fiable, al contrario del caso anterior, y nos encontramos frente a cimentaciones antiguas profundas realizadas normalmente por pozos y arcos, la solución más segura para habilitar sótanos es la realizar el recalce por pozos.

Primero, se crea un marco de hormigón en torno al futuro pozo y luego se inyecta en el espacio interior hormigón simple hasta crear un bloque cementado.

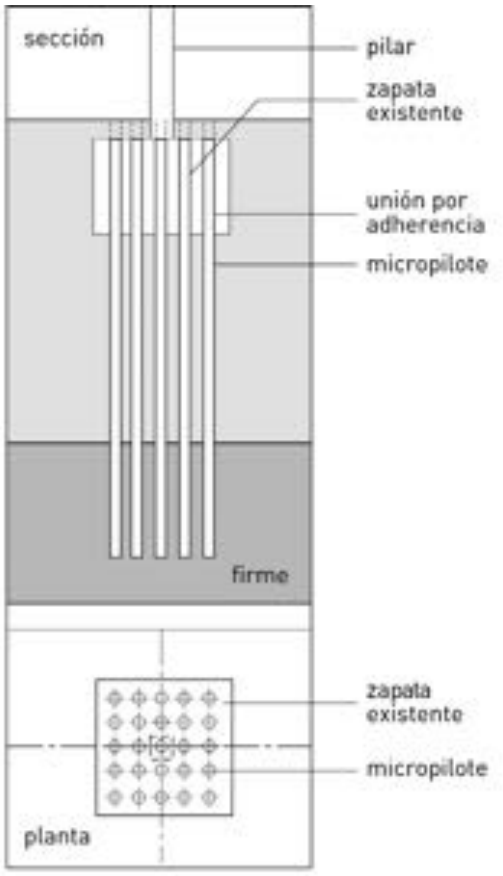
Al final de esta operación se puede lograr un cierto nivel de puesta en carga regulando adecuadamente la presión de último momento.

Vigas superiores pueden arriostrar las cabezas de estos pozos o bien se puede contar con la losa de ese nivel para tal función.

Terminado el recalce, sólo queda como operación adicional la construcción del correspondiente muro de sótano y, una vez terminados los pozos, se puede proceder a la excavación total del sótano.

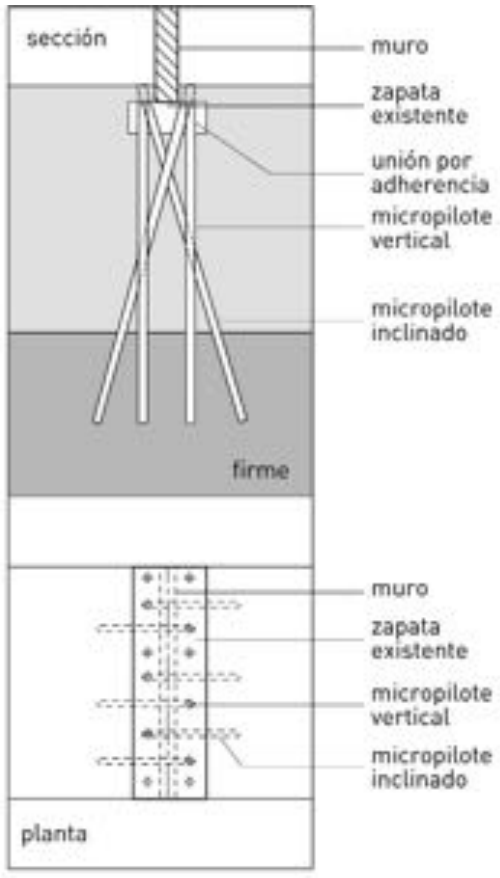
CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE SÓTANO POR TRAMOS DESCENDENTES

Si la cimentación del edificio existente es suficiente y el terreno es de calidad, se puede construir los muros de sótano sin necesidad de recalce de la medianería, siempre y cuando la debilitación producida no afecte al edificio.



Recalce de zapata aislada mediante micropilotes que atraviesan la cimentación.

Intervenciones profundas con micropilotes.



Recalce de zapata corrida mediante micropilotes que atraviesan la cimentación.

Intervenciones profundas con micropilotes.

Ya sea la excavación por pozos o por bataches, ha de cuidarse especialmente el recorte del terreno, que será siempre manual, cuidando la verticalidad y de no socavar accidentalmente la cimentación.

La operación así realizada tiene la ventaja de que, con una necesaria y constante vigilancia, sólo se debe realizar los recalzos allí donde el suelo no tenga la calidad esperada.

Si son varios los sótanos que se piensan hacer, es posible construir los muros por tramos descendentes, realizando cada fase por el método de bataches.

Se empieza por la excavación del primer sótano y se procede a la construcción del muro. Terminada esa fase, es fundamental apuntalar el muro construido, acodalándolo interiormente o anclándolo al terreno.

A continuación se pasa a realizar la fase inmediata inferior de la misma forma que la anterior. Los tramos de muro de las diferentes plantas deberán ir a junta encontrada para mejor traba del conjunto.

El hormigonado de los muros inferiores es posible dejando en el encofrado una abertura longitudinal a modo de embudo o bebedero, que servirá también como ménsula para apoyo de la estructura horizontal.

RECALCES CON MICROPILOTES

Esta operación para crear sótanos consiste en continuar hacia abajo muros y pilares, proporcionándoles nueva cimentación.

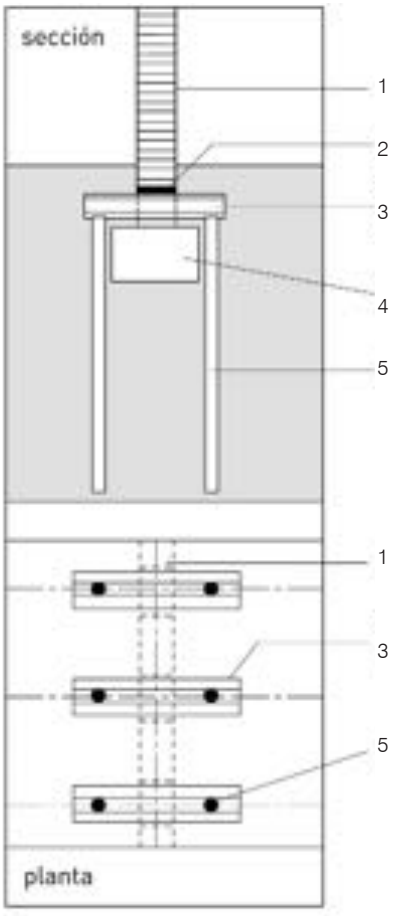
Los micropilotes son muy útiles para estos trabajos ya que necesitan separaciones menores, pueden atravesar cimentaciones y adherirse a las mismas y su excavación es posible en casi todo tipo de terrenos.

Es útil sobre todo en cimentaciones accesibles desde su proximidad, por lo tanto, es un método de aplicación en interiores y espacios más reducidos que los habituales.

Se procede, primero, recalzando la cimentación con micropilotes que la atraviesan, después previa descarga de la cimentación, se excava el entorno del recalce, se construye una zapata por debajo del nivel de sótano adherida a los pilotes y, finalmente, se forran los pilotes con hormigón para quitarles esbeltez, quedando así el recalce terminado, que tiene el inconveniente de que ocupa un espacio considerable.

Si se emplea esta misma solución para zapatas aisladas de pilares, es conveniente hormigonar todo el espacio ocupado por los pilotes para su arriostramiento.

También es útil el empleo de micropilotes como apuntalamiento provisional, solución que ocupa mucho menos espacio.



Sustitución de cimentación corrida por puenteado mediante micropilotes.

1. Muro
2. Placa de reparto
3. 2 CPNempresilladas
4. Cimiento viejo
5. Micropilote

Intervenciones profundas con micropilotes.

INTERVENCIONES PROFUNDAS

En este apartado se estudiarán las intervenciones de tipo profundo. Las mismas están motivadas por las razones que se han estudiado en puntos anteriores.

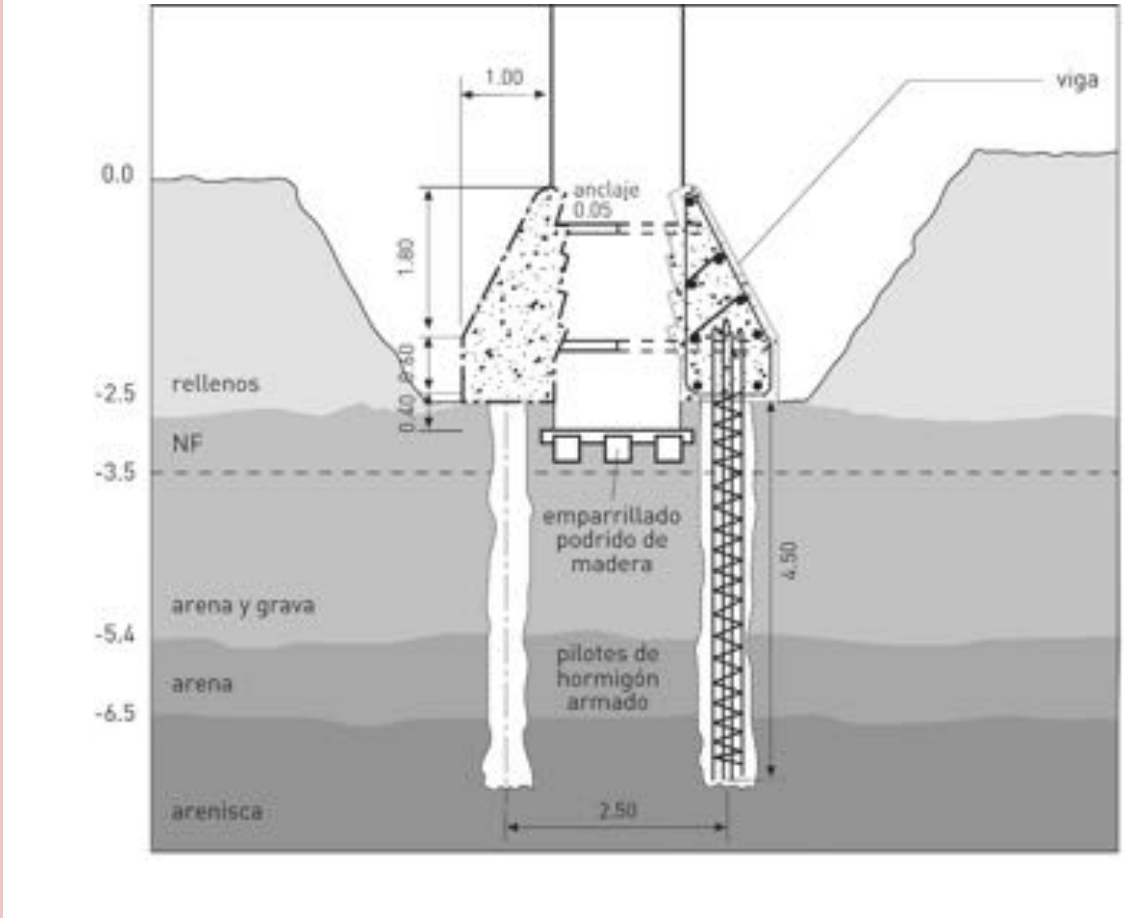
La intervención en profundidad, se puede decir, tiene dos líneas principales de actuación.

La primera es la sustitución de la cimentacion por otra nueva, generalmente dejando en el terreno la antigua pero sin función alguna.

El segundo tipo de actuación es el refuerzo de la cimentación existente con nuevos pilotes, casi siempre de mejores características resistentes, pero encepados conjuntamente con los primitivos.

Algunas de aquellas razones por las que podemos encontrarnos en la necesidad de un recalce en profundidad son:

- **PARA SUSTITUIR UN PILOTAJE DEFICIENTE POR OTRO CORRECTO O MEJORAR LA RESISTENCIA DEL PRIMERO.**
- **EL ESTRATO DE APOYO DE LAS CIMENTACIONES TIENE UNA CAPACIDAD PORTANTE INSUFICIENTE.**



Carreras dentadas de hormigón armado para recalce de un muro de carga.

- **LA EJECUCIÓN DE RECALCES SUPERFICIALES ES MUY DIFICULTOSA** por la presencia de terreno inestable o niveles freáticos.

- **SE DESEA AMPLIAR EL EDIFICIO BAJO LOS NIVELES ACTUALES.**

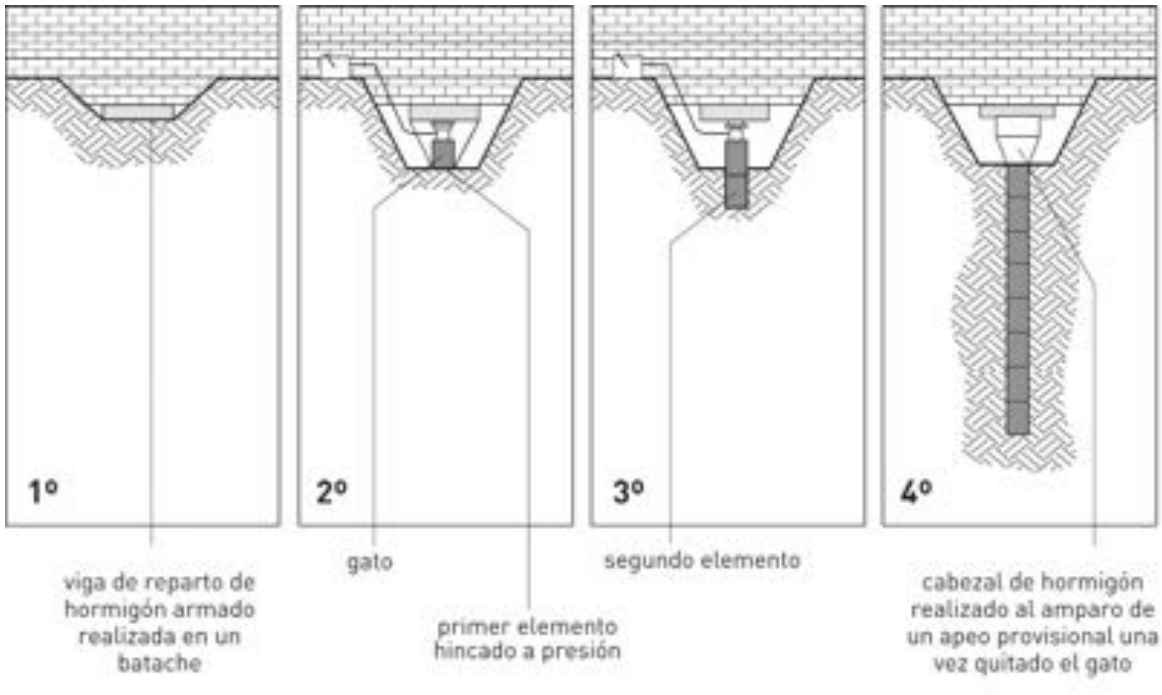
- **SE VAN A REALIZAR OBRAS EN EL ENTORNO** (excavaciones, túneles urbanos) que pueden afectar la estabilidad de las cimentaciones existentes.

En la actualidad, para los recalces en profundidad, se recurre casi exclusivamente a los pilotes con sus distintas variaciones:

- **EJECUTANDO LOS PILOTES DESDE BATACHES ABIERTOS BAJO LAS CIMENTACIONES** y logrando luego la puesta en carga mediante cuñas o gatos.

- **ATRAVESANDO LAS CIMENTACIONES EXISTENTES** y transmitiendo las cargas por adherencia.

- **ADOSANDO LOS PILOTES A LAS CIMENTACIONES** o intercalándolos en la planta y construyendo luego un elemento puente o ménsula que transmite las cargas.



Ejecución de un pilote tipo Mega.

RECALCE PROFUNDO POR POZOS

Se trata de un método manual empleado tradicionalmente en la consolidación de cimentaciones de muros. El sistema no es válido para zapatas aisladas ya que ofrece más riesgo en su ejecución y la presencia de agua en cantidades apreciables en la excavación de los pozos impide la utilización de este método.

El recalce profundo por pozos se realiza por puntos, de forma análoga a los recalces someros en la sustitución de las zapatas corridas, pero con excavación de pozos hasta alcanzar el firme elegido.

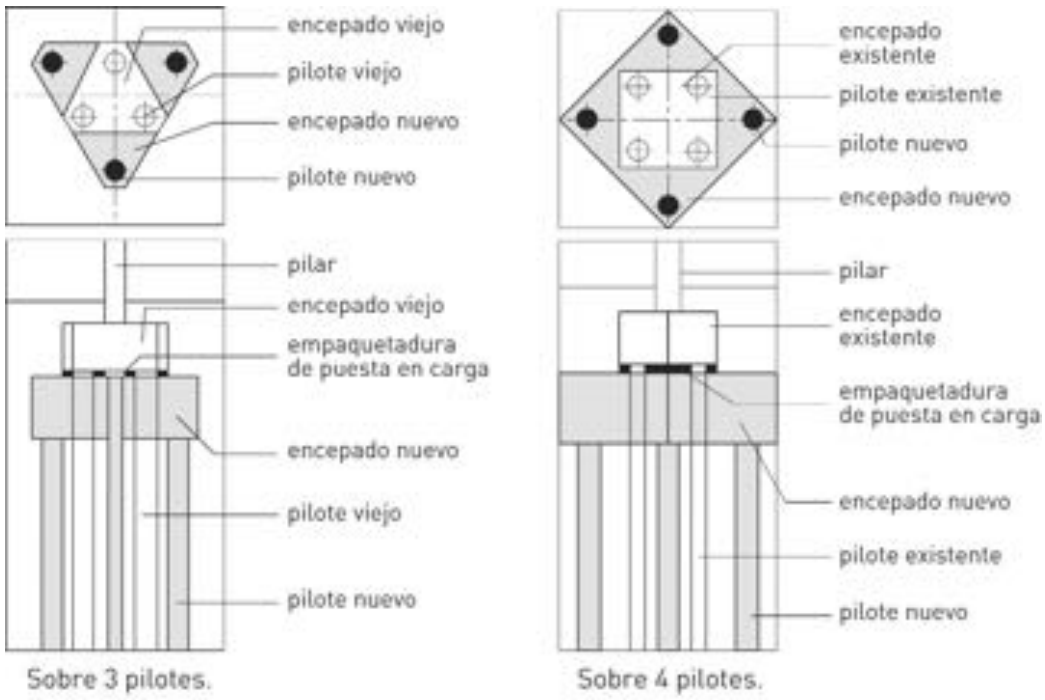
Los pozos se elaboran de un ancho de 1 a 2 metros, que es el mínimo necesario para poder trabajar, y la entibación será cuajada o no según la calidad del terreno.

Terminada la excavación, se construye la nueva cimentación y el muro de recalce, retirándose la entibación de abajo a arriba si la seguridad lo permite.

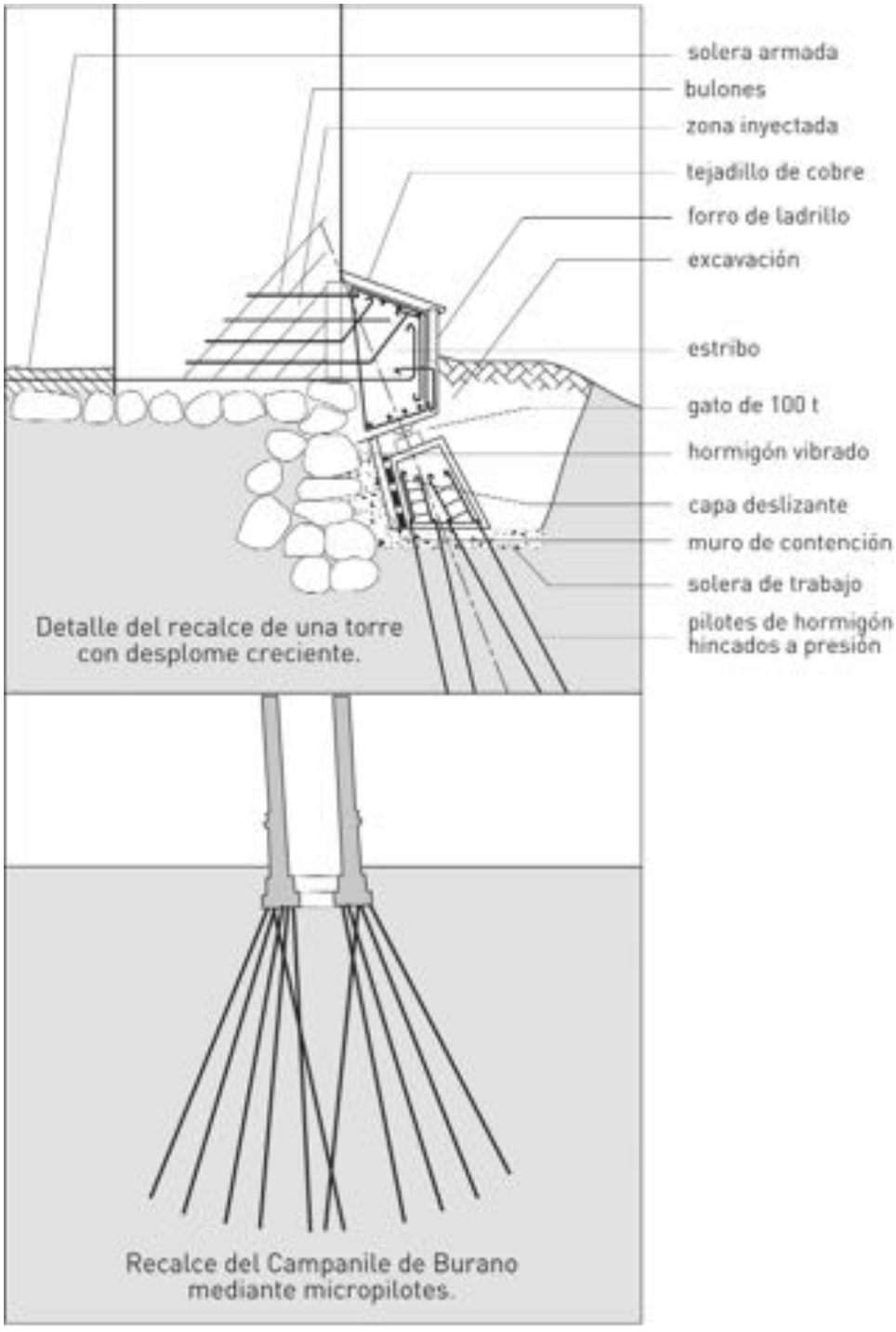
En caso contrario, cuando exista grave peligro de desprendimientos, habrá que dejarla perdida.

La puesta en carga del recalce puede no ser necesaria, pero para mayor seguridad, es apropiado el empleo de un mortero expansivo.

Las últimas hiladas o el retacado deberán realizarse una vez transcurrido un tiempo prudencial para dejar fraguar y retraer a las fábricas construidas.



Operación de recalce de la cimentación de un pilar mediante la ampliación del número de pilotes.



Desplomes y giros de torres.

RECALCE PROFUNDO MEDIANTE PILOTES QUE RODEAN LA CIMENTACIÓN

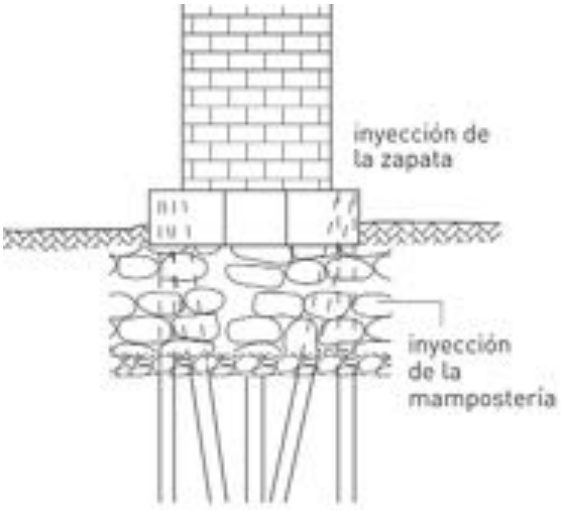
Esta técnica se utiliza para transferir las cargas de grandes macizos a firmes muy profundos, sobre todo cuando hay que atravesar estratos flojos y con presencia de agua.

Es fundamental que el método de ejecución de los pilotes no produzca fuertes vibraciones o impactos para no dañar al edificio.

El pilote apisonado y también el excavado por caída libre no deben utilizarse en recalces.

El más idóneo es el excavado con una herramienta helicoidal, y, cuando el terreno no admite este sistema, habrá que buscar otra solución. Este método es válido tanto para zapatas aisladas como para zapatas corridas.

Los perfiles dentados tallados en la zapata original y el efecto de zunchado del encepado de los pilotes aseguran la transferencia de cargas de la antigua cimentación a la nueva. Esta solución, válida también para zapatas corridas, necesita que los encepados estén atados mediante bulones o que exista una unión por debajo de la zapata, ya que no existe un zunchado efectivo. En estas soluciones no es posible la puesta en carga, salvo en el método de puenteado.



Refuerzo de zapatas de mampostería.

RECALCE PROFUNDO MEDIANTE PILOTES ESPECIALES BAJO LA CIMENTACIÓN

Esta es la solución más lógica para recalzar una cimentación actuando por debajo la misma.

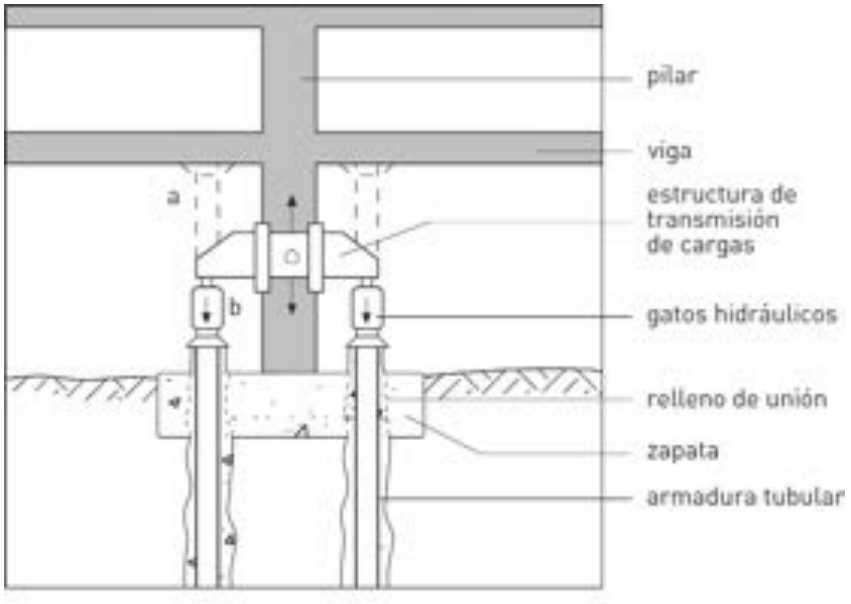
Es como el caso de los pozos de ejecución manual pero en vez de éstos se utilizan pilotes.

El recalce mediante pilotes bajo la cimentación es una técnica ingeniosa y segura, no apta para cualquier tipo de terreno. La operación lleva incluida la puesta en carga en su misma ejecución, lo que en determinados casos puede ser muy útil.

La hinca del pilote se produce mediante gatos hidraulicos que se traban en la cimentacion existente, no hay excavación alguna. Los pilotes son metálicos y se empalman por tramos.

Se abre una zona de trabajo bajo el cimiento y se comienza la hinca disponiendo una sección de punta con los gatos recogidos y accionándolos a continuación.

Una vez hincado el pilote en la longitud del recorrido de los gatos y estando éstos extendidos, se retiran los gatos para la colocación de una nueva seccion del pilote, colocando nuevamente los gatos encima. Se procede así sucesivamente hasta que se produce el rechazo.



Puesta en carga de micropilotes.

Aquí se introduce un pequeño pilar metálico y se retiran los gatos. La operación de hinca finaliza cuando se hormigona el entorno del pilarillo metálico –que queda perdido– y se rellena la excavacion provisional.

RECALCE DE PILOTES MEDIANTE LA AMPLIACIÓN DEL NÚMERO DE PILOTES

Como bien indica su nombre, esta técnica consiste en la construcción de pilotes del mismo tipo, a la misma o mayor profundidad que la de los existentes.

Los pilotes nuevos se sitúan con una separación mínima recomendable de los existentes. Se deben situar de forma simétrica aunque esto obligue a colocar mayor número de pilotes que el necesario.

Los nuevos encepados se situarán por debajo de los antiguos, dejándose la holgura necesaria para su empaquetadura a base de un mortero expansivo.

Con esta puesta en carga se consigue la colaboración entre ambas cimentaciones, pero no existe la certeza de que el reparto de las cargas sea el deseado, pudiendo quedar más sobrecargada la cimentación vieja que la nueva, o viceversa.

Por este motivo, en el caso de pilares que transmiten una carga muy grande es conveniente no contar con la colaboración de los pilotes existentes y confiar toda la carga a los nuevos.

PILOTES QUE ATRAVIESAN LAS CIMENTACIONES EXISTENTES

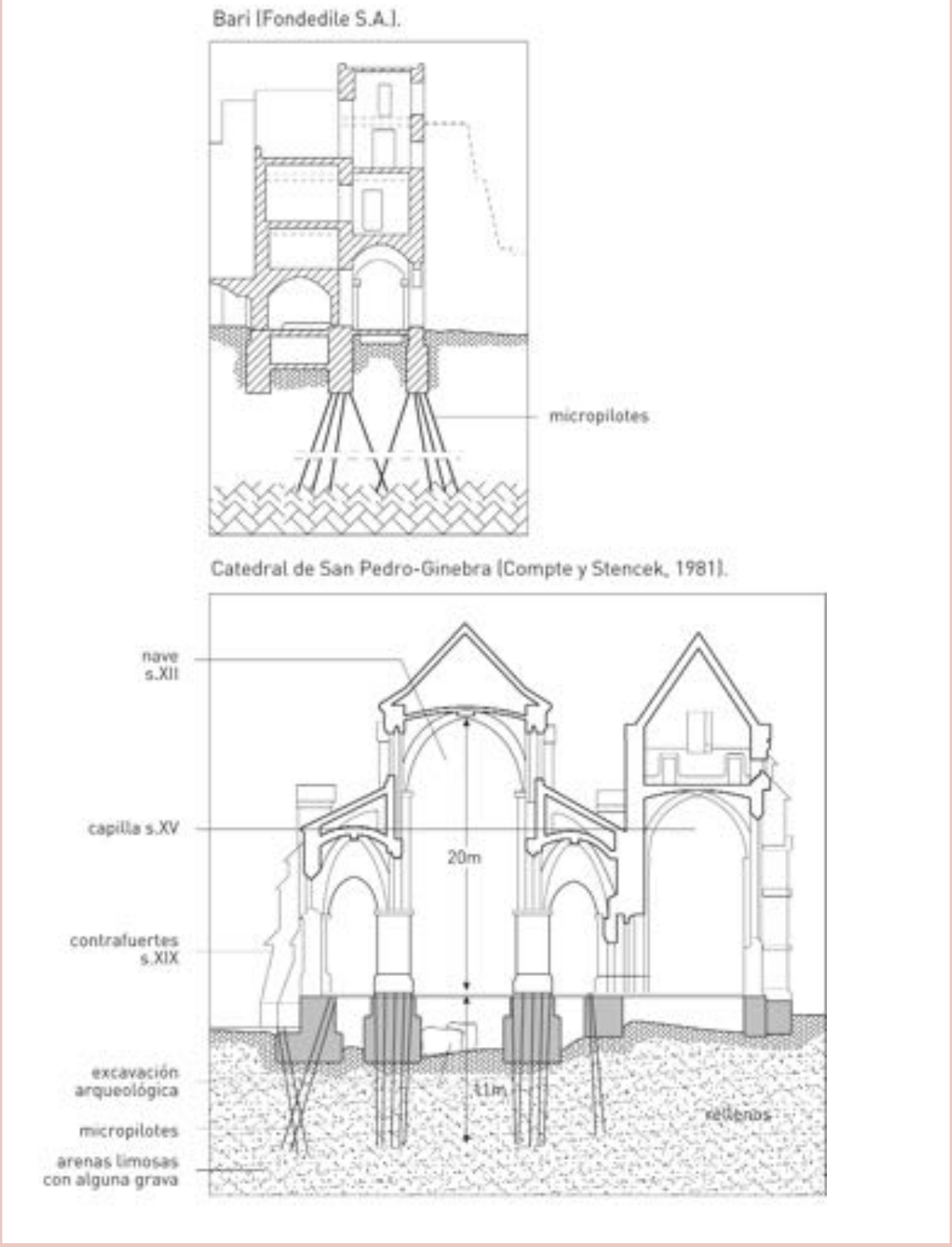
El micropilote o pilote-aguja –*pali radice* en la terminología italiana de la primera patente– es un pilote de pequeño diámetro y es un elemento estructural de empleo muy generalizado en la actualidad para tareas de recalce y consolidación de cimentaciones, ya que resuelve casi siempre con gran eficacia y seguridad estos problemas. Sus diámetros varían entre los 100 y 300 mm.

Pueden ser hormigonados por gravedad o a presión, con vaina recuperable o perdida, y su capacidad portante varía, según el diámetro y tipo, entre las 10 y las 100 toneladas.

La transmisión de cargas de la cimentación antigua a la nueva suele realizarse normalmente por adherencia, si el macizo existente lo permite.

Es una solución muy práctica en edificación urbana, donde el espacio para trabajar es reducido y la altura libre muy estricta, ya que la excavación puede realizarse con energía hidráulica la cual no produce vibraciones y permite la profundización necesaria empalmando vainas.

Para el éxito de este tipo de recalce debe darse una serie de condiciones:



Ejemplos de recalces con micropilotes.
(Fuente: Curso de Patología, Tomo 3).

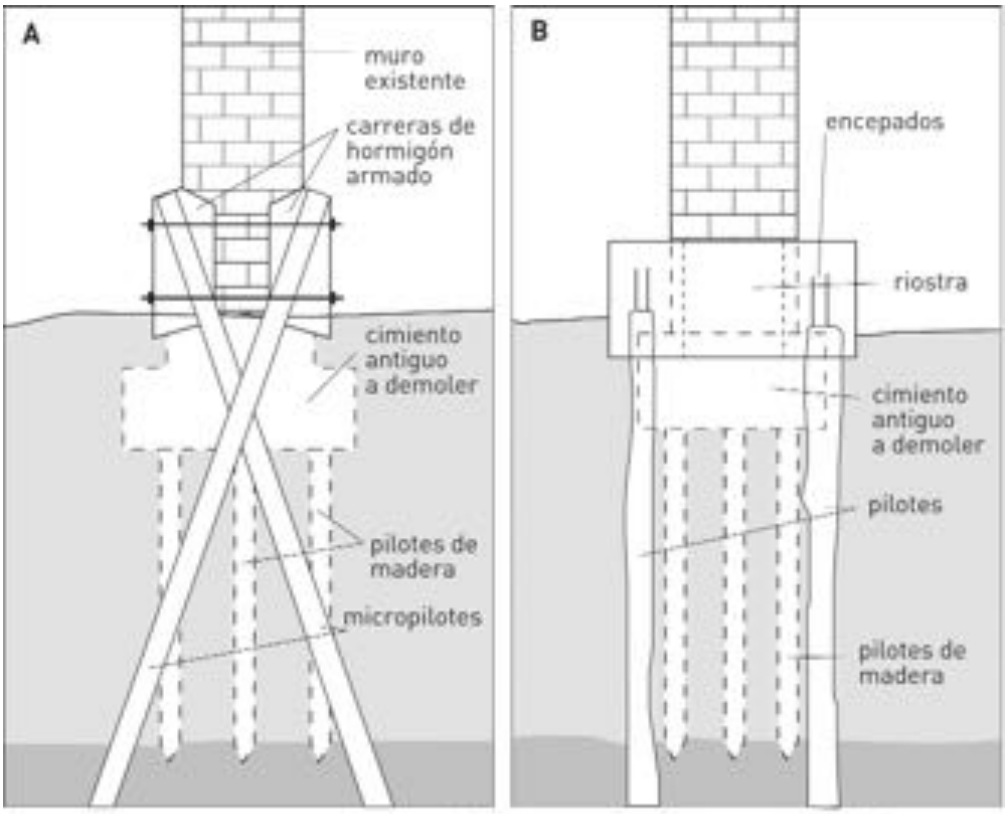
- **LA CIMENTACIÓN A RECALZAR DEBE TENER SUFICIENTE CANTO Y RESISTENCIA** para transmitir las cargas a los micropilotes por adherencia.

- **LA CAPA DE TERRENO DE APOYO DEBE ENCONTRARSE A DISTANCIA MODERADA** (menos de 20 m) ya que es difícil garantizar la continuidad estructural, la alineación recta y la precisa posición en pilotes muy largos.

- **EL TERRENO ATRAVESADO DEBE SER RELATIVAMENTE ESTABLE** para no introducir flexiones, rozamientos negativos, etc., en los micropilotes.

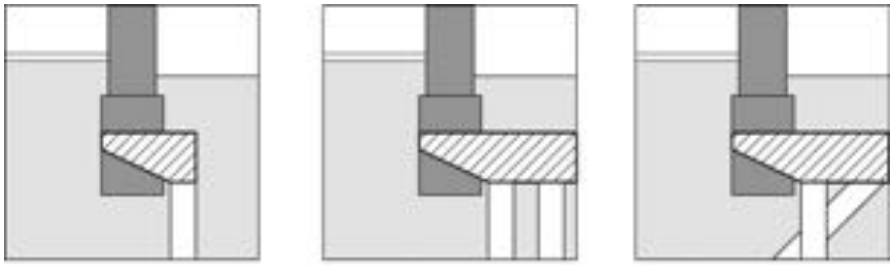
La capacidad portante de los micropilotes depende mucho del sistema constructivo (inyección a presión o no), del tipo de armadura (tubo o redondos), de la longitud e inclinación de los mismos, del terreno donde se apoya, etc.

En principio no existe riesgo de pandeo, salvo en terrenos excepcionalmente blandos, y al formarse grupos numerosos de micropilotes se mejora notablemente la resistencia fente a la del micropilote aislado. Como se ha dicho más arrriba, en este tipo de recalces, el problema de la transferencia de cargas de la estructura a los micropilotes y las deformaciones asociadas con este proceso, son temas delicados a tener en cuenta.

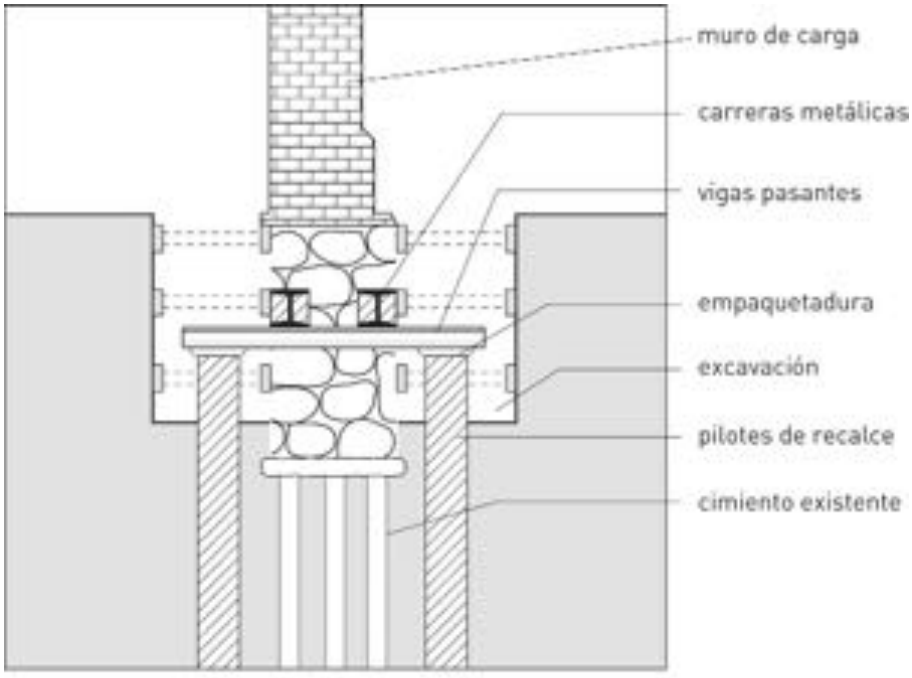


Recalce mediante micropilotes (**A**) y recalce mediante pilotes (**B**).

Refuerzo de cimentaciones pilotadas.



Pilotes de recalce con vigas ménsula de contacto con la fundación a recalzar. Este método es aconsejable para cimientos sobre medianeras o de díficil acceso.



Intervención profunda en muro de carga mediante carreras metálicas y vigas pasantes que apoyan sobre pilotes.

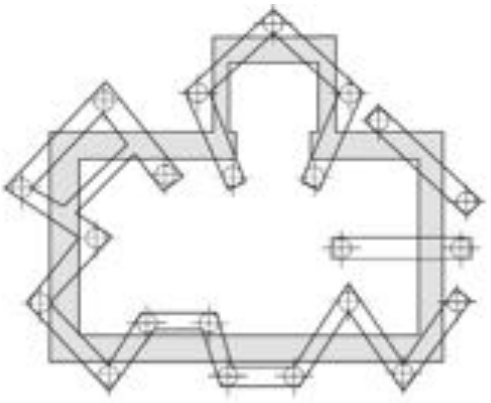
Se deben adoptar valores muy conservadores para el cálculo de la resistencia por adherencia del contacto entre el cimiento y el micropilote. Se pueden adoptar también precauciones especiales para este tema como la inyección a presión, el empleo de resinas, etc.

Si la adherencia es insuficiente o existen problemas de cortante puede ensancharse o acampanarse el entronque con la zapata o agrandar la sección estructural de la misma, o bien aumentar su resistencia mediante bulones o barras resinadas.

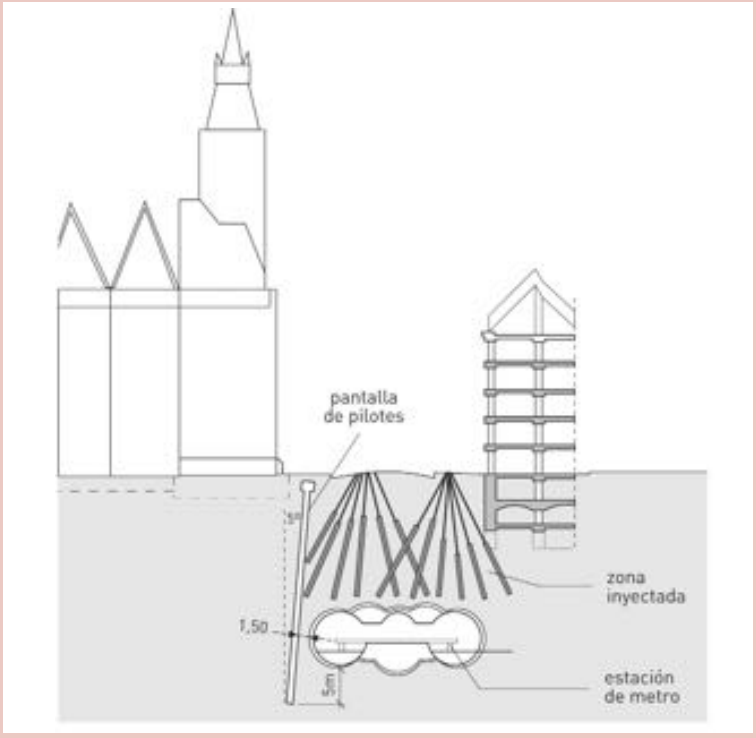
En cuanto a los asientos debe contarse con la deformación elástica del micropilote y los debidos a la compresibilidad del terreno, de acuerdo con las teorías usuales de la mecánica del suelo. Si se desea que los asientos de puesta en carga no se transmitan a la estructura, éstos pueden provocarse previamente mediante gatos que cargan contra pórticos auxiliares.

En el diseño del recalce se debe procurar que las cargas concentradas coincidan con el centro de gravedad de cada cepa de micropilotes y transmitan esfuerzos similares a cada unos de ellos de forma que no se produzcan giros o desplazamientos horizontales del apoyo. Esto se consigue con grupos de tres o más micropilotes, simétricamente dispuestos.

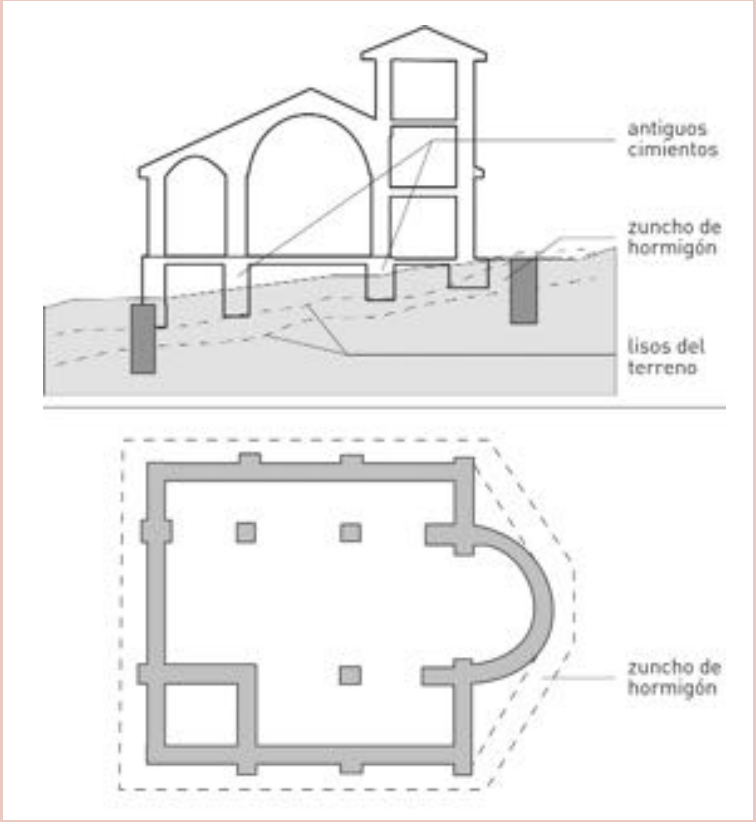
La estabilidad del apoyo mejora si los micropilotes adoptan una ligera inclinación hacia afuera (generalmente de 15°), pero ello no es absolutamente necesario y en bastantes casos la inclinación obedece a una mayor facilidad constructiva. En torres, pilares muy cargados, suele recurrirse a la creación de un «canasta» de micropilotes entrecruzados que confina un núcleo importante de terreno, formando así una gran zapata de recalce que prolonga la cimentación hasta el firme.



Intervención profunda mediante pilotes de recalce al tresbolillo y vigas pasantes oblicuas. Este método facilita la excavación de los pilotes al no estar debajo de la fundación y permite un mayor control del equilibrio de las descargas.



Elaboración de una pantalla de pilotes para proteger un edificio frente a los movimientos por la construcción del metro.



Rigidización de los cimientos mediante el zunchado perimetral. Basílica de Nuestra Señora del Pilar, Teror Gran Canaria (López Collado, 1982).
(Fuente: Curso de Patología, Tomo 3).

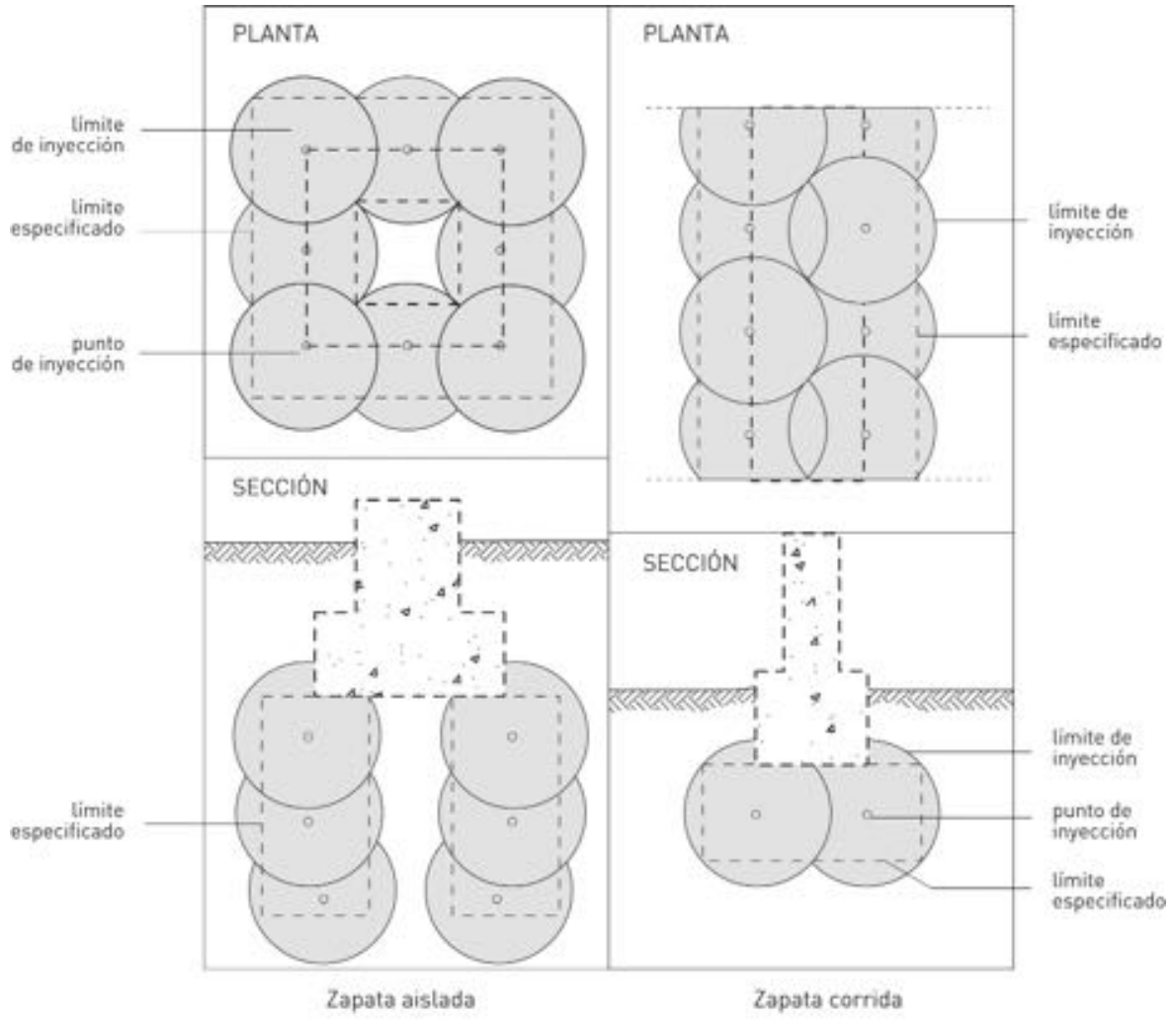


Operaciones con el objeto de mejorar el desempeño de los pilotes de cimentación existentes.

OBJETIVO	TIPO DE INTERVENCIÓN
Supresión del suelo	Sustitución Compactación
Mejora de las características	Preconsolidación Vibroflotación y vibrosustitución
Tratamiento	Drenaje Inyecciones
Armado del suelo	Tierra armada Aplicación de geoláminas

TÉCNICAS DE MEJORA Y ARMADO DE SUELOS

(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).



Esquema de recalce mediante inyección de una cimentación superficial.

PILOTES ADOSADOS CON CABEZALES DE UNIÓN POSTERIORES

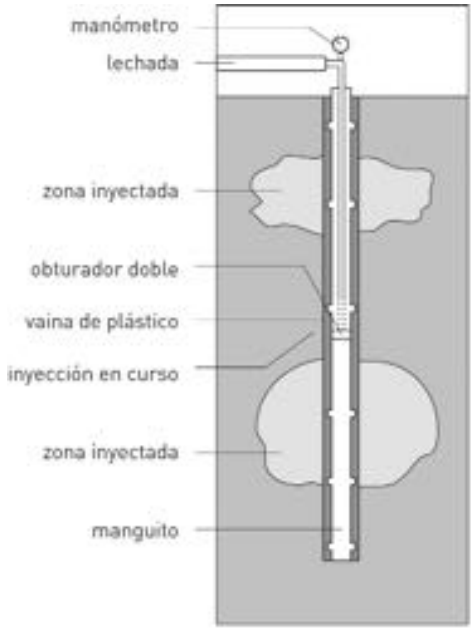
En este caso se trata de pilotes verticales, con diámetros entre 30 y 60 cm, adecuados para el descalce de muros o zapatas corridas con cargas importantes, y cuando la obra permite introducir maquinaria relativamente pesada y de bastante altura.

La unión con la cimentación antigua puede conseguirse de las siguientes formas:

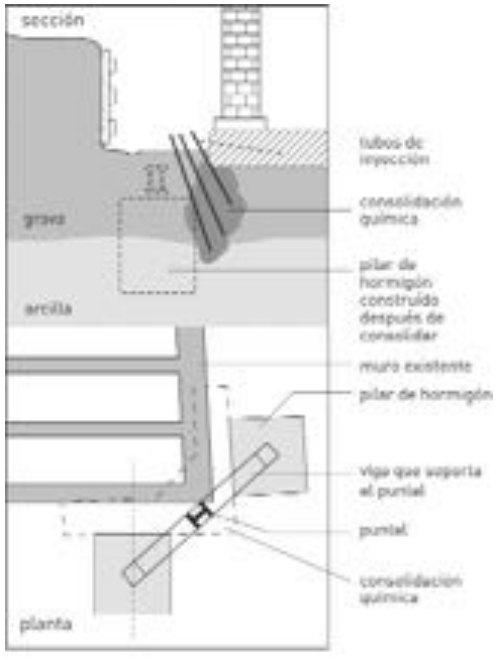
- **MEDIANTE VIGAS PASANTES** que encepan los pilotes colocados a ambos lados.

- **CONSTRUYENDO VIGAS LONGITUDINALES**, encepando los pilotes de cada lado y atirantándolas posteriormente contra el cimiento mediante pernos o pasadores metálicos.

Como en métodos anteriores, es frecuente que el contacto entre el encepado o corona y la cimentación existente se realice con una forma dentada para mejorar la resistencia de la unión.



Detalle de un tubo de inyección provisto de manguitos.



Soporte provisional mediante inyecciones bajo la esquina de un muro de carga a recalzar.

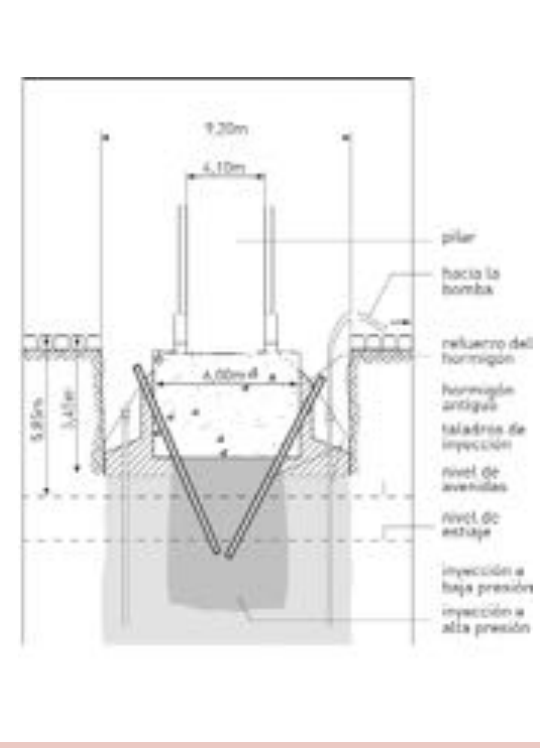
Asimismo, las mencionadas vigas pasantes pueden ser tanto metálicas, de hormigón armado como de hormigón pretensado.

Con las traviesas pretensadas se eliminan los efectos de retracción y flexión ya que pueden conseguirse contraflechas que las compensen.

En la fase de proyecto deben comprobarse los siguientes ítems:

- **LAS REACCIONES DE LA VIGA SOBRE EL CIMIENTO DEBEN SER LAS ADMISIBLES PARA LOS MATERIALES ADJUNTOS A ELLA**, sobre todo en el caso de mamposterías, en relación a esfuerzos de compresión, corte y flexión.

- **LAS FLECHAS DE PUESTA EN CARGA DEBEN SER ADMISIBLES TAMBIÉN PARA LA ESTRUCTURA** incluyendo, en el caso del hormigón armado, los asientos por retracción, si bien siempre se pueden realizar correcciones mediante gatos.



Consolidación mediante inyecciones de los pilares de la Basílica del Pilar de Zaragoza.

Existe una variante de estos sistemas que es el pilote adosado con un cabezal que penetra en ménsula bajo el cimiento.

Esta solución exige un dimensionado muy cuidadoso, tanto de la ménsula como del pilote ya que las flexiones en la parte superior del mismo pueden ser muy importantes y las deformaciones elásticas pueden no ser compatibles si el terreno superior es relativamente flojo.

La solución resulta mucho más racional cuando las ménsulas son los extremos de amplias vigas o losas que cruzan el edificio y reciben cargas relativamente simétricas y compensadas.

INTERVENCIONES SOBRE EL TERRENO

En apartados anteriores, se ha estudiado los distintos sistemas de recalce mediante intervenciones profundas o someras.

Todas estas intervenciones operaban, en mayor o menor grado, directamente sobre la propia cimentación. Pero hay casos específicos, en los cuales transformar el terreno no apto para cimentar es la única solución posible o bien una medida complementaria de las intervenciones directas. De esto se trata el presente apartado.

Se plantea entonces la alternativa de modificar el cimiento, no sólo procediendo a un recalce, refuerzo o sustitución del mismo sino que también se intenta mejorar o corregir la capacidad portante del terreno.

La decisión suele requerir una investigación cuidadosa y una valoración detallada de las diversas soluciones tecnológicas y de sus posibilidades de éxito.

En el supuesto de considerar de interés la mejora del suelo de apoyo, se ofrecen soluciones muy diversas:

- **INYECCIONES**: de cemento (lechada de cemento, gel de silice, resinas), de relleno (bentonita-cemento, poliuretanos), de compactación (morteros viscosos).
- **TÉCNICAS DE *JET-GROUTING*.**
- **DRENAJE**.
- **OTRAS OPERACIONES.**

INYECCIONES

Como su nombre indica, las inyecciones son intervenciones a través de las cuales se inyectan determinados productos en el interior de un suelo a fin de mejorar algunas de sus características.

Se realizan bombeando el producto a través de pequeños taladros dispuestos en la superficie lateral o en el extremo de un trépano o bien en las paredes de un tubo que se introduce en el interior de una perforación previamente realizada.

Se aplican principalmente en el recalce de obras públicas y de edificios que justifiquen las onerosas operaciones.

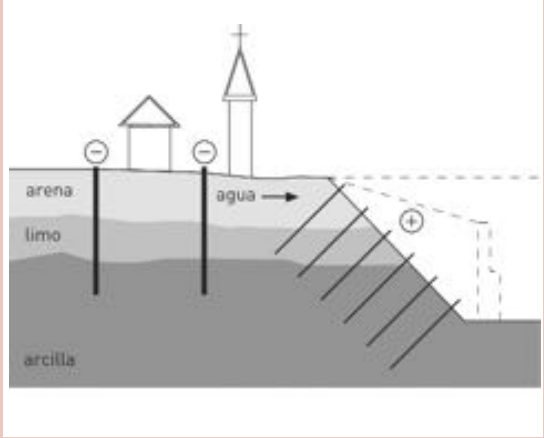
Con las inyecciones se pretende que el terreno alcance uno o más de los objetivos siguientes:

- **REDUCIR LA COMPRESIBILIDAD.**
- **AUMENTAR LA RESISTENCIA.**
- **DISMINUIR LA PERMEABILIDAD.**

Para lo anterior se necesita un producto o combinación de ellos que se inyecte en forma líquida y que posteriormente se solidifique, como así también se necesitan equipos que introduzcan dicho fluido en puntos determinados del suelo.

Habitualmente el material inyectado es lechada de cemento, a veces con adición de bentonita, en dosificaciones agua/cemento de 1/2. Son las denominadas inyecciones convencionales.

Cuando las características del terreno y/o la operación lo requieran, se puede recurrir a las inyecciones químicas, constituidas bien por resinas orgánicas diluidas en agua (acrilamida, fenoplasto, aminoplasto) cuya viscosidad se mantiene estable hasta su fraguado, o bien se puede recurrir a soluciones de geles de sílice (silicato sólido) cuya viscosidad es creciente con el tiempo.



Estabilización de un talud por electroósmosis.

Estas soluciones poseen parámetros que hay que controlar o ensayar de manera previa, si fuera necesario, y son la estabilidad, la viscosidad, el tiempo de fraguado, la resistencia a compresión y la durabilidad.

En la definición de un proyecto de inyecciones, se deben tener en cuenta, además de la naturaleza del terreno a tratar, el grado de mejora que se quiere lograr y los pasos a seguir para conseguirlo.

El volumen de terreno involucrado obliga a planear las fases del tratamiento. Finalmente se definirá el sistema de inyección, así como los controles de calidad iintermedios y finales.

A pesar de todo, las inyecciones presentan dos incógnitas. La primera es la calidad final exacta del resultado a obtener, y la segunda es que no permite evaluar a priori el costo del tratamiento.

Y en efecto, la efectividad de la inyección nunca está totalmente asegurada, ya que ésta puede concentrarse en zonas de mayor permeabilidad no previstas y faltar allí donde es imprescindible.

INYECCIONES DE CEMENTACIÓN

Estas inyecciones consisten en hacer penetrar en el terreno, a través de taladros de pequeño diámetro –menos de 100 mm–, la correspondiente solución la cual adquiere rigidez por fraguado hidráulico o reacción química, formando con el terreno un material de alta resistencia y cohesión.

En general la difusión y penetración de las inyecciones en el terreno, como ya hemos señalado, es muy irregular y difícilmente controlable, concentrándose en las zonas más abiertas o permeables.

Ello hace que este tipo de tratamiento pueda causar daños imprevisibles al rellenar conducciones, redes de saneamiento, apoyos de soleras, sótanos con fisuras, a veces a distancias de muchos metros del punto de inyección.

El tipo de inyección y solución a utilizar y su forma de aplicación dependen, sobre todo, de la permeabilidad y composición del terreno, así como de las tolerancias del edificio a tratar.

Las inyecciones de cemento son apropiadas en materiales granulares gruesos (zahorras, gravas arenosas, arenas gruesas). Pero si se trata de arenas finas o arcillosas hay que recurrir a la impregnación de tipo química con gel de sílice o resinas. El empleo de la denominada inyección química suele llevarse a cabo en ocasiones donde los suelos tienen escasa penetrabilidad –limos y arcillas– o donde se buscan recalces provisionales que actúan a modo de apuntalamiento.

Es un fluido mucho más caro que la lechada de cemento y consiste en la utilización de un gel de sílice obtenido mediante una inyección combinada de silicato sódico y a continuación de cloruro cálcico. Este gel alcanza rápidamente una resistencia de 2 a 5 kp/cm^2. Requiere, eso sí, una ejecución cuidadosa y especializada.

Una vez elegido el tipo de producto a inyectar debe especificarse el tiempo de fraguado o curado y la resistencia final. Esta última es comparable a la del hormigón de las lechadas de cemento. Los más geles duros alcanzan una resistencia de trabajo de 10 a 40 kp/cm^2.

Otros temas a considerar en algunos casos son la estabilidad a largo plazo y el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Normalmente las inyecciones se realizan con ayuda de tubos con manguitos colocados a 30-50 cm.

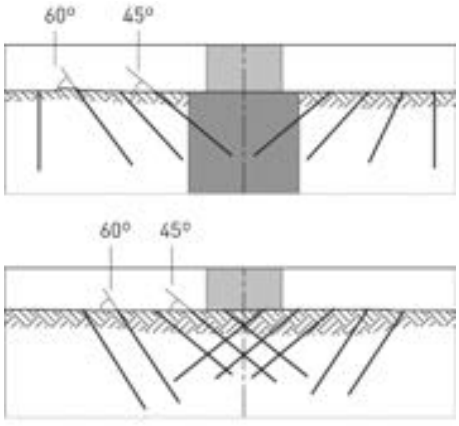
La profundidad y separación de los taladros se fija estimando la amplitud del bulbo inyectado en correspondencia con un cierto volumen de inyección. Ello explica que este tipo de trabajos sea muy difícil de definir con precisión.

Debe tenerse en cuenta que siempre son inevitables algunos asientos, tanto más importantes cuanto más cargado esté el cimiento y más flojo o abierto esté el terreno.

La profundidad de la inyección dependerá de la presión y de la viscosidad del producto inyectado. Es muy importante el control de estas presiones ya que puede producirse la rotura hidráulica del terreno, lo cual provoca el levantamiento de soleras o giros y movimientos en elementos estructurales.

Las inyecciones de cementación tienen aplicaciones muy variadas, como pueden ser:

- **CREAR MACIZOS CONSOLIDADOS BAJO UN EDIFICIO** para transmisión de nuevas cargas.
- **MEJORAR EL APOYO DE CIMENTACIONES EXISTENTES.**
- **SOLIDARIZAR CIMENTACIONES ANTIGUAS** mejorando el área de reparto y creando auténticas losas cementadas.
- **CONSTITUIR PANTALLAS O ELEMENTOS RÍGIDOS EN EL CONTORNO DE UN EDIFICIO** para evitar desplazamientos horizontales perjudiciales, subsecuentes a excavaciones próximas.
- **CORTAR AFLUENCIAS DE AGUA POR VETAS PERMEABLES.**



Esquemas de cosido del terreno mediante barras metálicas.

Al igual que cualquier sistema de inyección, las inyecciones de cementación buscan:

- **REDUCIR LA COMPRESIBILIDAD DEL TERRENO.**
- **AUMENTAR SU RESISTENCIA.**
- **DISMINUIR LA PERMEABILIDAD DE UN SUELO.**
- **RELLENAR SUS FISURAS..**
- **CEMENTAR SUS MACROPOROS Y COLMATAR SUS POROS.**

Para alcanzar la máxima penetración, conviene iniciar el proceso de inyección con elevadas relaciones agua/cemento (10 / 1) y luego se va disminuyendo la relación hasta valores de 2 / 1 o incluso 1 / 2.

Las emulsiones asfálticas y las suspensiones de bentonita son las más útiles para disminuir la permeabilidad de un terreno. En recalces especiales, y para permeabilidades más elevadas, se inyectan resinas fenólicas y acrílicas con o sin aditivos inertes.

INYECCIONES DE RELLENO

Estas inyecciones, muy similares a las anteriores, se utilizan para colmatar y sellar capas de terreno o rellenos flojos en las que existen huecos importantes.

Estos huecos se deben bien a la formación original tereno, o a un fenómeno de disolución (karstificación), o a un arrastre de partículas por las aguas freáticas (socavación).

Aunque también crean una cementación apreciable, su misión fundamental es sustituir los huecos por un material de suficiente resistencia para que el conjunto resultante soporte las cimentaciones en condiciones adecuadas de seguridad y con pequeños asientos posteriores.

Se utilizan mezclas con gran capacidad de absorción de agua como las lechadas de bentonita-cemento, o productos químicos con estructura alveolar como los poliuretanos.

INYECCIONES DE COMPACTACIÓN

Estas inyecciones consisten en la introducción en el terreno de un mortero plástico de arena-cemento a elevadas presiones. Debido a su viscosidad, el mortero, en lugar de rellenar los huecos, desplaza el terreno como un gato hidráulico, lo densifica y crea una estructura final mucho más resistente.

Al quedar los productos muy próximos al punto de inyección, los efectos se controlan mejor y ello permite localizar con exactitud las presiones y producir desplazamientos en las zonas deseadas.

Este método es en especial aplicable en suelos arenosos ya que en los suelos finos –limos y arcillas– la fuertes presiones se transmiten al agua intersticial y el lento drenaje puede dar lugar a fenómenos de inestabilidad o rotura (más adelante se verá que esta última puede ser de utilidad).

Para reducir la disolución del producto inyectado, las mezclas han de ser densas y poco permeables. Por consiguiente, las más indicadas son morteros de baja relación agua/cemento, o lechadas con materiales inertes. Este mortero debe tener una consistencia seca, (12-15 % de cemento) y alcanza resistencias de 30 a 50 kp/cm^2.

Aunque en algunos casos en los que la resistencia no es primordial puede reducirse el cemento o utilizar cal, puzolanas, etc. La arena debe ser media, inferior a 2,5 mm y con menos del 20 % inferior a 0,05 mm . Es normal la adición de limo o arcilla para dar elasticidad a la mezcla.

Para uniformar las características del terreno, y dado que la zona de influencia es pequeña, las distancias entre los taladros de inyección (Ø 50-75 mm) han de estar comprendidas entre 1,5 y 3 metros.

Las presiones de inyección pueden llegar a los 40 kp/cm^2 y el tratamiento suele hacerse en cada taladro por tramos ascendentes o descendentes de 1,50-1,80 m de longitud.

Este tipo de inyecciones está recomendado para la recuperación de asientos diferenciales, levantamiento o rectificación de rasantes en soleras, inyectando el mortero bajo las mismas mediante una malla de taladros cortos.

También se ha utilizado para reformar el apoyo de zapatas o mejorar la resistencia del terreno en torno a cimentaciones por pilotaje, evitando así el recalce o la sustitución de los pilotes existentes.

Como ya se ha dicho, los suelos más indicados para este tipo de inyección son los arenosos compresibles en los que el efecto de la inyección se transmite rápidamente, y los menos adecuados son los arcillosos, dada la lentitud de la transmisión.

Las inyecciones de fracturación son un tipo especial de las inyecciones de compactación. Se llaman así porque el producto a inyectar fractura primero el terreno y luego se aloja en las fisuras aparecidas en él.

Se ha dicho antes que si la presión de inyección es excesiva se puede llegar a la rotura del terreno. Como consecuencia de esta inyección, la estructura del suelo queda compactada y en cierto modo, armada e impermeabilizada.

TIPOS	FABRICACIÓN	APLICACIONES
Geomembranas (láminas impermeables)	Todas – extrusión	Embalses, canales, lagos artificiales, vertederos, obras de tierra, depósitos y conducciones de agua
Geotextiles (telas sintéticas)	Tejidos – telas Fieltros – no tejidos	Drenaje, filtro y separación Protección de escolleras Refuerzo de taludes y de roderas
Geomembranas (láminas perforadas)	Barras – termosoldado Perforadas – punzonamiento Estiradas – corte y estirado	Armado y refuerzo de terreno y de firmes Revestimiento de grietas y fisuras Rehabilitación de paramentos

GEOLÁMINAS: SUS USOS

(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).

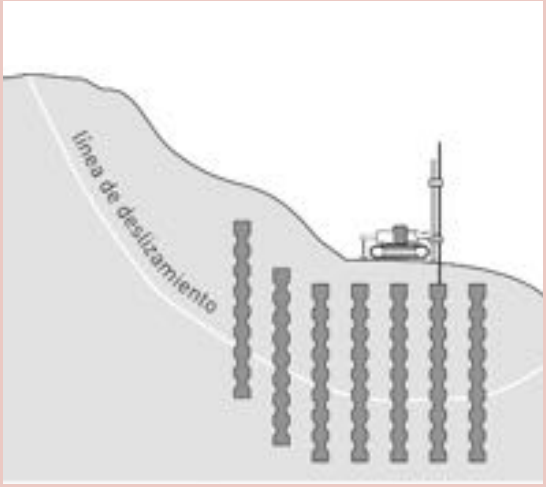
Para que el producto no penetre en los intersticios del terreno, y sí produzca su desplazamiento, el suelo ha de ser poco permeable; es el caso de suelos arcillosos y limosos.

La extensión de la zona afectada por la inyección depende de la rigidez del suelo, y puede alcanzar los 10 metros en terrenos blandos. El producto a inyectar ha de ser fluido, como las lechadas de cemento.

TRATAMIENTO DEL TERRENO CON LA TÉCNICA DE *JET-GROUTING*

JET-GROUTING: se trata de un sistema de inyección que utiliza presiones muy altas y que se traducen en altas velocidades de salida del fluido. Estas altas velocidades de corte consiguen romper el suelo, desplazan las partículas hacia afuera y mezclan el suelo adyacente con una lechada de cemento.

El resultado final es un nuevo suelo, más o menos cilíndrico, cuya resistencia y permeabilidad son diferentes a las del suelo original. Esta serie de columnas de nuevo suelo, y el espacio confinado entre ellas, originan un terreno mejorado para efectuar la cimentación o corregir defectos.



Estabilización de taludes por medio de *jet-grouting*.

El método de inyección tipo *jet-grouting* es uno de los más utilizados, junto con los micropilotes, para el tratamiento de lesiones en edificación. El proceso de ejecución de esta técnica consta básicamente de dos fases.

En la primera fase se perfora el terreno con diámetros comprendidos entre 8 y 11 cm. Se utiliza para esta tarea el tricono o bien un martillo de fondo, se agrega agua de refrigeración y se eliminan los detritus. Así se procede hasta alcanzar la cota inferior del tratamiento donde se sitúa la tobera.

Una vez completada la primera fase, se inicia el tratamiento, realizado de abajo hacia arriba, que, mediante esta tobera o tubo inyector, rompe el terreno con el fluido y rellena este terreno fracturado con lechada de cemento. Esta lechada de cemento, a su vez, puede estar asistida por la colaboración de otros chorros de aire y/o agua.

Durante todo el proceso se lleva un control estricto de las presiones, la velocidad de ascenso de la tobera, la velocidad de giro, como así también del material que resurge por la boca de la perforación, tanto en composición como en volumen.

La técnica de *jet-grouting* ofrece ventajas apreciables respecto a otros sistemas de mejora del suelo. La primera es que permiten atravesar todo tipo de terrenos por el sistema de perforación con que se realiza.

Al estar diseñado para trabajos de recalce, sus dimensiones son muy reducidas, lo que posibilita el acceso a espacios mínimos. Es posible trabajar en espacios reducidos y de acceso complicado.

También permite crear apoyos no puntuales bajo las zapatas a recalzar, por lo que la forma de trabajo de las mismas se aproxima más a la original, con una realización y puesta en carga sin impactos y vibraciones.

Estas últimas características hacen al *jet-grouting* apto para la construcción de pantallas y la apertura de túneles.

Sin embargo, esta técnica requiere un montaje inicial de importancia, lo que se traduce en costos y tiempos considerables. Por este motivo la adopción de este sistema requiere un volumen mínimo de obra.

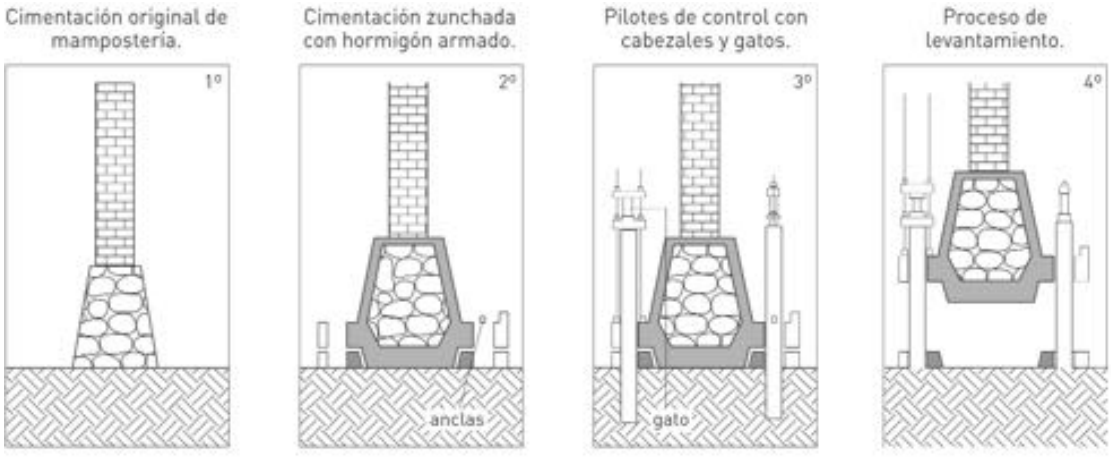
Por lo antedicho, la técnica de *jet-grouting* se aplica con frecuencia en:

- **EL RECALCE DE ESTRUCTURAS CON PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN.**
- **EL REFUERZO DE UNA CIMENTACIÓN EXISTENTE POR AUMENTO DE CARGAS O REDISTRIBUCIÓN DE LAS MISMAS.**
- **LA CIMENTACIÓN DE EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA CON DIFICULTAD PARA EL ACCESO O UBICACIÓN DE EQUIPOS.**
- **EL REFUERZO DE EXCAVACIONES EN LA REALIZACIÓN DE SÓTANOS ADYACENTES A ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS.**
- **LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS DONDE EL TERRENO NO PRESENTE LA ESTABILIDAD NECESARIA Y SEA PRECISO UNA PROTECCIÓN ADICIONAL.**
- **LA PROTECCIÓN DE EXCAVACIONES, EN PARTICULAR CUANDO HAY NIVEL FREÁTICO EN EL TERRENO.**

DRENAJE

Si bien las inyecciones lideran en el campo de las acciones tendientes a impermeabilizar los terrenos, es frecuente descuidar operaciones tan sencillas y básicas como disponer de un buen drenaje del terreno.

Ya sea por escorrentías o por subida del nivel freático, la saturación del terreno con agua, como ya se ha visto, disminuye la capacidad portante de éste.



Recalce del templo de las Capuchinas (México).

Una medida a tomar puede ser la creación de un recinto estanco en torno al edificio o un sellado del terreno para reducir las filtraciones y afluencias de agua. Este sellado bien se puede realizar mediante inyecciones.

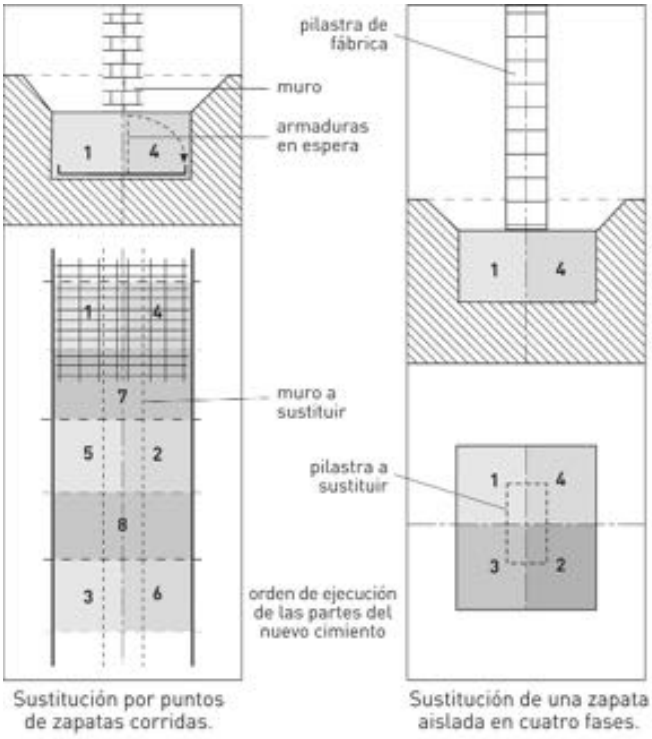
Son numerosas las precauciones constructivas que se pueden adoptar para minimizar los efectos del agua sobre un terreno. Algunas son:

- **LA CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE GRAVA EN EL CONTORNO DEL EDIFICIO HASTA 1,5 M DE PROFUNDIDAD**. En el fondo de estas zanjas se suelen disponer tubos perforados que recolectan el agua y la llevan a una red de desagüe o drenaje.
- **POZOS RECOLECTORES DE DIÁMETRO INFERIOR A 30 CM**, colocados según los requerimientos observados. Los mismos precisan de sistemas de bombeo para su posterior vaciado.

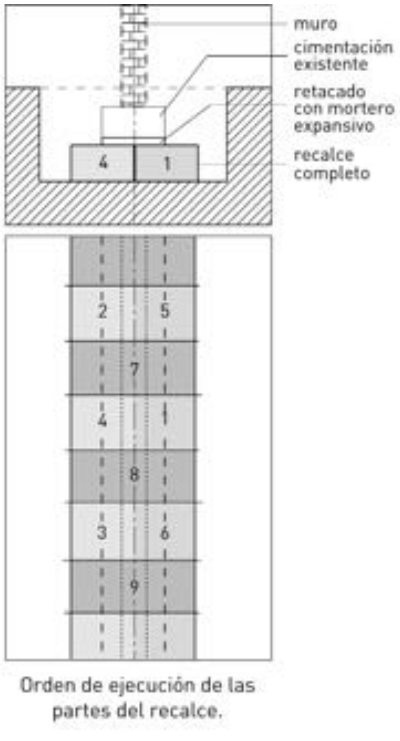
Si no existe la posibilidad de desagüe de la red, la solución de disponer un relleno sobre la superficie libre a fin de elevar la rasante está siempre disponible.

Otra posibilidad de saneamiento es, si el nivel freático coincide con la rasante o está próximo a ella, rebajar el mismo de forma provisional disponiendo equipos de bombeo en el fondo de pozos perforados al efecto.

En el caso de suelos de granulometría fina puede forzarse la migración de humedad creando una diferencia de potencial eléctrico. Este método se denomina electrósmosis, es de elevado coste y resulta eficaz cuando no son viables otras soluciones.



Operación de sustitución de cimentaciones superficiales.



Ejecución de la ampliación de una cimentación corrida, actuando inmediatamente por debajo de la misma.

OTRAS OPERACIONES

ARMADO DEL TERRENO

Este método consiste en atravesar el terreno, en la zona de influencia de las cimentaciones, por un entretejido de barras metálicas, consiguiéndose asi una trabazón que, a efectos prácticos, equivale a una cohesión del mismo.

En esta técnica, las barras metálicas no atraviesan el cimiento, condición que la diferencia del recalce mediante micropilotes, y la transmisión de cargas se mejora por el aumento de la fricción lateral o por la resistencia a la deformación del terreno así cosido.

Se aplican tanto en la edificación industrial como en áreas cubiertas para almacenamiento o párking y, en general, en todas aquellas construcciones caracterizadas por transmitir al suelo esfuerzos moderados y uniformemente repartidos.

SUSTITUCIÓN

La sustitución es otra intervención previa a la cimentación, indicada para terrenos de apoyo conformados por materiales no aptos para cimentar – rellenos de baja calidad, arcillas con alto contenido en agua–.

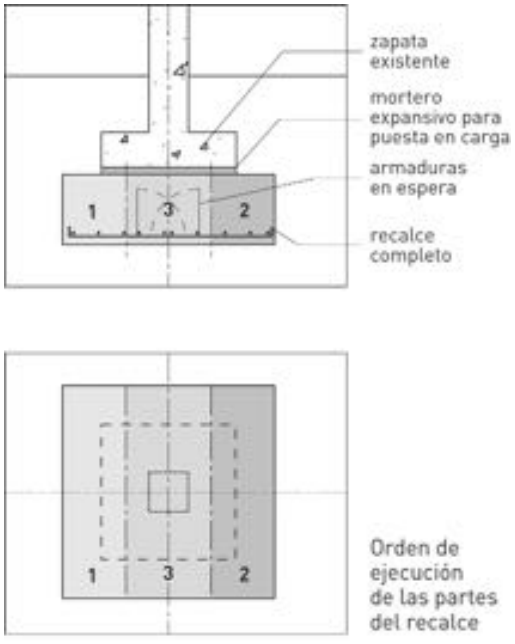
La operación consiste en vaciar esas capas de suelo y sustituirlas por un terreno granular adecuadamente extendido y compactado de mejores características.

La potencia de la operación alcanza los 3 metros de profundidad y es especial para grandes soleras industriales.

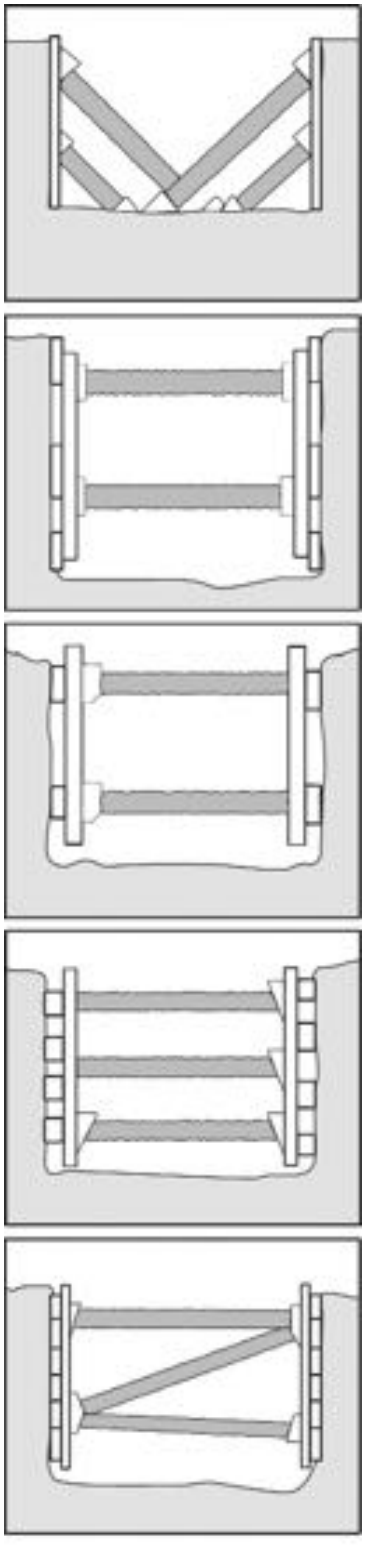
Para profundidades mayores la sustitución puede limitarse a zanjas o a pozos rellenos de grava coincidentes con la línea de cerramiento o con los pilares de la estructura.

COMPACTACIÓN

La compactación es el aumento de la densidad de un terreno y se realiza para disminuir la compresibilidad del mismo y por lo tanto los posibles asientos.



Ejecución de la ampliación de cimentación aislada, actuando inmediatamente por debajo de la misma.



Entibación de cimientos.

La compactación también produce el aumento de la resistencia al corte, eleva la capacidad portante del terreno y la estabilidad de un terraplén.

Asimismo, reduce el número de huecos del suelo y por consiguiente la permeabilidad y la heladicidad.

Los sistemas de compactación pueden ordenarse según se realicen en superficie o en profundidad.

En el primer caso se realizan con máquinas apisonadoras –vibrantes o estáticas– y con rodillos pesados y de distintas características –de llantas, de pata de cabra, vibrantes–.

En el caso de los sistemas de compactación profunda se utilizan pesos muertos –hasta 200 toneladas– que se dejan caer desde cierta altura y así se logran compactaciones con alcances de hasta 30 m de profundidad. El traslado de la maquinaria y las

operaciones previas y finales de regularización hacen que la rentabilidad del sistema comience a partir de los 12.000 m^2.

Otro inconveniente son las vibraciones transmitidas a las edificaciones próximas, lo cual limita bastante el campo de aplicación.

PRECONSOLIDACIÓN

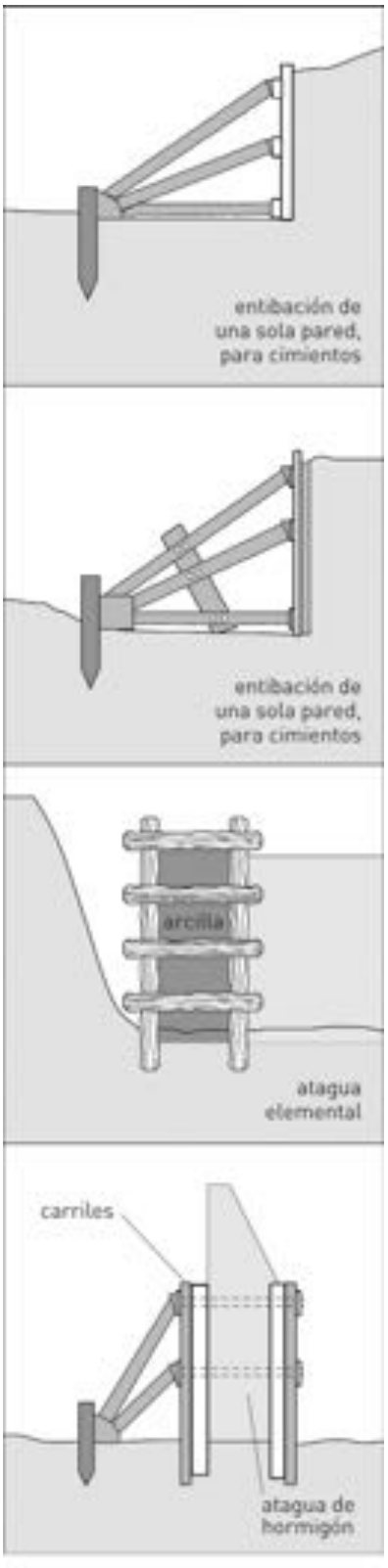
La preconsolidación es una técnica más bien preventiva pero no por ello menos efectiva. Se trata de situar sobre el terreno original a tratar un relleno provisional cuya presión sobre el mismo adelante el proceso de consolidación.

Como se ha dicho, la consolidación de arcillas blandas y de turbas compresibles es un proceso lento, y a largo plazo los asientos diferenciales pueden lesionar las edificaciones cimentados sobre estos suelos.

Por lo tanto, una forma de reducir dichos asientos es acelerar el proceso de consolidación antes de proceder a la construcción sometiéndolos a una sobrecarga previa. La duración de este proceso puede durar un par de años.

VIBROFLOTACIÓN Y VIBROSUSTITUCIÓN

Son técnicas que al igual que las anteriors buscan el aumento de la densidad del suelo. Esta operación, también de tipo preventivo, se consigue a través de la energía liberada por un gran vibrador cilíndrico (ø 30 a 50 cm y un peso de 2 a 4 toneladas) que colgado de una grúa móvil se introduce en el terreno.



Entibación de cimientos.

La intervención consta de las siguientes fases:

- **SE INTRODUCE EN EL TERRENO UNA INYECCIÓN DE AGUA QUE SALE POR EL EXTREMO DEL VIBRADOR.**

- **LA INYECCIÓN CREA UN ESTADO DE LICUEFACCIÓN LOCAL** que sumado al peso del conjunto permite alcanzar la profundidad necesaria.

- **SE PROCEDE A LA VIBRACIÓN** y mientras el vibrador asciende de forma escalonada se compacta y consolida el terreno circundante al tiempo que se rellena la perforación.

Existen tres variantes de este procedimiento según el relleno que se utilice.

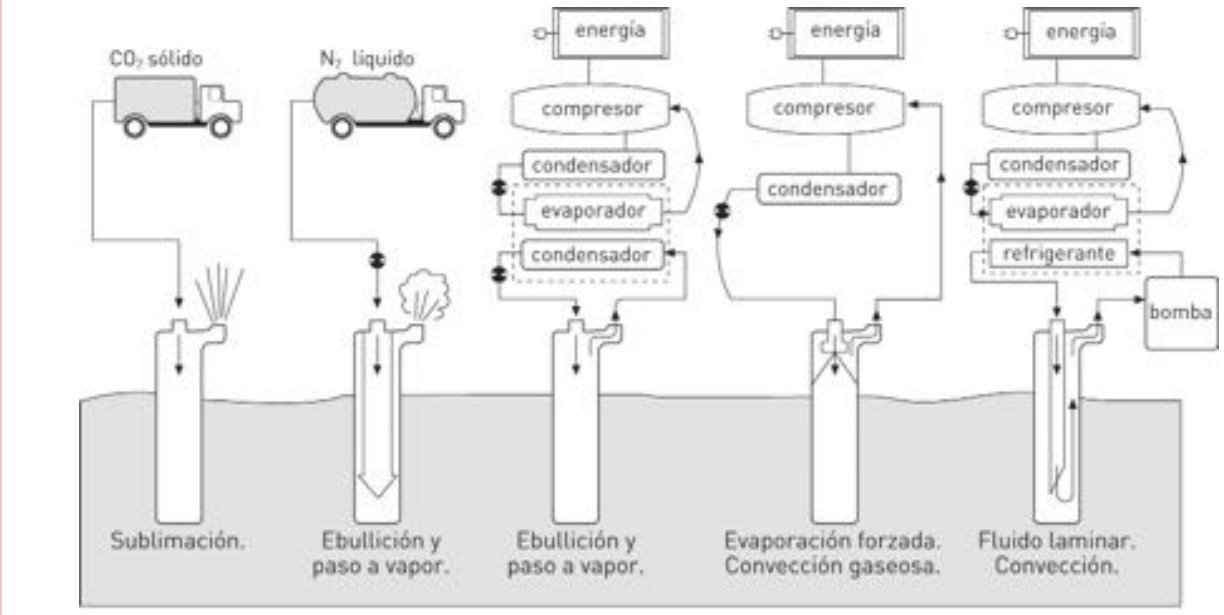
VIBROFLOTACIÓN: Cuando el relleno es el propio suelo y está indicada en suelos granulares o escasamente cohesivos, heterogéneos y poco consolidados.

VIBROSUSTITUCIÓN POR COLUMNAS DE GRAVA: Cuando el relleno es grava. Se utiliza en suelos limosos o arcillosos, en los que la cohesión dificulta la disipación de la energía transmitida por la vibración.

Se diferencia del proceso anterior en que, durante la fase de ascensión, el suelo circundante se compacta y desplaza al tiempo que la perforación se rellena con grava y se compacta por los movimientos de bajada y subida del vibrador.

VIBRISUSTITUCIÓN POR PILARES DE HORMIGÓN: Cuando el relleno utilizado es hormigón, el cual no lleva armadura. El procedimiento se recomienda para suelos orgánicos no aptos para cimentar.

Es muy parecido al caso anterior pero aquí se forman columnas de hormigón en masa y el suelo confinado entre estas columnas también recibe parte de la vibración.



Método de congelación del terreno (según Shuster, 1972).

ESTABILIZACIÓN

Es una medida preventiva válida a través de la cual se añade al suelo componentes tales como cemento, cal, cenizas volantes y productos bituminosos. Se busca mejorar características específicas del terreno tales como la resistencia, la durabilidad o la manejablidad, aumentar la impermeabilidad y reducir cambios volumétricos.

El cemento Pórtland es el aditivo más utilizado para aumentar la resistencia y la durabilidad. Se aplica en proporciones del 2 al 4 % en peso seco para suelos granulares y del 10 al 15 % para los cohesivos.

Sin embargo, las dificultades de mezcla y las grandes cantidades de cemento limitan su uso. El agregado de sílice, aluminio y álcalis de las cenizas volantes permite rebajar las adiciones de cemento. También se aplican conjuntamente con cal ya que reaccionan con el hidróxido cálcico formando compuestos cementantes.

La adición de cal apagada mejora la resistencia, la manejabilidad y reduce cambios volumétricos en las arcillas. Las proporciones de adición oscilan entre el 2 y el 8 % de suelo seco.

El agregado de productos bituminosos es más costoso y difícil de mezclar. Se los utiliza sólo para lograr una capa cohesiva e impermeable sobre terrenos granulares y evitar la pérdida de resistencia al aumentar la humedad en los suelos arcillosos.

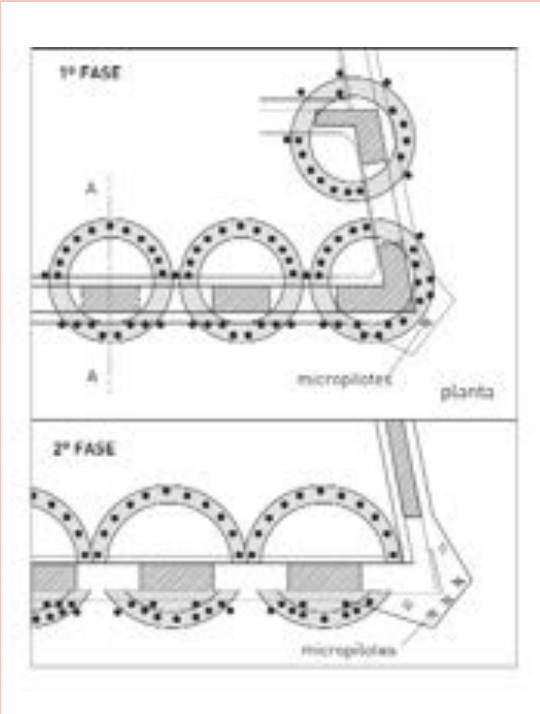
GEOLÁMINAS

La geoláminas son, como su nombre lo indica, materiales de amplia superficie y poco espesor que se utilizan en tareas de consolidación e impermeabilización del terreno.

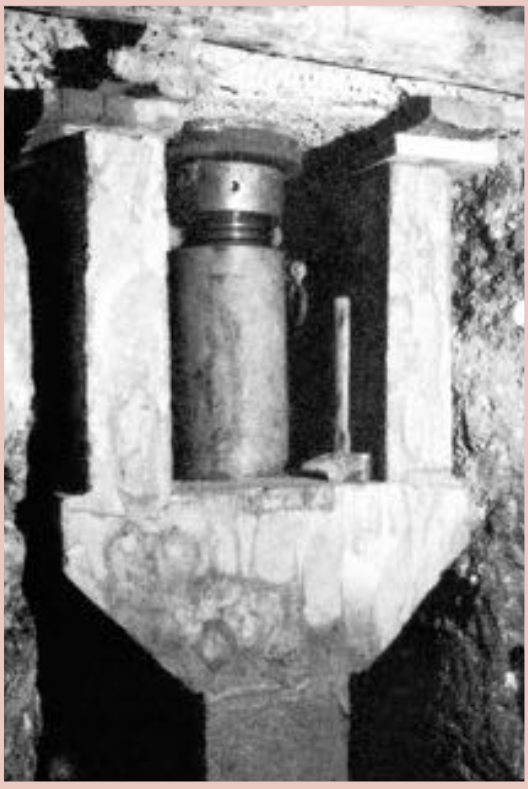
El mercado ofrece tres tipos de láminas: las geomembranas, las geotextiles y las geomallas.

GEOMEMBRANAS: son láminas impermeables que se fabrican por extrusión de fibras sintéticas de corta longitud aglomeradas. Se aplican en la impermeabilización de embalses, lagos artificiales, canales de riego, vertederos.

También se utilizan en el revestimiento de depósitos o de conductos de agua dispuestos sobre el terreno, así como en la impermeabilización de obras de tierra.



Detalles de los pozos de congelación de la figura anterior.



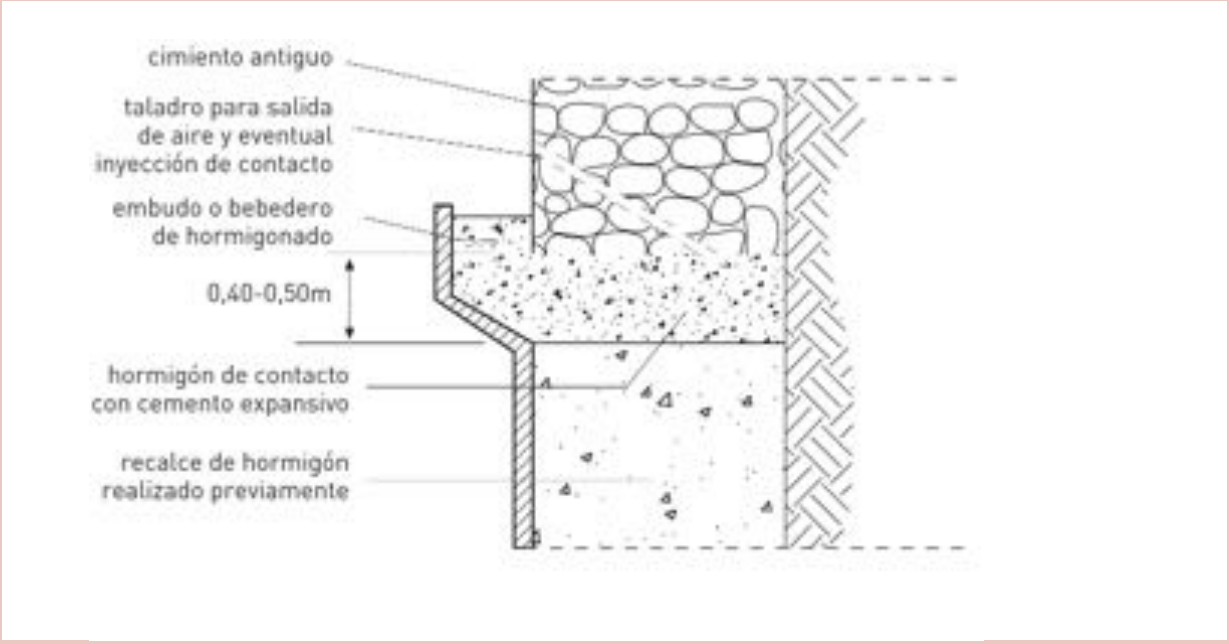
Gato hidráulico para puesta en carga regulada en el recalce de cimientos.

GEOTEXTILES: son telas sintéticas a base de fibras continuas. Si estas fibras están dispuestas de forma regular reciben el nombre de tejidos, si no se denominan fieltros. Los campos de aplicación de estas mallas geotextiles son el drenaje, la protección, el refuerzo, el filtro y la separación en la construcción de carreteras, ferrocarriles, vertederos, y también en la fijación de taludes y para evitar deslizamientos.

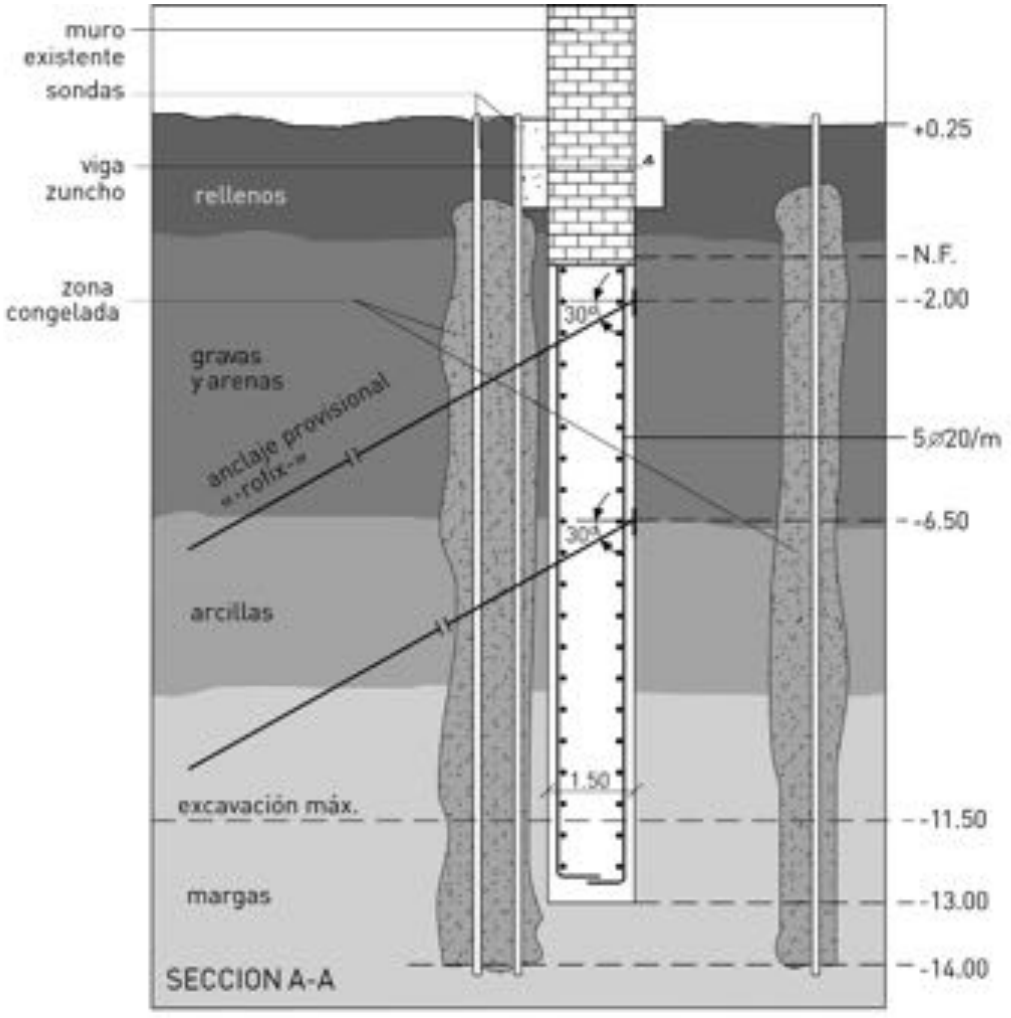
GEOMALLAS: son láminas agujereadas según tramas regulares. De acuerdo con su proceso de fabricación las geomallas pueden ser de barras, perforadas o estiradas.

Se aplican en el armado del terreno, para evitar fisuras en firmes, ayudan a la conformación de terraplenes, en la construcción de estructuras de contención y como capas separadoras.

También se utilizan en el armado y revestimiento de grietas y fisuras, como elemento de unión entre el hormigón, la obra de fábrica y los revestimientos, en la rehabilitación de paramentos, etc.



Detalle de hormigonado de contacto en un recalce por bataches.



Recalce por bataches al abrigo de pozos formados congelando el terreno, Casa del Cordón, Burgos (Arqto. Moreno Barberá).

CASOS ESPECIALES DE INTERVENCIÓN

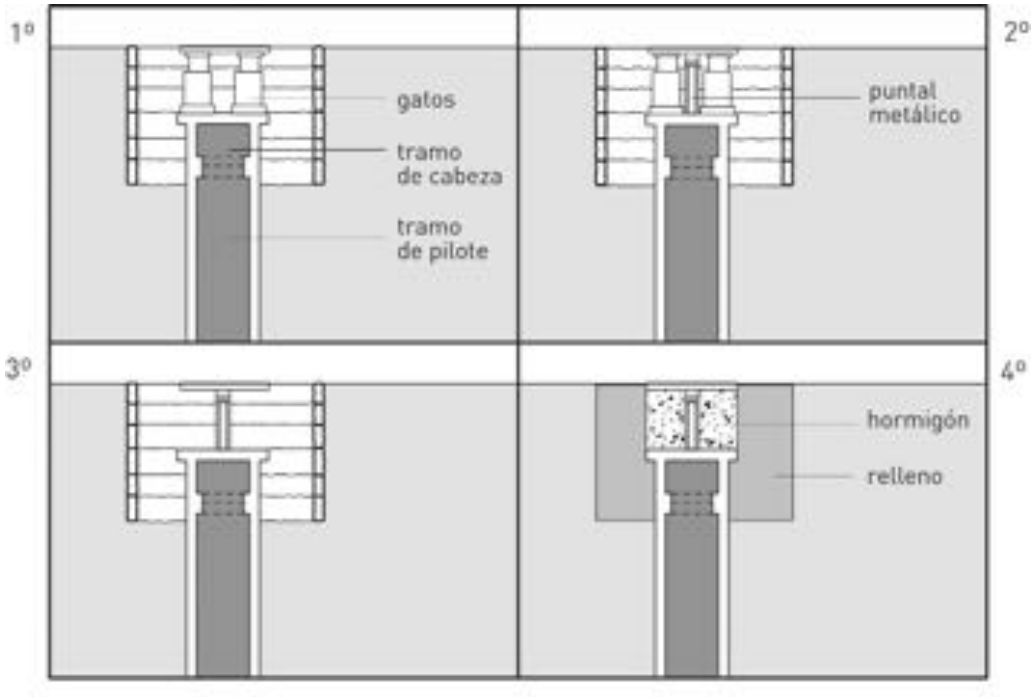
EDIFICIOS INCLINADOS

Es frecuente en construcciones esbeltas como torres y chimeneas los defectos de verticalidad. Estos defectos, en muchos casos, no entrañan una evolución progresiva y losedificios pueden seguir utilizándose sin mayores inconvenientes siempre que se acepte la particular impresión.

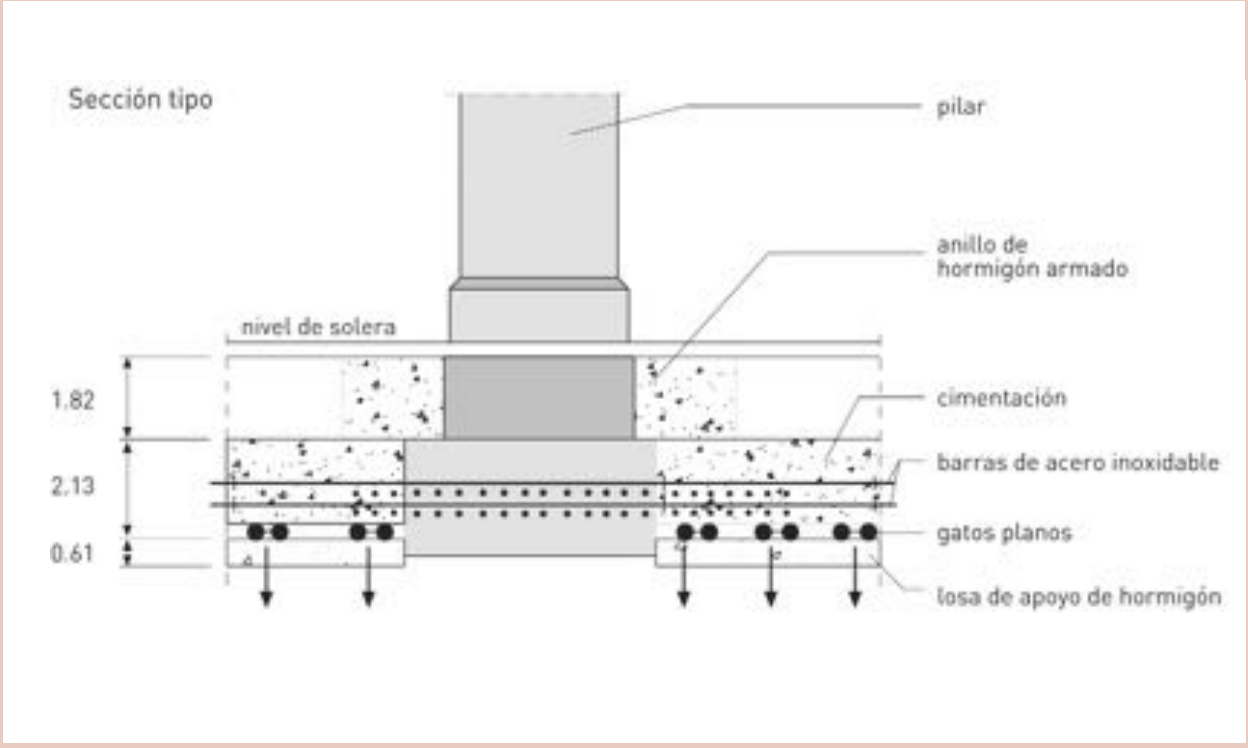
Pero cuando las inclinaciones obedecen a asientos diferenciales de la cimentación, el proceso puede tornarse progresivo, la inestabilidad aumenta y puede conducir al vuelco del edificio.

Si se repasan las causas más comunes de estos accidentes nos encontramos con:

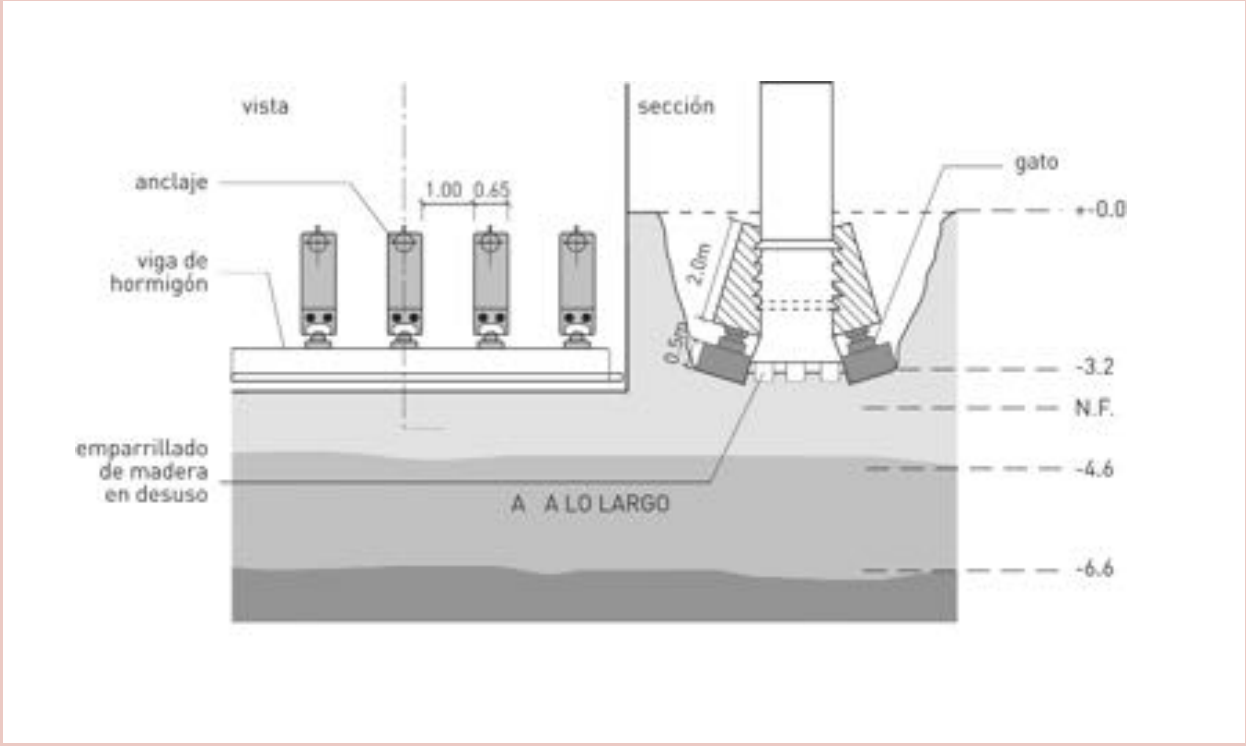
- **HETEROGENEIDAD DEL TERRENO DE APOYO** que hacen mayores los asientos en una zona de la base.
- **FUERTES TENSIONES DE BORDE** por insuficiente área de apoyo o efecto del viento.



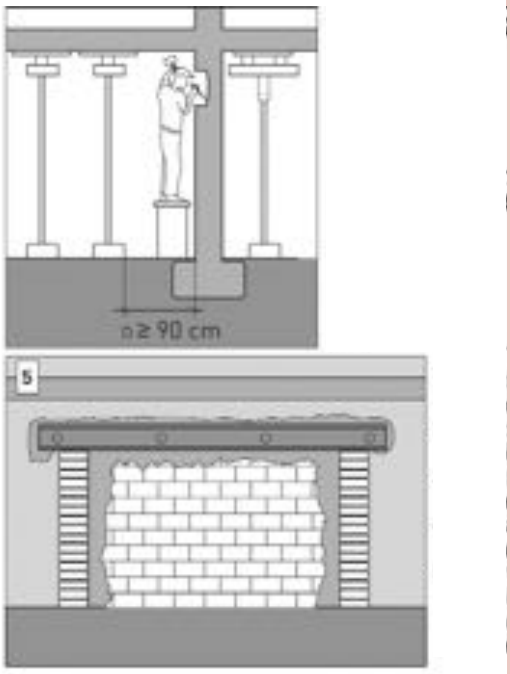
Ejecución de un pilote tipo Pretest.

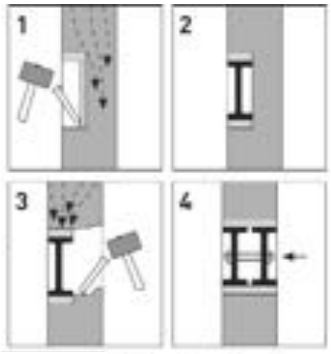


Puesta en carga de un pilar mediante gatos hidráulicos planos entre una losa de hormigón de apoyo y la nueva cimentación.



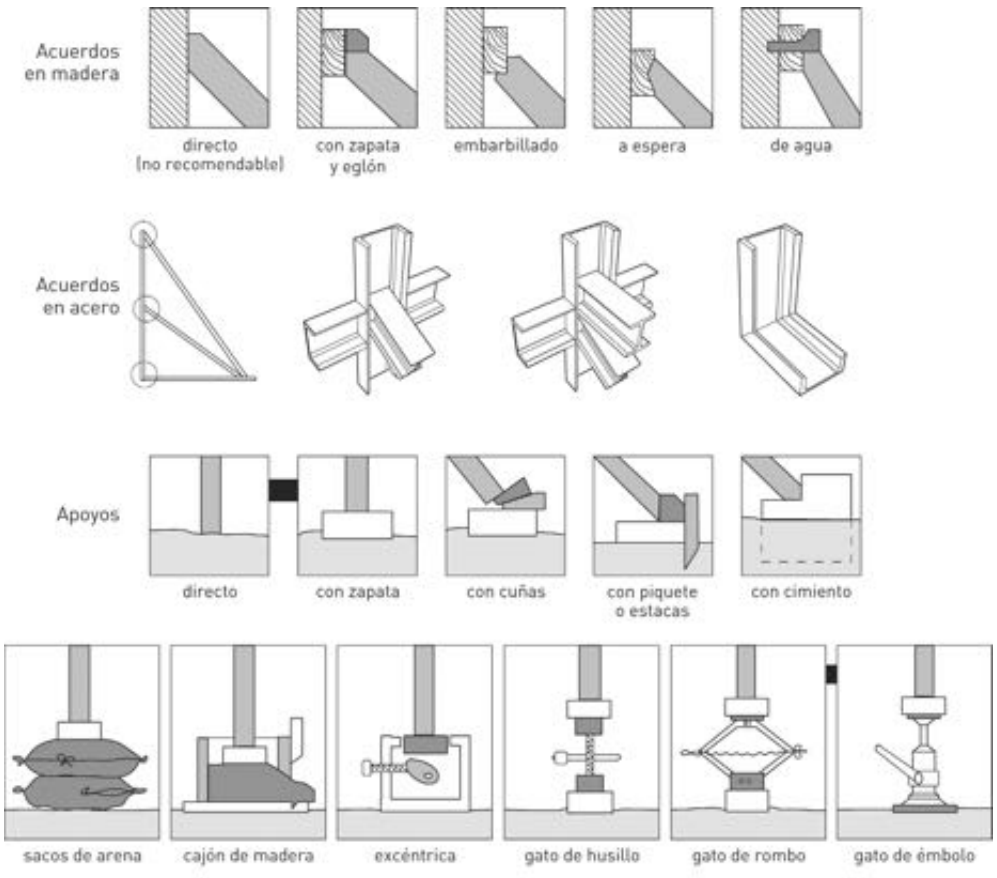
Puesta en carga mediante gatos en una operación de ensanche de una zapata corrida.





1. Apertura de caja por una cara
2. Colocación del perfil por dicha cara
3. Apertura de caja por la otra cara
4. Colocación del perfil, por la otra cara
5. Obra terminada pendiente de retirada del muro descargado

Abertura de caja y colocación simétrica de elementos del dintel.



Acuerdos y apoyos en la realización de apeos.

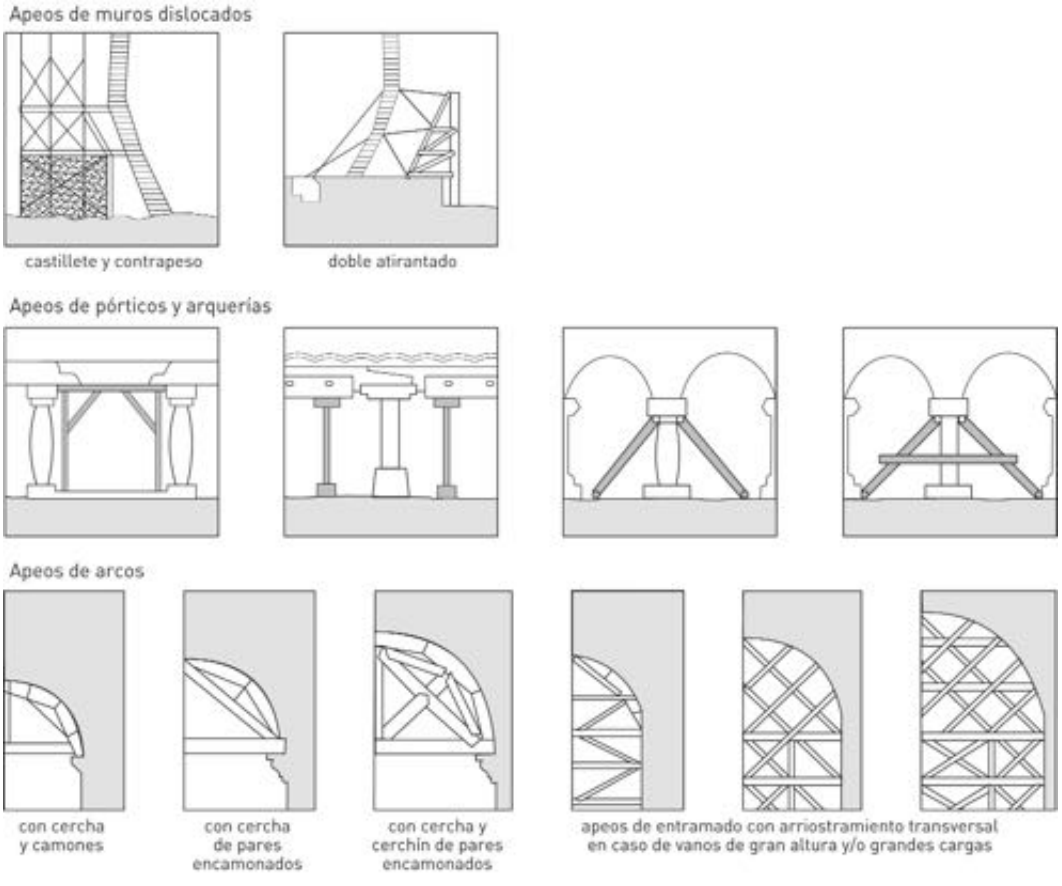
- **EDIFICACIÓN EN ZONAS DE DESLIZAMIENTO**, laderas o con problemas de descenso generalizado del terreno.
- **ASIENTOS PERIFÉRICOS PRODUCIDOS POR EL TRÁFICO**, saturación accidental del terreno, excavaciones próximas, rebajamientos del nivel freático.
- **SACUDIDAS DE ORIGEN SÍSMICO.**

Las soluciones específicas de recalce suelen ser:

- **COLOCACIÓN DE UN CONTRAFUERTE APOYADO SUPERFICIALMENTE O UN ELEMENTO PILOTADO.**
- **ENSANCHE DE LA CIMENTACIÓN, REDUCIENDO LAS PRESIONES SOBRE EL TERRENO.**
- **RECALCE PROFUNDO MEDIANTE PILOTES O MICROPILOTES.**
- **MEJORA DEL SUELO DE CIMENTACIÓN.**

Pero sucede a veces que la intervención para detener el asiento no alcanza para revertir los efectos de la misma. Es decir, cuando la inclinación de una torre o edificio es moderada puede intentarse, con bastantes posibilidades de éxito, la restitución de su verticalidad.

Para ello es necesario que el edificio posea un elevado grado de monolitismo, o sea, la suficiente rigidez para resistir la operación sin fisurarse, aunque siempre puede conseguirse la rigidez necesaria mediante las oportunas operaciones de apeos, de macizado de huecos y de arriostrado.



Apeos especiales.

Es difícil hablar de sistemas comunes de rectificación de edificios, aunque algunos de los más practicados son:

- **LA UTILIZACIÓN DE GATOS MECÁNICOS O HIDRÁULICOS** que se apoyan en una plataforma previamente construida bajo el edificio y en la parte más hundida. Esta plataforma puede ser una cuña de hormigón o una losa de encepado de un grupo de pilotes.

- **INDUCIR ASIENTOS EN LA ZONA MÁS ELEVADA DE LA CIMENTACIÓN DEL EDIFICIO.** En suelos arcillosos puede conseguirse favoreciendo la consolidación, mediante drenes de arena o aplicando sobrecargas (ver el método propuesto por Veder para enderezar la Torre de Pisa).

- **INYECCIÓN MUY CONTROLADA DEL TERRENO**, preferentemente mediante morteros gruesos.



Apeo de muros medianeros. Esta operación se realiza con suma facilidad y es aconsejable cuando las construcciones son de cierta antigüedad.

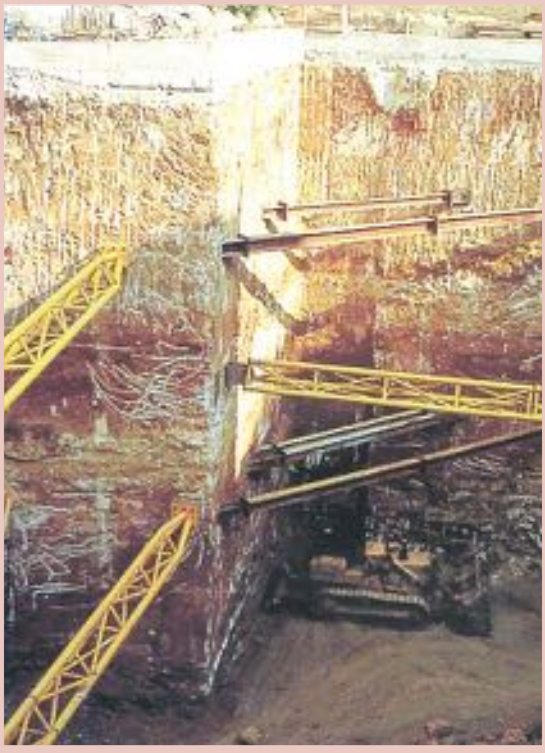
DESPLAZAMIENTO DE EDIFICIOS

Este método, de rara aplicación, es muy difícil de normalizar y sólo se recurre al desplazamiento de un edificio cuando el mismo justifica la onerosa operación.

Esta técnica es quizás el último recurso que tenemos para salvar un edificio.

Se la utiliza en el caso de zonas que serán inundadas (por construcción de embalses, represas), cuando se trazan nuevas redes viarias, o cuando el terreno sobre el que se encuentra sufrirá explotaciones mineras.

Todas las consideraciones que hemos tenido en cuenta para enderezar un edificio rigen para esta operación. Pocos edificios resisten esta operación y en el caso de realizarla, los mismos deben prepararse adecuadamente.



El método es semejante al de la fotografía anterior, sólo que en este caso se trata de apuntalar las paredes de la excavación de cimientos. Aquí el riesgo puede verse incrementado en el caso de suelos expansivos y napas freáticas superficiales.

REDUCCIÓN DE CARGAS

Se ha mencionado más arriba este recurso como otra solución a los problemas de escasa cimentación.

Es una técnica extrema que se aplica cuando otra solución no es viable o bien son demasiado costosas para el edificio en cuestión.

La reducción de cargas se puede llevar a cabo bien mediante la demolición de plantas, o dedicando partes del edificio a usos que involucren menos peso, o bien mediante el reemplazo de elementos constructivos por otros nuevos de menor peso.



Típico operación de vaciado de un edificio conservando los muros de fachada.
Es fundamental el "cosido" de estos muros desprovistos de sus forjados originales de arriostre.

PROBLEMAS ASOCIADOS CON LA REPARACIÓN DE CIMENTACIONES

Se sabe que la reparación de las fundaciones es una tarea complicada y con resultados de difícil predicción. Por lo tanto, la intervención sobre las cimentaciones no siempre se realiza con éxito y ello se debe a factores muy diversos, como pueden ser:

- **IGNORAR LAS CAUSAS REALES DE LOS DEFECTOS A CORREGIR.**

- **EL DESCALCE**, durante la reparación, de zonas cargadas por un esquema de transmisión distinto del que existía antes de intervenir.



Apuntalamiento de los muros de la planta baja y recuadrado de vasos para evitar deformaciones. Sin duda, estamos frente a una situación estática comprometida.

- **LAS TAREAS PROPIAS DE UN RECALCE COMO LA EXCAVACIÓN, HUMECTACIÓN Y DESCARGA DE LAS ESTRUCTURAS** no siempre son realizadas en todo el edificio, lo que conduce a situaciones diferenciales de equilibrio, tanto del terreno como de la propia estructura.

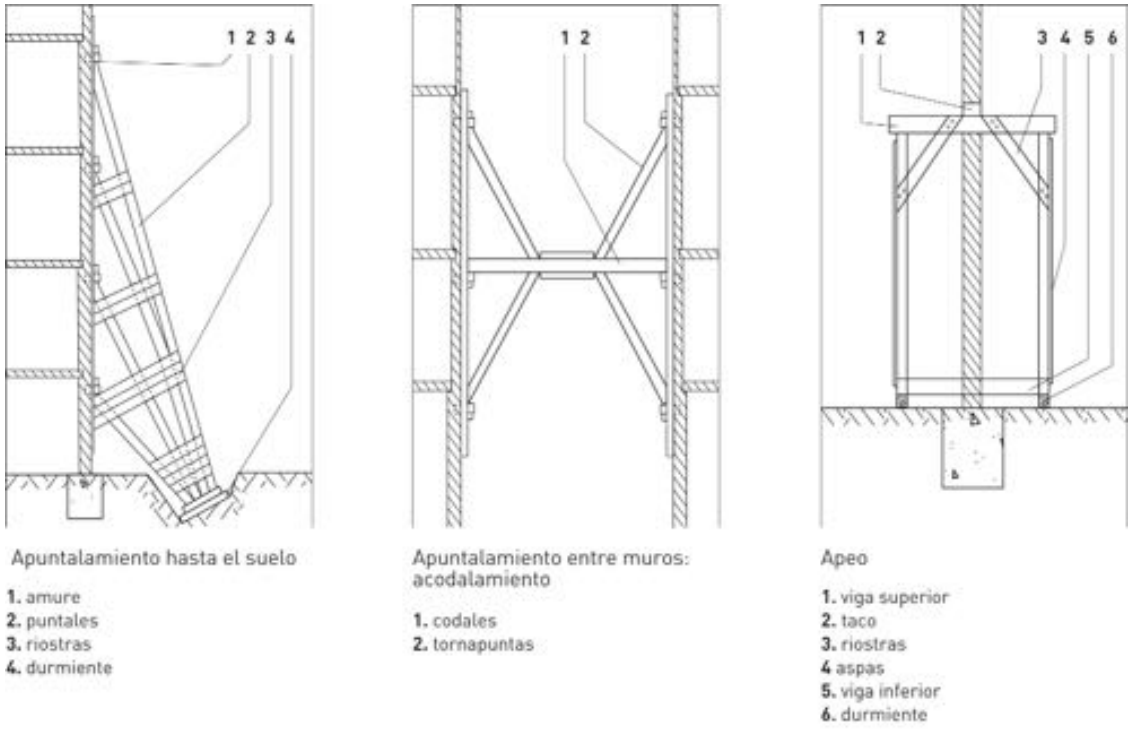
- **EQUIVOCAR EL ORIGEN DE LAS LESIONES**. Por ejemplo, cuando existen problemas geotécnicos de gran escala y confundirlos con defectos localizados.

Adoptar tolerancias algo mayores en edificios aislados es una buena medida preventiva de evitar problemas en obras de recalce.

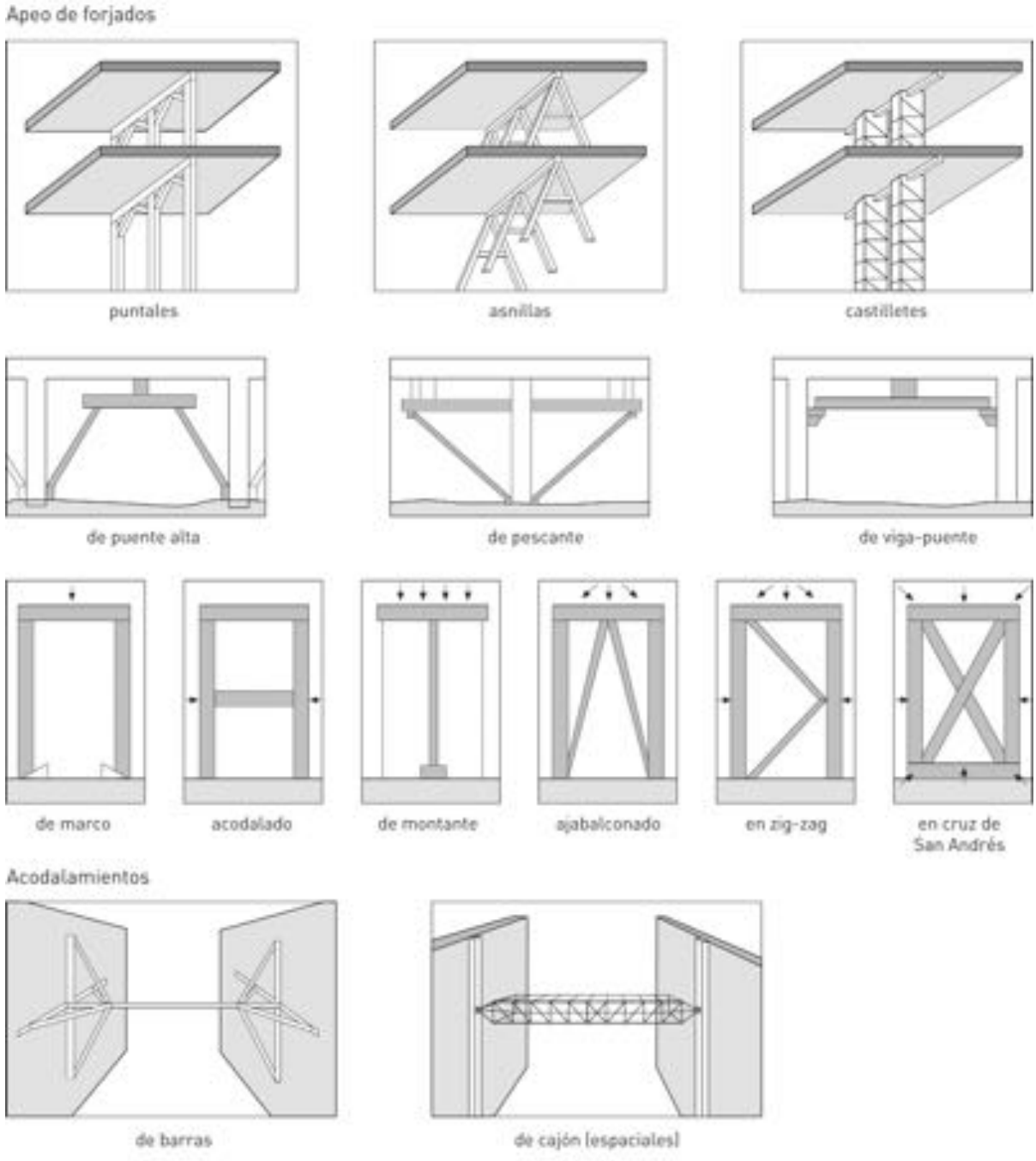
Si el edificio es de tipo abovedado o de alto grado de hiperestaticidad es necesario recurrir a diagnósticos muy precisos mediante el empleo de modelos de análisis apropiados para determinar los máximos asientos tolerables en función de la resistencia de la estructura.

La estructura de muchos edificios, si bien está correctamente dimensionada, no está preparada para soportar los esfuerzos adicionales derivados de un recalce.

A veces el arriostrado estructural puede aliviar los cimientos y frenar el proceso de deformación haciendo innecesario el recalce.



Apeo y descarga de muros. Soluciones tradicionales.



Distintos tipos de apeos.

Por consiguiente, hay que tomar precauciones de refuerzo en el momento de realizar las operaciones.

En líneas generales:

- **AUMENTANDO SU RESISTENCIA.**
- **ALIVIANDO LOS ESFUERZOS MEDIANTE APEOS O RIGIDIZACIONES PROVISIONALES.**

En las intervenciones sobre las fundaciones, los problemas más importantes se asocian con:

- **LA EJECUCIÓN DE LOS BATACHES.**
- **LA PUESTA EN CARGA DE LOS NUEVOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN.**

A. EJECUCIÓN DE BATACHES

Como se ha visto, los batachesson las excavaciones, en zanja o pozo, que se abren junto a la cimentación a recalzar. Esta excavación, que comporta la reducción en la superficie de apoyo, debe ser admisible por la estructura y no se deben producir desprendimientos o movimientos del terreno que puedan afectar a las futuras condiciones de cimentación.

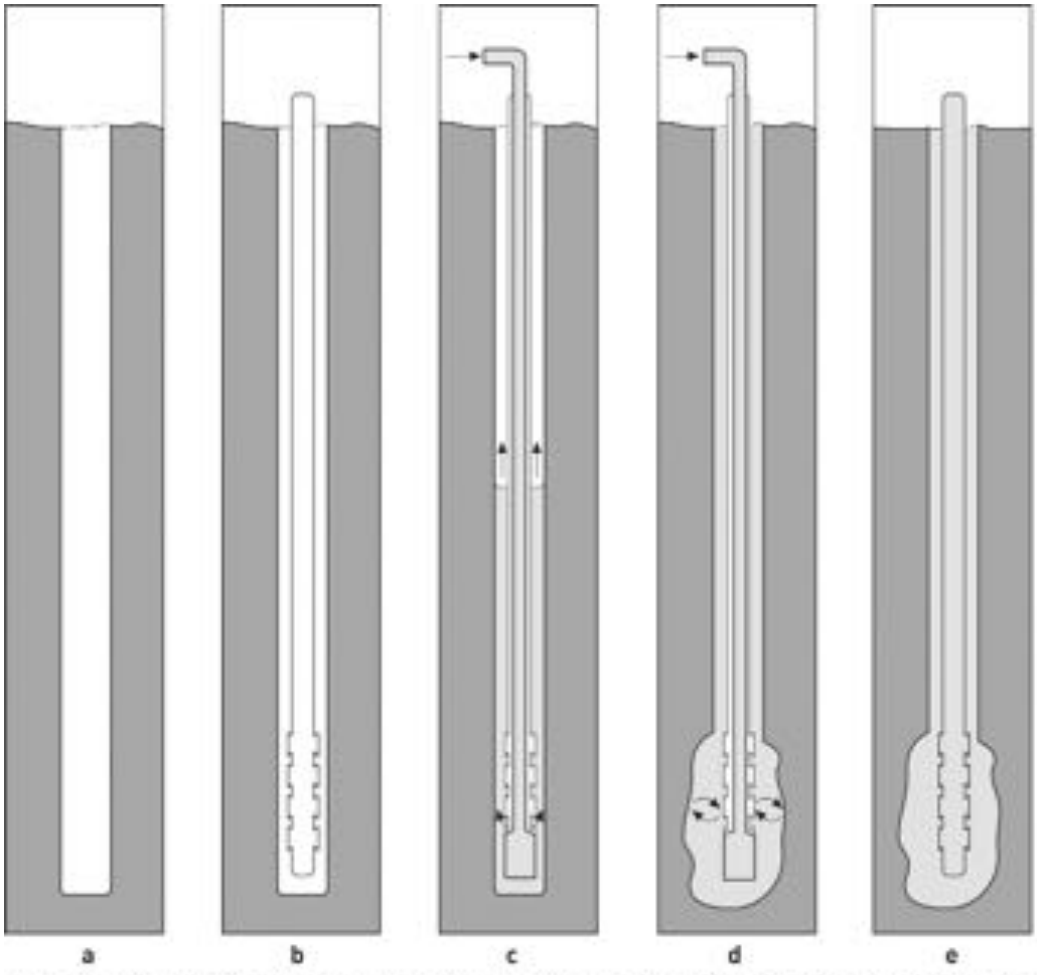
El recalce por puntos o batachesimpone ciertas limitaciones de actuación ya que:

- **LA CIMENTACIÓN O LA SUPERESTRUCTURA DEBEN SER CAPAZ DE PUENTEAR EL HUECO CREADO.**
- **LA ESTABILIDAD DE LAS TIERRAS EN LAS PAREDES DE LA EXCAVACIÓN DEBE QUEDAR GARANTIZADA.**
- **EL APOYO SOBRE LOS NUEVOS CIMIENTOS DEBE QUEDAR ASEGURADO CON DEFORMACIONES MÍNIMAS Y SIN PROVOCAR CARGAS ANORMALES A LA ESTRUCTURA.**

Como regla general, los batachesdeben tener un ancho inferior al tercio de la luz entre pilares. En el caso de zapatas corridas esta medida puede aumentar.

Por lo general se suelen abrir batachesde un ancho aproximado al del cimiento que se pretende recalzar, con un mínimo de 0,80-1,00 m por razones de espacio de trabajo.

La ejecución de batachespresupone un terreno con cierta cohesión, al menos durante el plazo de la ejecución de las obras. Las arenas sueltas, aunque contengan arcilla, quedan excluidas del conjunto de terrenos aptos para realizar batachesUn error muy común cuando se excavan batachesen suelos arcillosos, es comprobar que el terreno resiste bien el talud formado, pero se olvida que estos suelos son muy susceptibles al agua y por lo tanto esta aparente estabilidad inicial es precaria.



a. perforación **b.** colocación de la armadura tubular **c.** inyección de relleno para formación de la vaina **d.** inyección a presión para formación del bulbo **e.** relleno del interior del tubo

Fases de ejecución de un pilote con bulbo inyectado a presión.

En el caso de terrenos con arena o grava bajo la capa freática, de rellenos poco compactos o suelos de granulometría fina muy saturados y flojos es imposible abrir bataches de cierta importancia.

En estos casos, las paredes de la excavación no se mantienen el tiempo suficiente para realizar una entibación y se puede provocar la ruina de la estructura por excesivos asientos o deformaciones del terreno.

Una solución al caso anterior, puede ser el recalce profundo o la consolidación previa del terreno, generalmente mediante inyecciones.

Una alternativa es realizar esta consolidación temporal del suelo mediante su congelación.

La congelación artificial del terreno se basa en la transformación del agua intersticial del suelo en hielo. Así, las partículas quedan rígidamente unidas y los poros se taponan a la circulación de agua.

La congelación del terreno se alcanza mediante la introducción de una red de tubos o sondas refrigerantes que hacen de elementos intercambiadores de calor.

Los sistemas más utilizados son:

- **UN EQUIPO FRIGORÍFICO QUE POSEE EVAPORADOR, COMPRESOR, CONDENSADOR, Y QUE ENFRÍA UN FLUIDO DE TIPO AMONÍACO O ANHÍDRIDO CARBÓNICO.**

  Este fluido a su vez enfría el circuito cerrado de salmuera que recorre las sondas instaladas en el terreno.

- **LA CIRCULACIÓN DE NITRÓGENO LIQUIDO** (a -196 °C) a través de las sondas introducidas en el terreno, absorben el calor del terreno y salen en forma gaseosa a la atmósfera a -60 °C.

En muchos casos esta técnica se combina con una inyección previa del terreno ya que si existe agua en circulación el proceso de congelación puede resultar muy dificultoso.

Es importante tener en cuenta que en el proceso de congelación se producen hinchamientos, mientras que al descongelarse el terreno reduce su volumen y pierde resistencia de manera acusada por lo que debe tenerse muy en cuenta este fenómeno.

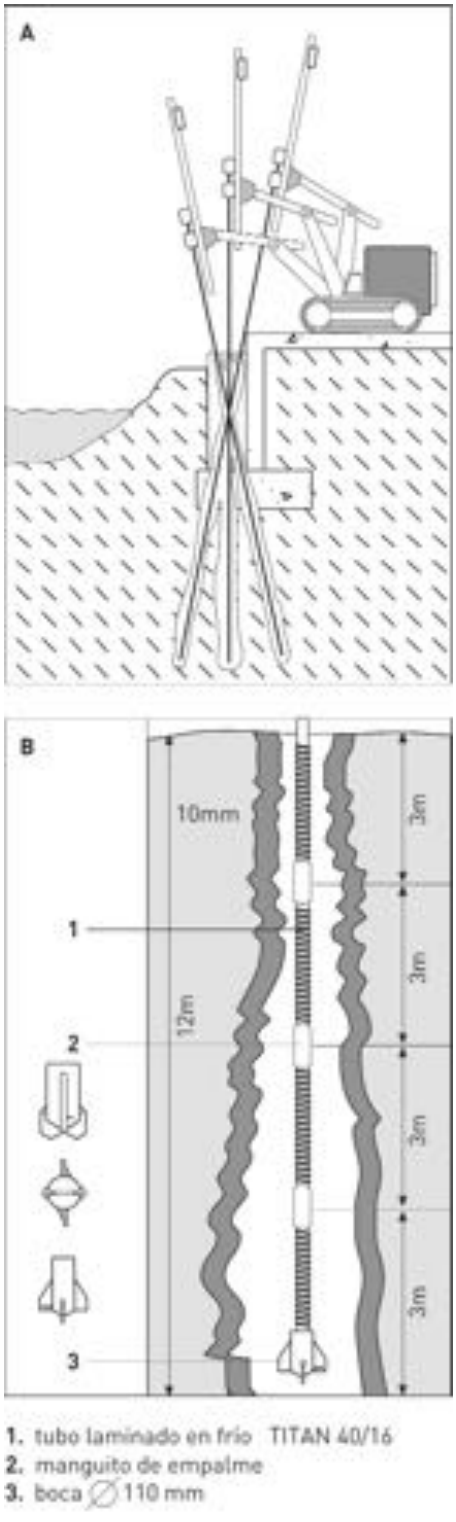
B. PUESTA EN CARGA DE NUEVOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

Las intervenciones sobre las fundaciones que se vienen mencionando son obras de ejecución en cierto modo anómalas, pues si bien en un edificio de nueva planta la cimentación va entrando en carga paulatinamente a lo largo de la ejecución de la obra hasta la fase final de la puesta en servicio del edificio, en el caso de los elementos de cimentación existente la puesta en carga automática no existe.

La transmisión de las cargas del edificio a los nuevos cimientos o a los elementos de recalce, es una operación delicada que no siempre se consigue sin que se produzcan asientos o deformaciones apreciables.

En el caso de los bataches, la transmisión de cargas a los elementos de cimentación se produce de manera progresiva, a medida que se sustituyen los viejos y se realizan los nuevos.

Esta operación no es simultánea y hace que el primer recalce soporte más carga que el último lo cual puede producir daños estructurales y asientos excesivos. Esta contingencia se reduce si se realizan recalces por bataches alternativos y en cantidad suficiente, o bien si el nuevo firme de apoyo es de sobrada calidad.



Realización de un micropilote.

El problema de asegurar el contacto ajustado entre el cimiento y el recalce es otro tema a considerar. La retracción del hormigón o el descenso de la nueva cimentación por la compresibilidad lateral del terreno, pueden dar lugar a huecos o luces del orden del centímetro en el plano teórico de contacto.

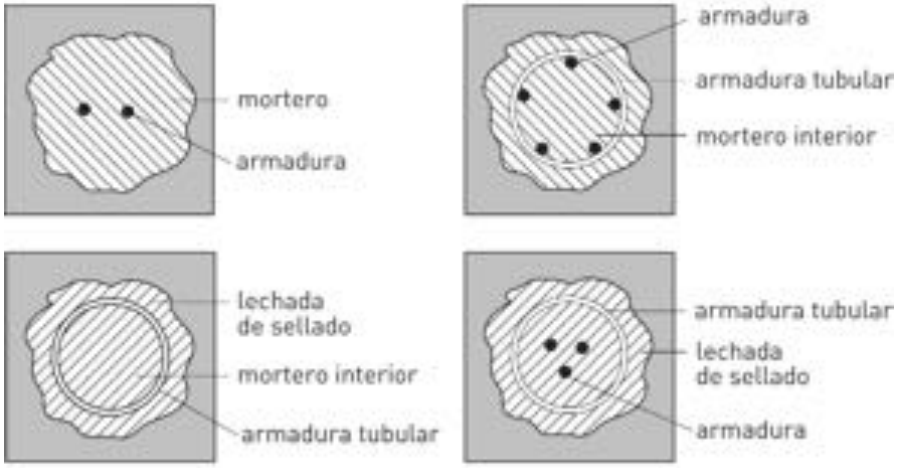
Esto se puede solucionar de algunas maneras:

- **REALIZAR TODO EL BATACHE O AL MENOS LOS ÚLTIMOS 0,50 M CON FÁBRICA DE LADRILLO MACIZO Y JUNTAS DE MORTERO DELGADAS, ENCAJANDO CON LA MÁXIMA PRESIÓN POSIBLE LA ÚLTIMA HILADA.** El procedimiento es lento y costoso, por lo que se utiliza poco y sólo en bataches de pequeño volumen y profundidad.

- **INTRODUCIR CHAPAS METÁLICAS O DE PLOMO EN EL HUECO DE CONTACTO**. Las cuñas metálicas se colocan con el hormigón a medio fraguar, mientras que las de plomo exigen un hormigón ya duro y un hueco de aproximadamente un centímetro.

  No es un método aconsejable cuando existe agua que pueda corroer el acero o infiltrarse por los huecos del contacto.

  En algunos lugares estas chapas se sustituyen por placas de pizarra, consiguiendo un relleno de huecos muy ajustado y resistente.



Secciones típicas de micropilotes.

- **UTILIZAR EN LOS ÚLTIMOS CENTÍMETROS DEL RECALCE UN MORTERO EXPANSIVO QUE FUERCE LA PUESTA EN CARGA**. Es conveniente hacer algunas pruebas para determinar la relación entre el espesor, la presión y la deformación alcanzados.

- **INYECCIÓN EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO DE UNA LECHADA DE CEMENTO A PRESIÓN A LA QUE SE PUEDE AGREGAR RESINAS EXPANSIVAS**. Resulta laborioso y no siempre es posible tapar todos los bordes.

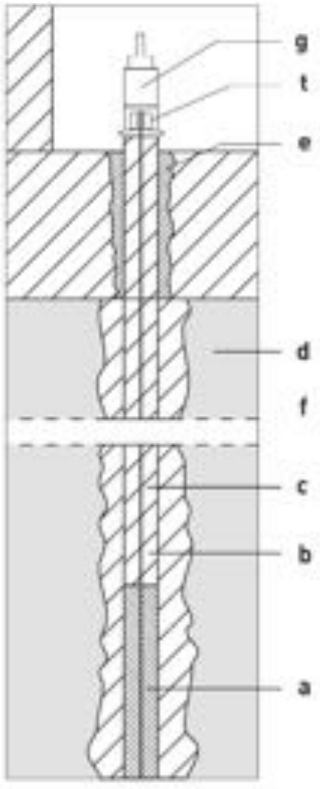
A pesar de todo, es imposible conocer la carga exacta transmitida a cada batache o su evolución a lo largo del recalce.

Incluso, si los asientos de puesta en carga son lentos, como sucede en los suelos arcillosos saturados, es necesario repasar periódicamente algunos elementos que hayan podido quedar descolgados.

Hoy en día está muy extendido el uso de gatos hidráulicos cuya carga y deformación se controlan de forma progresiva y paulatina, lo que consigue una nueva distribución de cargas relativamente uniforme y con asientos prácticamete despreciables.

Los gatos pueden ser de tipo normal o plano, según las dimensiones de las deformaciones esperables y el tipo de cimiento. No es inusual darle a los gatos una leve carga adicional para compensar futuras deformaciones de la estructura o del terreno.

1. perforación y colocación de la armadura tubular (**f**).
2. cementación del fondo del tubo (**a**) y colocación de la barra de tensado (**b**).
3. tensado de la barra con el gato (**g**) y retención con la tuerca (**t**).
4. sellado del contacto con la zapata (**e**).
5. liberación del tensado cortando la cabeza del micropilote.
6. inyección del exterior (**c**) y del interior del tubo (**c**).



Puesta en carga de un micropilote mediante tensado interno.

Una vez realizado todo el recalce y estabilizadas las deformaciones, se rellena el hueco bajo el cimiento con mortero sin retracción.

Los gatos planos suelen dejarse perdidos ya que es muy difícil extraerlos, aunque los gatos hidráulicos convencionales pueden extraerse dejando una abertura o se los deja en un hueco accesible para correcciones posteriores.

También pueden reemplazarse por castilletes metálicos, cuidadosamente acuñados y que se embeben posteriormente en mortero.

Los gatos hidráulicos también son utilizados en la puesta en carga de los pilotes.

Estos pilotes que admiten la puesta en carga progresiva, están formados por elementos prefabricados de acero u hormigón, tienen una longitud de 1,20 a 1,60 m y diámetros de 45 a 60 cm.

Se introducen en el terreno mediante los gatos que presionan contra el cimiento existente y pueden, si son de tubos abiertos, extraer el suelo que queda en su interior o bien desplazarlo mediante una punta metálica. Estos pilotes requieren abrir bataches bajo el cimiento con una altura del orden de 1,50-1,80 m.

Al final del procedimiento de hinca del pilote, se introduce una pieza metálica antes de quitar los gatos con lo cual los asientos son muy pequeños.

Este tipo de pilote fue patentado por Prentis y White en Estados Unidos en 1917 con el nombre de *Pretest*.Como última opción, y tal como se ha visto en apartados anteriores, la inyección de la cimentación o bien del terreno, es el único método que lleva incluido en su ejecución la puesta en carga.

No todos los macizos ni terrenos admiten esta técnica, y entre las precauciones a tener en cuenta está la de no pasarse en la presión de la inyección para no producir al edificio peligrosos desplazamientos ascendentes.

C. LOS APEOS

La mayoría de las intervenciones en la cimentación de un edificio lleva incluida en su ejecución el debilitamiento previo de dicha cimentación, ya que es casi siempre necesaria la descarga provisional de los cimientos.

Esta transferencia o desvío de cargas que actúan sobre un cimiento a puntos firmes del entorno, permiten trabajar con seguridad en la operación de recalce.

Estas estructuras provisionales de descarga son los apeos, los apuntalamientos, los acodalamientos y las entibaciones realizados, en general, con madera por su poco peso, versatilidad, facilidad de ensamble, montaje y desmontaje y posterior aprovechamiento del material.

También se utilizan en muchas ocasiones los puntales metálicos telescópicos, su facilidad de manejo permite en su montaje una puesta en carga y descarga gradual y efectiva.

La realización de apeos es una operación en especial delicada que alcanza un grado de complicación, en oportunidades, superior al de la propia intervención en la cimentación.

Para la realización de un apeo exitoso se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

- **UN APOYO FIRME Y FIJO DURANTE EL TIEMPO QUE DURA EL APEO.**
- **UNA SUJECIÓN CORRECTA Y SIN DETERIOROS DEL ELEMENTO A SUSTENTAR.**
- **POSIBILIDAD DE UNA PUESTA EN CARGA Y DESCARGA GRADUAL.**
- **RESISTENCIA FRENTE A POSIBLES ACCIONES HORIZONTALES IMPREVISTAS.**
- **CONTINUA VIGILANCIA PARA ASEGURAR EN TODO MOMENTO EL CUMPLIMIENTO DE SU FUNCIÓN.**
- **PERMITIR LA INTERVENCIÓN EN LA CIMENTACIÓN SIN OBSTACULIZAR.**

Los apeos pueden ser, según su complejidad, simples o compuestos. Los simples se refieren a piezas elementales, como puntales (verticales), tornapuntas (inclinados), sopendas (horizontales superiores que atan o sujetan), durmientes (horizontales inferiores que apoyan).

Los apeos compuestos pueden ser de entramado –madera, acero– o macizos –constituidos por fábricas.

Los apeos de entramados de madera son de montaje rápido y su duración, tamaño y altura son limitados. Necesitan una triangulación o arriostre, ya que son estructuras isostáticas y su fabricación puede estar a cargo de un carpintero, con un control mínimo y un costo medio. Si su exposición a la intemperie es prolongada necesitan una protección.

Los apeos de entramados de acero son de montaje rápido, de duración limitada y pueden alcanzar una altura y tamaño importantes. Necesitan de triangulación y protección contra la corrosión. La mano de obra para montarlos debe ser calificada –montador–, el control de la ejecución máximo y el costo es elevado.

Los apeos de ladrillo o de bloque son de montaje lento, pueden alcanzar una altura y tamaño importantes. No necesitan ser arriostrados, por ser estructuras rígidas, y la simple ejecución por parte de un albañil hace que estos apeos sean económicos y no requieran especial control.

La entrada en servicio del apeo, también denominada operación de puesta en carga, templado o ajuste, no debe ser ni brusca ni con vibraciones. Es preferible utilizar una barra para hacer palanca que un martillo, aunque lo óptimo es utilizar gatos hidráulicos o mecánicos.

La operación de afloje, destemplado o descarga, también debe ser suave, lenta y controlada.

Cuando se apean puntos distintos pero próximos hay que organizar grupos de apeo sincronizados para evitar puestas en carga diferenciales. Lo mismo sucede en el desmontaje o desapeo.

En la operación de apeo de muros, el acuerdo (encuentro entre el apeo y el elemento apeado) debe realizarse sin punzonamientos. Para ello se deben disponer elementos de reparto horizontales (zapatas cortas, carreras largas, vigas) o verticales (puntas de tablón, velas) y se debe asegurar su perfecta sujeción.

El apoyo de un apeo es el contacto entre éste y el firme de apoyo al que se transfieren la cargas que soportaba el elemento apeado. Debe estudiarse el mejor apoyo posible para cada elemento de apeo. Si los terrenos de apoyo son flojos, es necesario disponer de una pequeña cimentación para los apeos (pilares de mampostería, dados de hormigón, chapas metálicas).

En el caso de elementos aislados, como tornapuntas y puntales, la estabilidad lateral no está garantizada, razón por la cual estos elementos se rigidizan por medio de diagonales o rampantes dispuestos en el mismo plano del apeo.

Los pórticos se apean descargando en nuevos pórticos, enmarcados por el vano o por medio de vigas, que embragando el dintel se apoyan en zapatas y éstas en puntales que llegan al terreno o al plano firme, que puede ser el piso inferior, si éste también se encuentra apeado.

Los apeos de arcos constan de dos partes: el apeo de la pila o pilastra, que se realiza por medio de collares que se aprietan a la misma, y el apeo del arco, por medio de camones (piezas curvas que se ajustan perfectamente a la forma del arco), cerchas encamonadas o cerchas de cerchines y camones.

Si los vanos o las cargas son importantes, además del apeo en el plano del arco, deben organizarse arriostramientos perpendiculares para evitar el vuelco del arco.

En el apeo de bóvedas de cañón, se disponen de apeos de cimbra transversales, coincidentes con los arcos fajones si existen, rellenando el espacio entre éstos con enlistonados o entablonados.

En bóvedas por arista, se colocan apeos coincidentes con los arcos diagonales, fajones y formeros, rellenando los espacios intermedios como en el caso anterior.

El apeo de cúpulas se organiza un grupo de apeos radiales, rellenando los espacios intermedios con anillos de tablón. A veces sucede que el intradós o parte interior del elemento a apear presenta grandes deformaciones o posee molduras. En este caso se dispone un mortero flojo, que se adapta fácilmente a la directriz o a la sección de dicho elemento.

Los acodalados o acodalamientos son un tipo de apeo que se organizan para afianzar dos medianeras o muros paralelos entre sí. Se resuelven a base de codal o barra, de gran sección, ayudada por tornapuntas en los planos vertical y horizontal hasta conseguir una solución espacial que rigidice el conjunto. Entre el apeo y los muros se dispone una cruceta constituida por una pieza vertical (vela) y otra horizontal (carrera).

La sujeción de fachadas, si bien puede realizarse en madera lo habitual es utilizar castilletes entramados de acero, contrapesados con cajones de hormigón, desde los que se lanzan ménsulas o agujas que embragan y estabilizan la fachada a sujetar mientras se vacía el edificio y se dispone una nueva estructura. Esta operación se realiza por la acción del viento, los sismos, las vibraciones del tráfico, etc.

Los apeos de macizo son los más sencillos de hacer y se resuelven por tímpanos de fábrica que rellenan el vano del elemento a apear. Los componentes son ladrillos huecos o bloques de mortero aligerado, que se colocan con morteros flojos de cemento si van al exterior y con yeso si van en el interior.

Cuando el gálibo a apear presenta entrantes y salientes, el acuerdo se produce por rejuntado con mortero flojo (y por tanto fácilmente eliminable) entre tímpano y gálibo.

El apeo de pórticos y arcos de gran envergadura se suele realizar con apeos macizos. El tímpano de apeo se aligera con huecos adintelados que eliminan peso, ahorran material y posibilitan el paso de operarios.

Si el tímpano es esbelto se suele arriostrar en sentido transversal con macizos para corregir el pandeo lateral.

LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

En este breve apartado se pasa revista a los elementos constructivos más utilizados en las intervenciones de las fundaciones. No sólo se repasan técnicas conocidas sino que también se introduce a los métodos más nuevos en lo que hace a la rehabilitación de edificios.

Muchos de los datos que aquí se aportan son con el objeto de ampliar la aplicación de estas técnicas en la labor específica de recalce y consolidación de cimentaciones.

PILOTES

Se define al pilote como el elemento estructural cuya dimensión predominante es la longitud, y cuyo cometido es transmitir las cargas de la construcción que se desea cimentar, a las capas del terreno que se encuentran a cierta profundidad y que son capaces de absorber estos esfuerzos.

En la reparación de las cimentaciones, el uso de pilotes permite prescindir del suelo que se encuentra inmediatamente bajo el edificio y su capacidad de absorber grandes esfuerzos ofrece un amplio rango de aplicaciones. La limitación en el uso de pilotes viene dada por el espacio que precisan las grandes máquinas que lo ejecutan.

En el cálculo de los pilotes intervienen dos factores:

- **SU CAPACIDAD COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL**, que depende de su fabricación –35 a 40 kg/cm^2 para pilotes *in situ* y 120 kg/cm^2 para los prefabricados de hormigón armado–.

- **LA CAPACIDAD DEL TERRENO CIRCUNDANTE QUE INTERACTÚA CON LA PUNTA Y EL FUSTE DEL PILOTE**. Se adoptan valores georresistentes de los diferentes estratos, se utilizan coeficientes de seguridad para estimar la carga admisible y se fijan valores de rechazo en el caso de pilotes hincados.

Existe una gran variedad de pilotes en cuanto al tipo de ejecución, forma de trabajo, material de constitución, capacidades de carga. La mayoría de las veces su fabricación determina su puesta en obra. La clasificación más usual es:

- **PILOTES REALIZADOS IN SITU O DE EXTRACCIÓN.**
- **PILOTES PREFABRICADOS O DE DESPLAZAMIENTO.**

Si bien la ejecución de pilotes es hoy una técnica muy difundida, su realización debe quedar en manos de contratistas con experiencia y con los medios adecuados. Cabe agregar que la selección y cálculo del sistema de pilotaje debe ser realizada por profesionales.

PILOTES IN SITU

En los pilotes de fabricación in situ o de extracción, el suelo que ocupará el pilote se extrae hasta llegar a la profundidad prevista de proyecto y se sustituye por hormigón armado.

Dentro de este tipo de pilotes, el método de contener las paredes de la perforación, de efectuar el hormigonado y de colocacar las armaduras diferencia unos pilotes de otros.

En el primer caso se puede dar que la perforación se realice en un terreno estable. En esta técnica de efectuar el pilote el terreno se excava por medio de una herramienta con forma de helicoide que se introduce a rotación.

Esta «hélice» al girar se carga con el terreno y lo saca al exterior junto al orificio perforado. Luego se introducen las armaduras y se procede al vertido del hormigón.

Una segunda técnica se plantea cuando el terreno no se mantiene estable al realizar la perforación. El mismo se puede estabilizar con el empleo de lodos bentoníticos.

El hormigonado se realiza de abajo hacia arriba, desplazando los lodos, mediante un tubo denominado ***TREMIE***.

Estos lodos, por su calculada densidad y composición, permiten reemplazar al terreno inestable hasta que llega el hormigón.

La tercera técnica también se sitúa en terrenos de escasa capacidad autoportante. Para realizar la perforación, se extrae el terreno a la vez que se introduce una entubación, en general metálica. El tubo protege así la excavación durante toda la profundidad de terreno inestable y se retira a medida que se vuelca el hormigón.

PILOTES PREFABRICADOS

Estos pilotes se introducen en el terreno, en general mediante golpes, sin extraer en forma previa el material del suelo. Pueden ser de diversos materiales –madera, acero, hormigón–, pero en general son de este último.

Se suelen fabricar en instalaciones fijas, trasladándose a obra mediante transportes especiales. De esta manera, se controla mejor su calidad de fabricación.

La penetración se controla en función de los golpes y el momento en que se produce el rechazo a la hinca. Así se asegura su adecuado empotramiento.

MICROPILOTES

Un micropilote es, como su nombre lo indica, un pilote de menores dimensiones. Por lo tanto, es un elemento cilíndrico de pequeño diámetro –entre 110 y 250 mm, siendo el más usual 150 mm– que transmite los esfuerzos de la estructura a niveles resistentes del terreno.

Los micropilotes se arman, por lo general, con un tubo, se perforan protegidos por una entubación metálica recuperable y se inyectan de abajo arriba con lechada o mortero de cemento de alta dosificación agua/cemento.

Los micropilotes poseen ciertas ventajas, tanto para obra de nueva como para intervenciones de recalces:

- **SON DE DIMENSIONES REDUCIDAS** y los equipos que se utilizan son, por lo tanto, muy maniobrables y se pueden ubicar en pequeños espacios. Son ideales para recalces en espacios de poca altura como sótanos en cascos urbanos.

- **SU REDUCIDO DIÁMETRO LES PERMITE ATRAVESAR CUALQUIER TIPO DE TERRENO O MATERIAL**, como zapatas, lo que los hace especialmente indicados para reparaciones.

El micropilote funciona como un elemento cilíndrico rodeado por el terreno el cual impide su pandeo. Su capacidad portante sin embargo es limitada por lo que es común utilizarlos en grupos.

En el momento de ejecutar cualquier tipo de micropilote de recalce se debe garantizar el control de:

- **EMPOTRAMIENTOS EN EL TERRENO COMPETENTE.**

- **ENCEPADO O ATADO A NIVEL DE LOS CIMIENTOS ATRAVESADOS.**

- **CALIDAD DEL ACERO DE LAS ARMADURAS.**

- **RESISTENCIA DE LA LECHADA O MORTERO.**

La ejecución de un micropilote consta básicamente de dos fases: la perforación y la inyección.

PERFORACIÓN: se efectúa normalmente a rotopercusión, al amparo o no de tubería de revestimiento, y con el fluido de refrigeración –aire o agua– hasta su salida por el elemento de perforación o corte del terreno. La perforación se ejecuta hasta que se empotra en el terreno resistente la longitud fijada por proyecto.

En este momento, se procede a la introducción de la armadura, que generalmente es tubular, de distintos diámetros, espesores y calidades. Las armaduras en base a redondos corrugados no son aconsejables, como tampoco los es el empleo de aditivos tipo bentonita que disminuyen el rozamiento lateral de la inyección posterior.

INYECCIÓN: Una vez introducida la armadura se procede a la inyección y simultánea retirada de la tubería de revestimiento. Esta se realiza sin presión y por circulación inversa, de abajo arriba. Desde el fondo de la perforación asciende entre ambos tubos desplazando en su camino los posibles detritus y el agua que hubiera en el hueco.

Como producto de inyección se emplean lechadas de cemento o morteros, de dosificaciones agua/cemento entre 1/1 y 1/2.

Uno de los tipos de micropilotes que habitualmente se utilizan es aquel en el que el tubo de perforación no sólo realiza la penetración sino que también sirve de protección para la misma. La expulsión de los detritus se lleva a cabo mediante el agua de refrigeración de la corona de corte. Cuando la perforación finaliza se coloca la armadura y se va llenando el vacío con mortero y retirando la entubación por tramos. La aplicación de presión de aire y el taponamiento de la cabeza de la entubación ayudan a que el mortero penetre y adquiera densidad.

En este tipo de micropilotes la entubación se ejecuta por tramos roscados de muy corta longitud lo cual permite utilizar maquinaria de reducido tamaño, y esto hace que se pueda trabajar en espacios ajustados.

La adición de agua puede ser perjudicial en terrenos inestables o flojos, por lo que existe otro tipo de micropilotes realizados «en seco». Pueden ser sin entubación y con una barrena helicoidal o bien entubados y la cabeza de corte refrigerada por aire. Una vez limpia la perforación se coloca la armadura y se inyecta un mortero fluido o una lechada de abajo arriba. Al igual que el caso anterior se puede taponar la salida de la entubación y aplicar presión a la lechada para mejorar la colocación del mortero.

Estos micropilotes necesitan un terreno no muy duro, desprovisto de obstáculos, sin nivel freático y que no se desprenda al perforar.

Otro tipo de ejecución de los micropilotes es el que posee un bulbo inyectado a presión en su extremo inferior. Una vez realizada la perforación por el sistema correspondiente, se coloca una armadura tubular provista en su parte inferior de manguitos elásticos que hacen de válvulas antirretorno y se inyecta una lechada por los sucesivos manguitos, de abajo arriba y con presión suficiente para romper la vaina creada en la perforación y crear un bulbo desplazando el terreno.

Estos micropilotes, si bien son batante más caros, poseen una capacidad portante muy superior a la de los micropilotes normales, así como menores asientos de puesta en carga.

Para resumir, el equipo básico de ejecución de micropilotes es el siguiente:

- **UNA MÁQUINA DE PERFORACIÓN DEL TAMAÑO QUE REQUIERAN LAS CIRCUNSTANCIAS DEL TRABAJO**. El sistema de perforación empleado normalmente es a rotopercusión, utilizando como fluido de perforación aire y/o agua.

- **UN EQUIPO DE INYECCIÓN DOTADO DE UNA MEZCLADORA DE ALTA TURBULENCIA**, ya sea para inyectar mortero de cemento o lechada de cemento.

- **COMPRESORES, GENERADORES, GRÚAS, GANCHOS Y DEMÁS UTILAJE.**

ANCLAJES

Los anclajes en el terreno son elementos activos diseñados para absorber esfuerzos de tracción. Se los utiliza principalmente en la estabilización de muros pantalla y muros de contención y también se usan en la conteción o consolidación de terrenos de dudosa estabilidad. Para efectuar este cometido, los anclajes están constituidos básicamente por tres partes.

BULBO: de anclaje es la parte que va solidaria con el terreno estable en el cual se inserta y que transmite al mismo las tracciones que le induce la armadura.

La cabeza del anclaje es el elemento que conecta el mismo a la estructura de contención, debiendo ser capaz de absorber totalmente la tensión de la armadura.

Se proyecta con los ángulos de inclinación necesarios y con los dispositivos para permitir tensados parciales, destensados y nueva puesta en carga si fuera necesario.

ARMADURA: del anclaje es el elemento lineal intermedio que transmite los esfuerzos desde la cabeza hasta el bulbo y posee libre alargamiento.

Está constituida en unos casos por cables de alta resistencia y en otros por barras roscadas de media o alta resistencia.

La armadura no transmite esfuerzos al terreno circundante, permitiendo alejar y situar la zona adherida –bulbo– en sitios de terreno estable y fuera de las zonas de deslizamiento.

Hay distintas tipologías de anclajes que se pueden agrupar en diversas clasificaciones.

Por la forma de entrar en carga nos encontramos con los anclajes activos –tensados desde el principio a su carga de servicio– y luego están los anclajes pasivos – sin tensión inicial, ya que la adquieren a medida que van siendo solicitados.

Por el tiempo que estarán funcionando, también podemos diferenciar los anclajes provisionales –que serán sustituidos por estructuras definitivas– y los anclajes permanentes –que son los que deberán actuar durante toda la vida útil de la estructura.

Por el tipo de armadura nos encontramos con los anclajes de cable, formados por alambres de cordones de alta resistencia, con los anclajes de barra GEWI, formados por acero roscado del tipo AEH-500 y con los anclajes de barra DIWY-DAG, en acero roscable de alta resistencia.

La ejecución de los anclajes se inicia con la perforación del terreno y la inyección del bulbo con lechada de cemento.

Una vez llena totalmente la perforación se procede a la colocación de la armadura, barra o cables.

Finalmente, transcurrido el tiempo necesario para el correcto fraguado (7 días) del bulbo y la cabeza del anclaje (placas y cuñas), se realizará la puesta en carga o tensado de la armadura, mediante gatos hidráulicos.

La armadura del anclaje se dimensiona en función de la carga a absorber, sometiendo normalmente la misma a una tensión del 55 al 60 % de su límite elástico, en el caso de los anclajes permanentes, y del 70 al 75 %, en el caso de los provisionales.

PREVENCIÓN

Las siguientes consideraciones, por supuesto, no nos eximen de la totalidad de las contingencias a la cual está sujeto cualquier edificio que se encuentra apoyado sobre un suelo. Sin embargo, y a modo de resumen, este puñado de medidas preventivas son para evitar, o por lo menos minimizar, los defectos en las cimentaciones con respecto al edificio propiamente dicho.

Las acciones preventivas a tener en cuenta en los aspectos propios de los terrenos se verán más adelante.

1. CONSIDERAR EN EL DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS RECALCES DE FUNDACIONES, TODAS LAS ACCIONES QUE INCIDIRÁN SOBRE LA ESTRUCTURA (Norma NBE-AE 88). Junto a las habituales acciones gravitatorias permanentes, sobrecargas de uso, de nieve, de viento y de sismo, hay que considerar las térmicas y geológicas, las provocadas por empujes del terreno y aguas freáticas.

2. LA ADOPCIÓN DE ESTRUCTURAS ISÓSTATICAS, frente a las hiperestáticas, permite absorber mejor los asientos diferenciales.

3. EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS SIMÉTRICAS, sin cambios bruscos de rigidez, se aconseja en zonas con riesgo sísmico.

4. LOS ASIENTOS ADMISIBLES EN LA CIMENTACIÓN se traducen en esfuerzos adicionales que no se suelen considerar en el cálculo de la estructura, especialmente en las porticadas.

5. ES UN ERROR CREER EN EL PROYECTO DE INTERVENCIÓN que las características mecánicas de los materiales constituyentes se mantendrán inalterables indefinidamente.

6. LAS LESIONES SE PRESENTAN CON FRECUENCIA EN LOS CAMBIOS DE USO DE LAS ESTRUCTURAS, como el incremento de carga, cambios de distribución de zonas con derribo de tabiques, etc.

7. EN EL USO DE MATERIALES CON MAYORES RESISTENCIAS QUE LAS HABITUALES, y en concreto en el hormigón armado, se debe tener en cuenta la compatibilidad de deformaciones entre unos y otros para evitar comportamientos diferentes.

8. EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CON ELEMENTOS DE MUY DIFERENTE RIGIDEZ, da lugar, durante la vida en servicio, a deformaciones que se pueden transformar en fisuraciones.

9. LA UBICACIÓN ADECUADA DE LAS JUNTAS DE DILATACIÓN, DE CIMENTACIÓN Y DE HORMIGONADO, permite evitar gran número de grietas y fisuras no previstas.

10. EL ADECUADO CONTROL DE EJECUCIÓN permite evitar una parte importante de las lesiones de la estructura.

11. SE DEBE PRESTAR UNA ATENCIÓN ESPECIAL A LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS: radios de doblado de las armaduras, de los ganchos y patillas, separación entre barras, armaduras de cortante, armadura de piel, recubrimientos, solapes, etc.

12. EL ADECUADO MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LAS CIMENTACIONES, y en especial en ambientes agresivos, permite evitar lesiones que se provocarían por alteración de los elementos estructurales.

13. SE DEBE COMPATIBILIZAR LA ESTRUCTURA CON EL ENTORNO, y no sólo a efectos estéticos, sino también a nivel de las deformaciones de cada uno.

PATOLOGÍAS DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN

Aquí se tratarán los fallos, sus causas e intervenciones más comunes en los sitemas de contención de tierras, líquidos y demás estructuras. Hay un apartado especial en lo que hace a las piscinas y se ofrece una serie de medidas preventivas en la elaboración de estos sistemas constructivos que, junto con las cubiertas, son los que más problemas acarrean.

Su inclusión dentro del apartado de patología de las cimentaciones obedece a un claros puntos en común, como es el contacto con el terreno y sus técnicas de construcción y cálculo. Se deduce de esto que muchas de las cosas hasta acá comentadas son ciertamente válidas para estos elementos constructivos.

DEFINICIÓN Y TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención son los elementos estructurales encargados de contener las tierras, líquidos o materiales a granel y en polvo. Por lo tanto, en la construcción nos encontraremos con distintas tipologías de muros contención, ya sean estos para aterrazar pendientes, sostener taludes en obras viarias, constituir piscinas o depósitos.

El caso que más interesa en esta publicación, son los muros de contención construidos para sostener el empuje de las tierras.

Por lo tanto, y para comenzar, se dice que la misión de estos muros es:

- **RECIBIR EL EMPUJE ACTIVO DEL TERRENO (P).**
- **SOPORTAR SU PESO PROPIO (G).**
- **CONTENER EL PESO DE LAS TIERRAS (G1 Y G2).**
- **GENERAR UNA REACCIÓN (R) QUE ENFRENTE TODAS LAS CARGAS ANTERIORES Y LAS TRANSMITA AL TERRENO SOBRE EL QUE ESTÁN CIMENTADOS.**
- **DEFORMARSE DE MANERA ADMISIBLE PARA EL USO Y ESTÉTICA REQUERIDOS.**

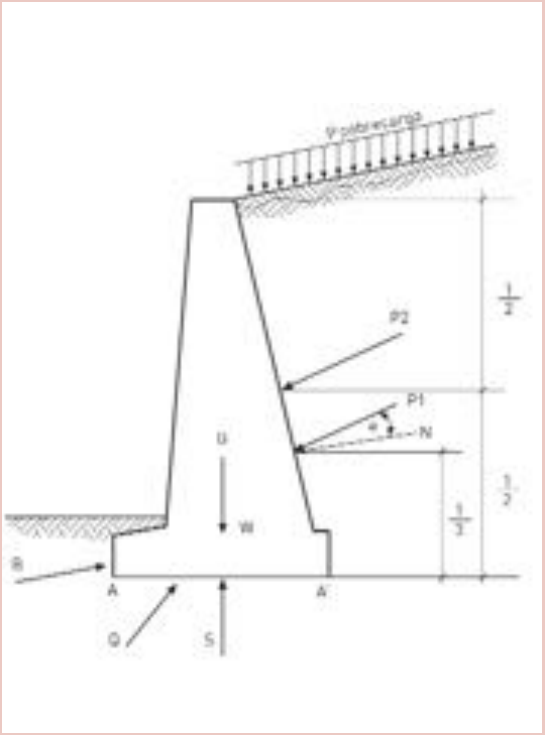
RÍGIDAS O MUROS	
De gravedad	Mampostería
	Hormigón en masa
En ménsula	Puntera y talón
	Sin puntera
	Sin talón
Mixtos de hormigón y fábrica	
De contrafuertes	De mampostería
	De hormigón
FLEXIBLES	
Pantallas	Continuas
	De pilotes
	De paneles
	De tablestacas
Pantallas	
Tierra armada	
Muros de sótano	

ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).

De esta manera, las estructuras de contención han de cumplir con algunas condiciones fundamentales como son presentar una ***ESTABILIDAD AL VUELCO*** respecto a su arista inferior opuesta al empuje, mostrar también ***ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO*** en su base de apoyo y transmitir al terreno sólo ***TENSIONES ADMISIBLES*** por el mismo, o sea, nunca superarlas. Estas tres condiciones, que en definitiva garantizan la estabilidad del muro, deben comprobarse tanto en la etapa de diseño como en la de cálculo y dimensionamiento. Planteado lo anterior, se puede decir que los sistemas de contención se dividen en dos grandes grupos: los **MUROS DE CONTENCIÓN** y las **PANTALLAS O «MUROS PANTALLA»**.

La diferencia entre el muro y la pantalla reside, principalmente, en su forma de trabajar y de ahí se derivan sus posibles aplicaciones en la construcción. El muro de contención actúa, en esencia, por peso y forma, o sea, por esfuerzos normales al plano de su sección. Su realización es de escasa profundidad y por consiguiente funciona para uno o dos subsuelos. La pantalla, en cambio, funciona a flexión, es decir, soporta esfuerzos paralelos al plano de su sección. Es la solución más conveniente para excavaciones más profundas.



Esquema de fuerzas que concurren en un muro de contención.

FALLOS: CAUSAS Y LESIONES

Los muros y pantallas de contención son unos de los elementos constructivos que más problemas padecen. Sus fallos se deben a muchas razones y la sintomatología de los mismos es, aunque extensa, bien precisa. Entre estas lesiones encontramos:

- **VUELCO.**
- **DESPLOME.**
- **DESLIZAMIENTO.**
- **FISURAS Y GRIETAS.**
- **DEFORMACIONES.**
- **DEGRADACIONES DEL MATERIAL POR ATAQUE DEL MEDIO.**

Asimismo estas lesiones responden a una o varias causas, como pueden ser:

- **DESLIZAMIENTOS Y DESMORONAMIENTOS DEL TERRENO.**
- **FALTA DE SISTEMAS DE DRENAJE EN PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO.**
- **EMPUJES POR SATURACIÓN DEL TERRENO CON AGUA.**
- **DESORGANIZACIÓN O FALTA DE JUNTAS.**
- **DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES.**
- **ERRORES EN EL PROYECTO.**
- **ERRORES EN LA EJECUCIÓN.**

El colapso o vuelco de los sistemas de contención son muy frecuentes, la presencia de agua o la mala ejecución acostumbran ser las causas más corrientes.

La densidad, el ángulo de fricción y la cohesión del terreno son los parámetros que definen los empujes activos de los mismos.

Estos parámetros se obtienen de ensayos, más o menos normalizados, que se eleboran en el laboratorio y sobre muestras de terreno extraídas *in situ*.

El valor de la cohesión varía en forma permanente según la humedad. En terrenos saturados o anegados se ha de contar con el empuje del agua, el cual posee un valor considerable si lo comparamos con el de un suelo no saturado.

Para evitar este empuje, causante en muchos casos del desplome de los sistemas de contención, se hace necesaria la realización de una impermeabilizacion y un drenaje. En muros enterrados y en pantallas situadas bajo medianeras, esta operación muchas veces no es posible.

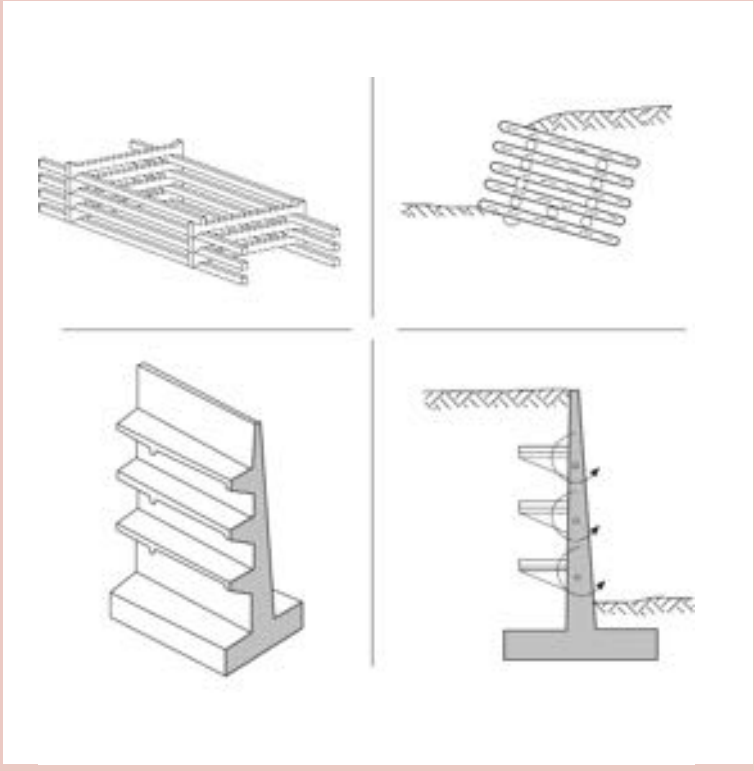
La presencia de agua en el trasdós del muro puede provocar humedades en el interior, con la consiguiente reducción de la calidad de los materiales y la durabilidad del sistema de contención. La opción de recoger el agua desde el intradós no es una buena solución.

Este empuje de la humedad se hace extremo y evidente en las construciones destinadas al embalse de agua u otros líquidos –piscinas, depósitos–, sobre todo cuando no están enterrados y, por tanto, el empuje del contenido debe ser absorbido por la estructura que conforma el recipiente.

Muchas veces sucede, que a pesar de no haber detectado el nivel freático a la altura de nuestro sistema de contención, el mismo asciende hasta una cota más elevada que la prevista en los cálculos.



Partes componentes de un muro pantalla.



Muros criba.

Esto se debe a varias razones, como pueden ser las modificaciones urbanísticas del entorno por excavaciones, contrucción de nuevos subsuelos, pozos de desagüe o fuertes lluvias. La ruptura accidental de conducciones de agua es otra circunstancia que puede incrementar el nivel freático y generar presiones no previstas sobre el sistema de contención.

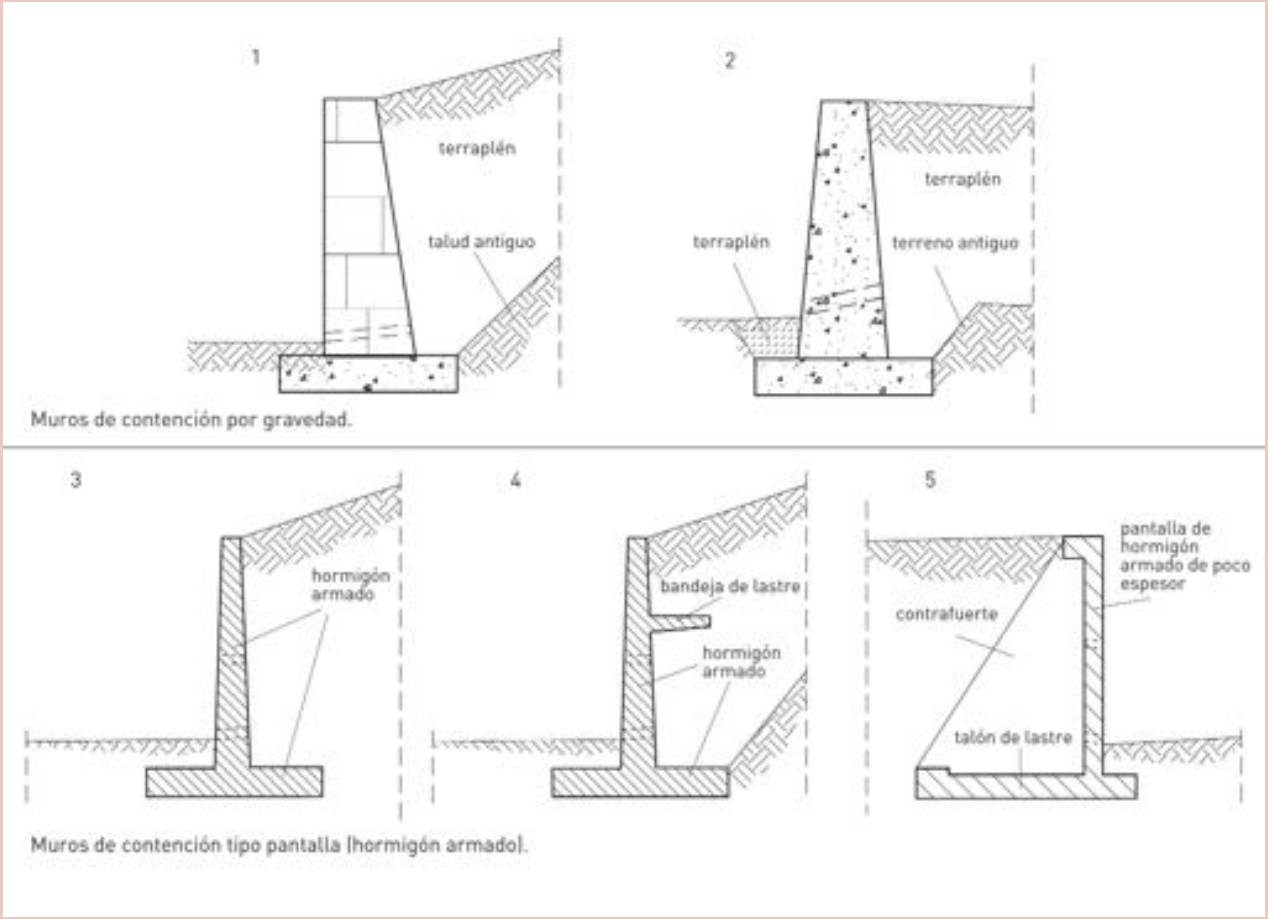
Otro problema con respecto al nivel freático es cuando la excavación de las obras llega a más profundidad que éste. Si el suelo es arenoso, hay que tener en cuenta la aparición de agua al pie de la pantalla debido a un sifonamiento de la napa de agua.

Las consecuencias de esto son un descenso de la capa freática y la aparición de subsidiencias en el perímetro de la base del sistema de contención.

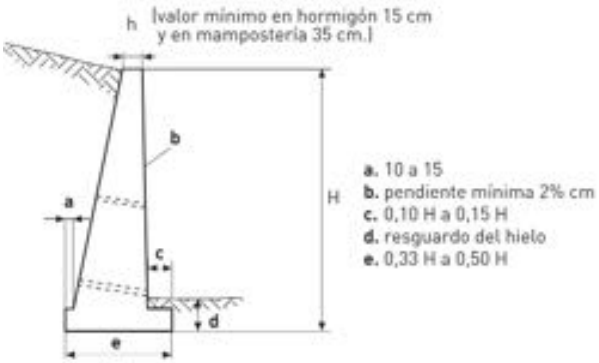
Para evitar este inconveniente, se debe tener en cuenta los flujos y las líneas de corriente de agua en el momento de calcular el empotramiento del muro pantalla.

Con respecto al ***DESLIZAMIENTO*** de los sistemas de contención, se puede decir que coincide con un movimiento de un estrato de terreno respecto de otro más profundo.

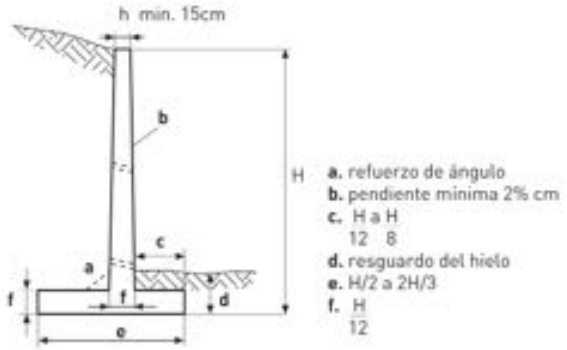
Algunos tipos de rocas, como las pizarras, favorecen estos movimientos, pero también sucede que, por la presencia de agua, un estrato de suelo coherente se desliza por arriba de otro estrato rocoso en pendiente, debido a la reducción de la fricción entre ambos. Este deslizamiento del pie del muro de contención es causa de grietas e incluso de colapsos.



Sistemas de contención.

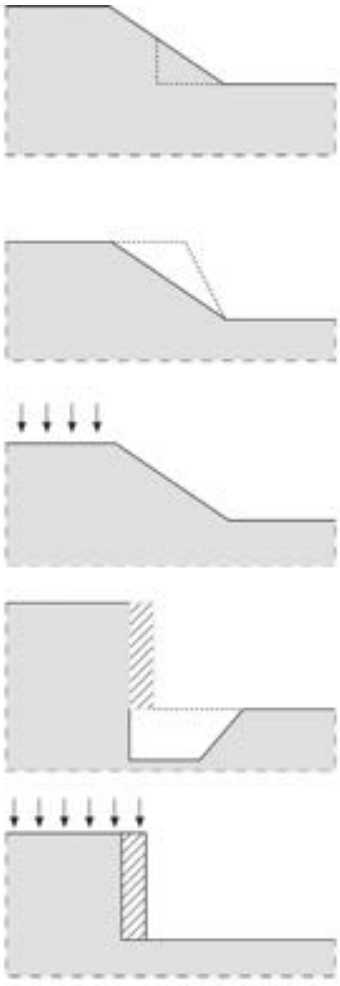


Dimensiones usuales de muros de contención en hormigón simple o mampostería.



Dimensiones habituales de muros pantalla.

Relaciones de las medidas de los sistemas de contención.



Operaciones a evitar cerca de taludes o muros de contención existentes.



Típica falla en la unión de esquina de muros de contención que han cedido al empuje de las tierras.



Este muro de obra de fábrica no ha podido soportar los empujes y asientos de las tierras que contiene. La grieta de todo el ancho del muro revela la seriedad de la lesión.

En el caso del fallo del pie de un muro pantalla, éste se debe muchas veces a un empotramiento insuficiente. De esta manera, el pie de la pantalla no encuentra los empujes pasivos del terreno necesarios para equilibrar los empujes activos del terreno.

El resultado es un desplazamiento de la parte inferior de la pantalla hacia el costado de la excavación.

Otro hecho que puede hacer fallar el pie de un muro pantalla, es que el suelo donde está situado tiene una resistencia menor que la prevista en los cálculos.

Así, los empujes pasivos reales son inferiores a los previstos y se produce una deformación o giro de la parte inferior del sitema de contención.

En el caso de pantallas de cierta envergadura, el volumen de hormigón empleado, comporta la posible aparición de ***DEFORMACIONES HIDRÁULICAS O TÉRMICAS*** propias de este material. Esto produce retracciones o dilataciones no controladas que conducen a la formación de grietas y fisuras y al debilitamiento del conjunto de contención.

Las juntas en muros pantalla, en este sentido, son obligatorias. La distancia recomendable entre juntas verticales para muros exteriores es de 5 a 6 metros.

Asimismo, el movimiento de estas juntas ayudan a señalar anomalías del comportamiento del sistema de contención ya que son el punto más débil y donde primero se aprecia la presencia de humedades en el interior de los edificios.

La falta de juntas de hormigonado y la construcción de muros por tongadas horizontales son las causas más generalizadas de lesiones en muros por errores de construcción.

En el caso de los muros pantalla, y sobre todo en los de mayor envergadura, es común, como ya se ha visto, la instalación de anclajes colaborantes.

Si estos anclajes no se ejecutan correctamente pueden acarrear varios inconvenientes.

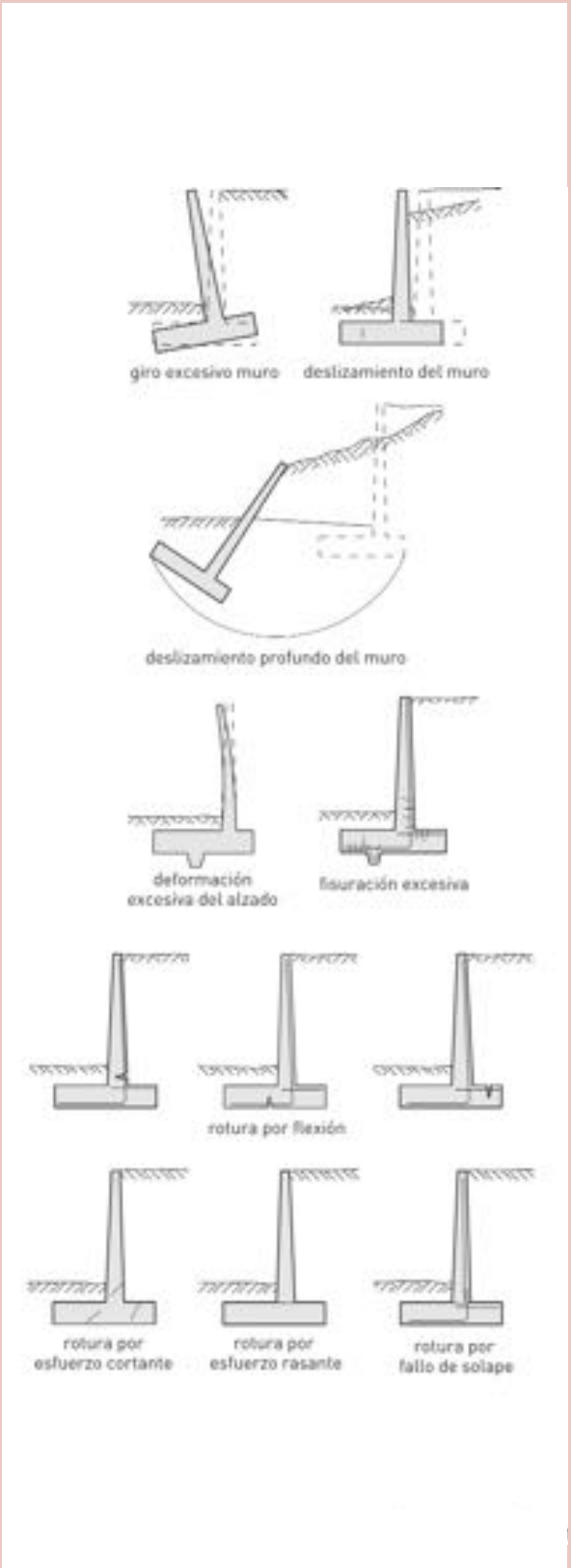
Por ejemplo, si la longitud de los anclajes es la incorrecta por una estimación errónea del círculo de rotura del terreno, el mismo cederá y también el muro.

Si el bulbo de anclaje no fue bien calculado o ejecutado, sucederá lo mismo.

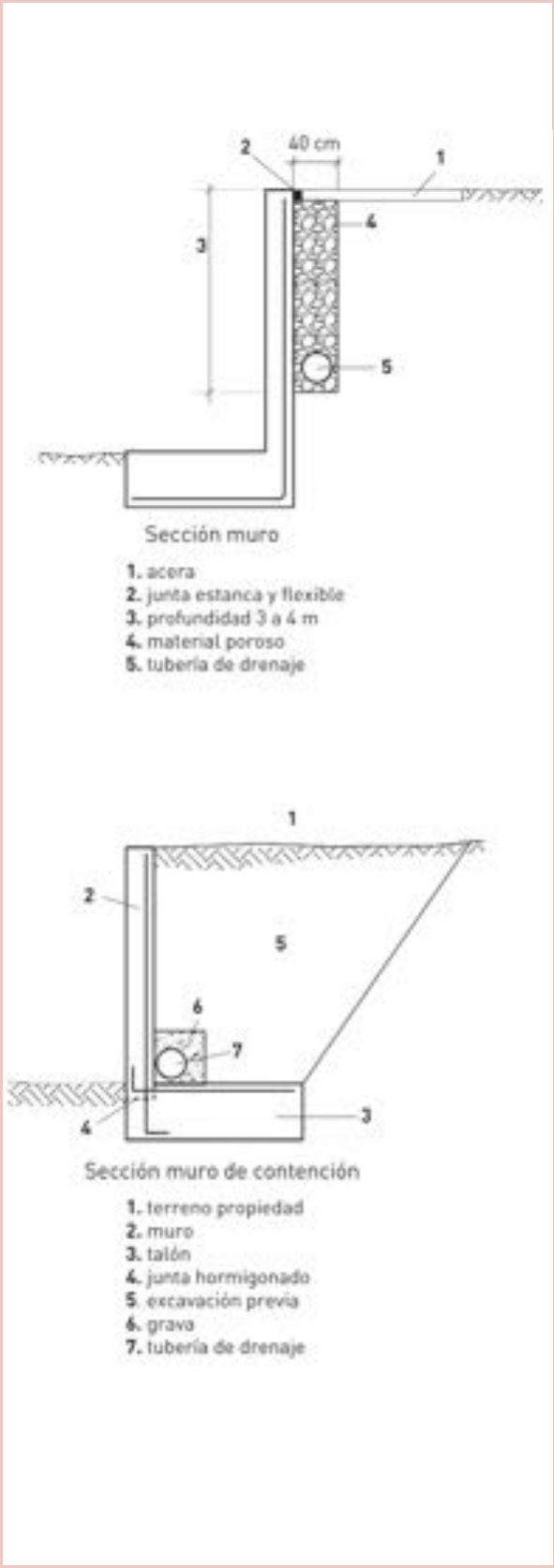
También es fundamental la utilizacion de cables limpios y lechadas ricas en cemento con una relación agua/cemento no superior a 0,4 para que no haya un colapso por fallo de adherencia entre los cables y la lechada del bulbo.

Otro inconveniente con los muros pantalla con anclajes es errar en el tensado de los cables. En este sentido los gatos multifilares son más fiables que los gatos unifilares.

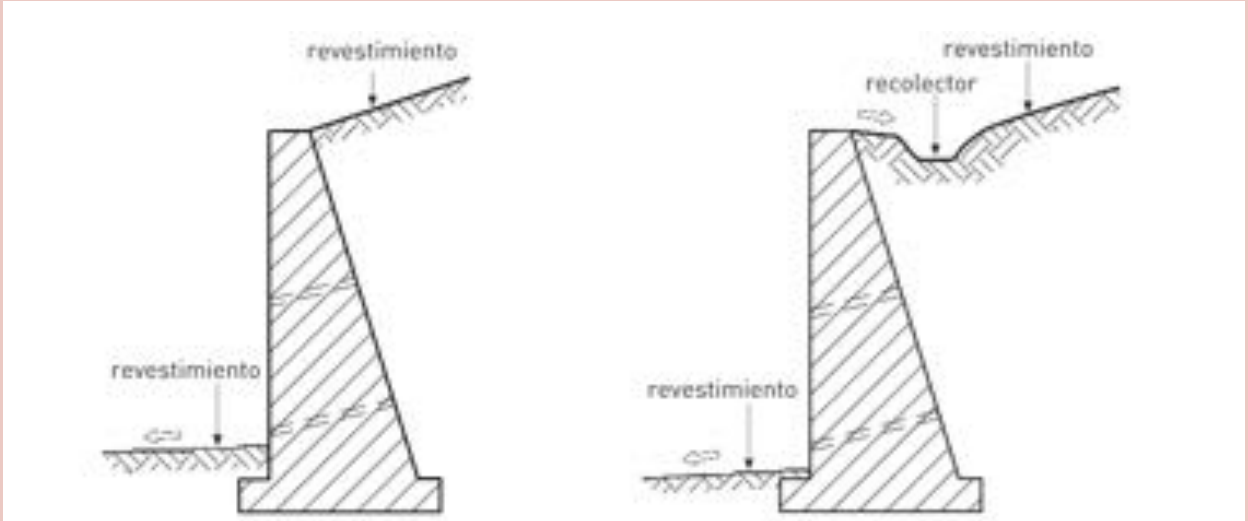
Asimismo, en anclajes de tipo permanente se pueden dar fallos en los elementos de protección como ser las vainas de plástico, las pinturas o las grasas protectoras.



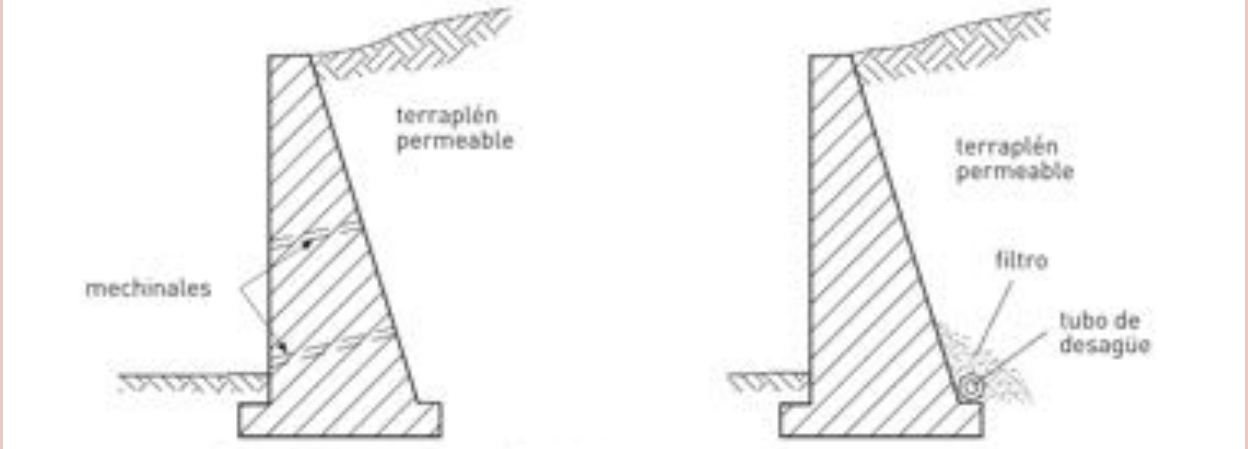
Formas de agotamiento de un muro de contención de hormigón armado.



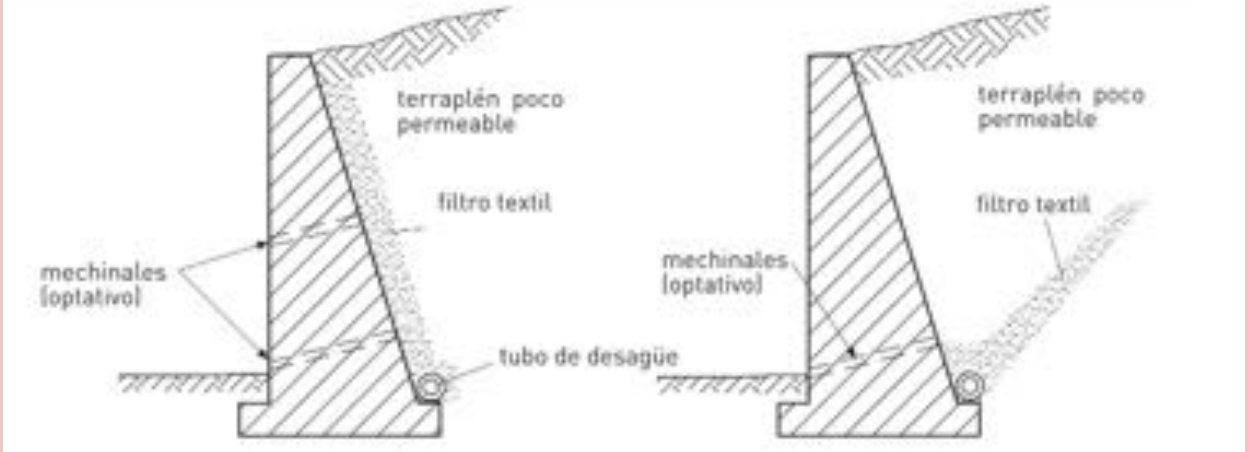
Drenaje de un muro de contención.



Dispositivos destinados a alejar las aguas del muro de contención.

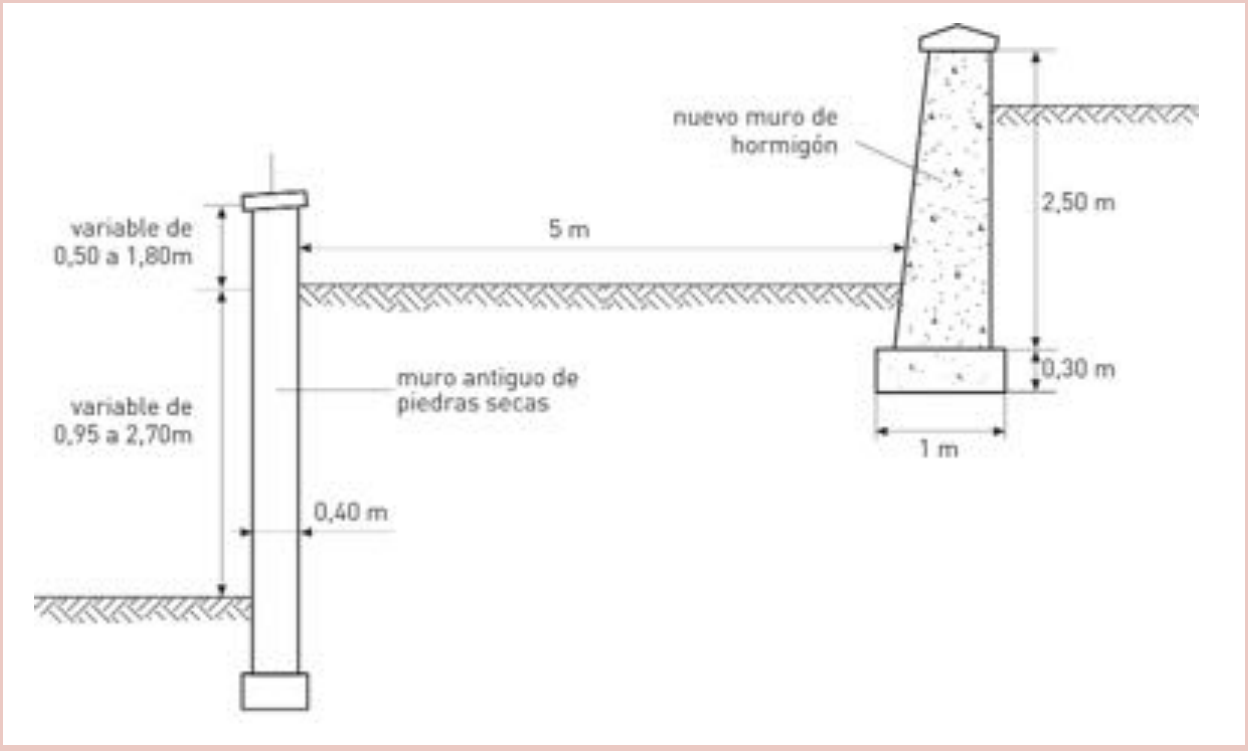


Dispositivos de evacuación de las aguas en terrenos permeables.

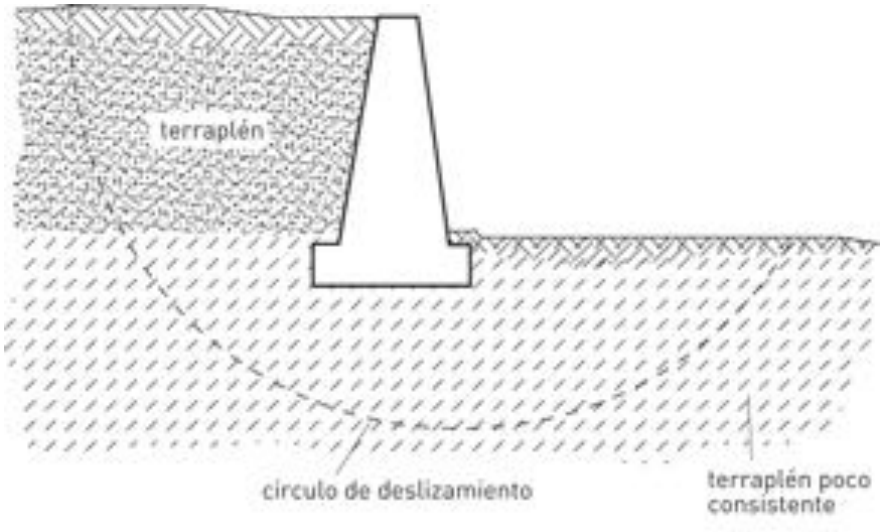


Dispositivos de evacuación de las aguas en terrenos poco permeables.

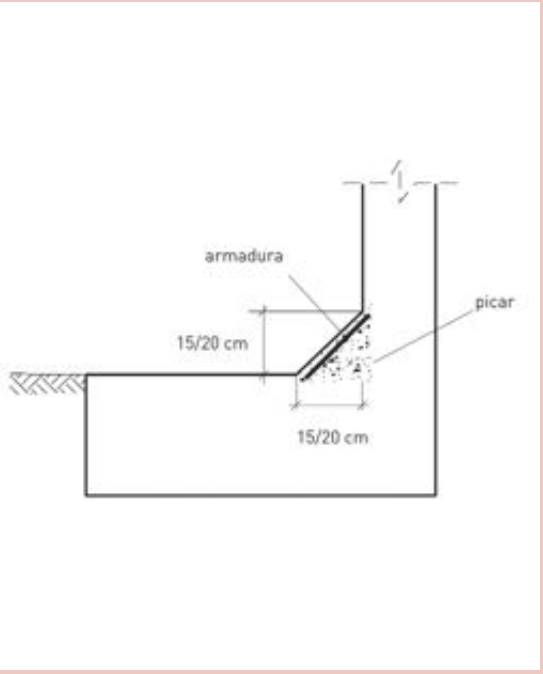
Evacuación del agua del terreno contenido.



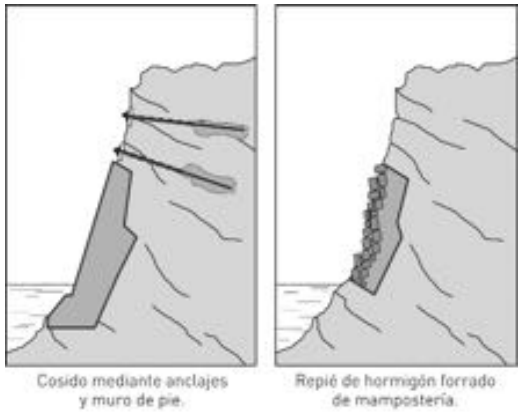
Propuesta de solución para un muro de contención de escasa capacidad portante. Un nuevo muro de contención se construye tierras arriba para contener los deslizamientos profundos.



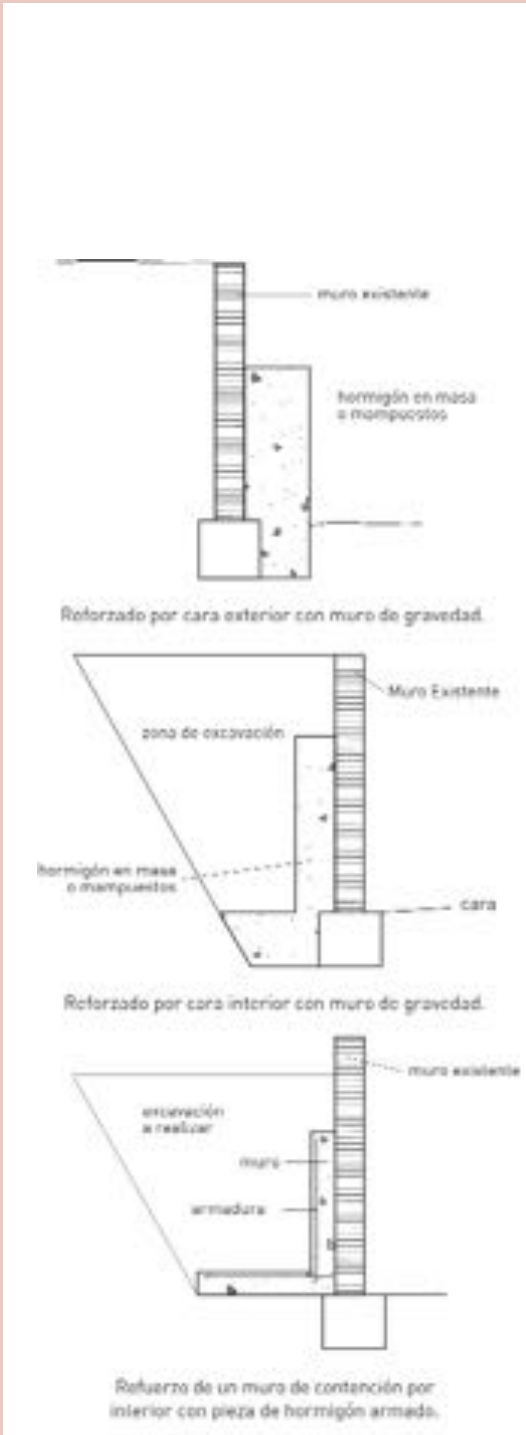
Deslizamiento generalizado por ruptura profunda.



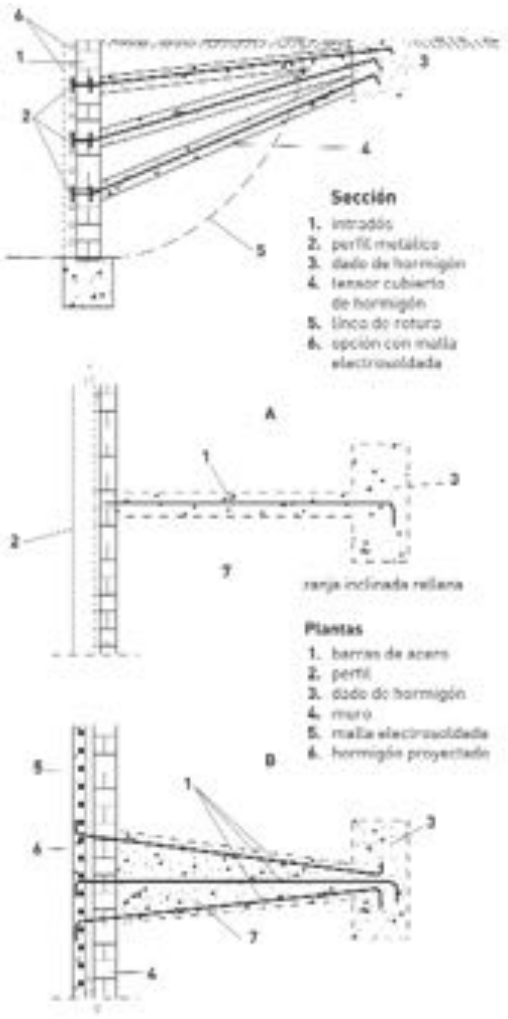
Refuerzo en el ángulo interno de un muro pantalla. Se pica la esquina, se coloca una armadura a 45º y se hormigona con árido de pequeño tamaño.



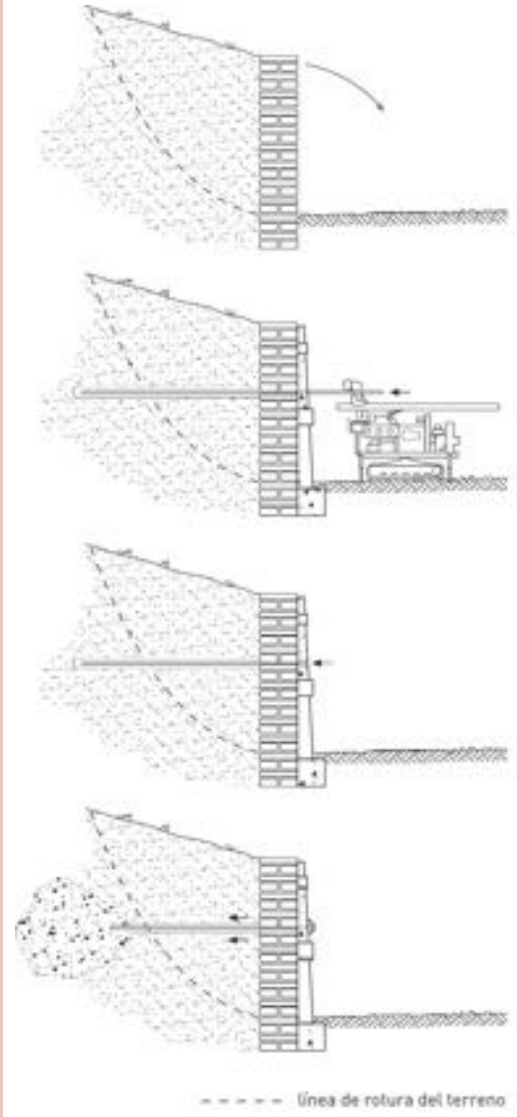
Estabilización de taludes rocosos.



Intervenciones de refuerzo en muros de contención.



Muro de contención reforzado con tirantes metálicos y perfiles o malla metálica y hormigón proyectado..



Elaboración de anclajes para un muro de contención.

DEFORMACIONES: de los muros pantalla y los muros de contención por recibir empujes más grandes de los previstos en el proyecto son problemas muy habituales. En este caso no se llega a producir el vuelco, desplome o lesiones importantes del sistema de contención. Pero lo que sí sucede es la aparición de unas deformaciones visibles que son incompatibles a nivel estético y funcional con otros elementos constructivos.

Las deformaciones son quizás las lesiones que primero nos avisan sobre la actividad del terreno o fluido contenido y de ciertas fallas en nuestro sistema de contención. Como repaso rápido se enumeran algunas causas de estas deformaciones:

- **DETERMINACION ERRÓNEA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.**

- **SE HA DE CALCULAR LA PANTALLA EN REPOSO**, si el desplazamiento de la pantalla es incompatible con la estabilidad de la estructura vecina.

MATERIAL COMPONENTE DEL MURO		DISTANCIA (m)
Piedra con mortero bastardo		40
Piedra con mortero cemento		30
Ladrillo con mortero bastardo		30
Ladrillo con mortero cemento		15
Hormigón en masa	Continental	5
	Marítimo	10
Hormigón armado	Continental	15
	Marítimo	25

DISTANCIAS RECOMENDADAS ENTRE JUNTAS VERTICALES DE DILATACIÓN EN MUROS DE CONTENCIÓN
(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).

- **PLANTEO ERRÓNEO DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO.** Tendrá que haber una correspondencia entre las deformaciones y los diagramas de empujes activos y pasivos.

- **UN ESPESOR INSUFICIENTE HARÁ QUE LA PANTALLA SEA DEMASIADO DEFORMABLE.**

- **CUANDO HAYA QUE COLOCAR PUNTALES O ANCLAJES, SE HA DE TENER EN CUENTA QUE LA EXCAVACIÓN PARA SU EJECUCIÓN ES MÁS GRANDE QUE LA COTA DE FUNDACIÓN**. Si se producen errores en la profundidad de la excavación, las deformaciones aparecerán inevitablemente.

- **EN CADA FASE DE VACIADO DEL SOLAR NO SE HAN DE SUPERAR LAS PROFUNDIDADES DE EXCAVACIÓN PREVISTAS EN LOS CÁLCULOS.**

Al igual que como se ha visto con los cimientos, los sistemas de contención se encuentran en contacto con un medio agresivo que es el terreno y, por tanto, expuestos al ataque de sales disueltas en el mismo o en el agua que lo constituye.

El envejecimiento o degradación prematura de los sistemas de contención son inconvenientes comunes en zonas industriales o urbanas con ciertos grados de polución. Para prevenir este ataque directo sobre los materiales de construcción, y antes de proceder a su reparación, se hace necesario un informe geotécnico en donde se detalle la composición química del suelo y agua en donde estarán insertos los nuevos elementos constructivos.

Futuros apartados de esta publicación dan información detallada sobre los distintos agentes de degradación de los materiales.

PISCINAS

Las piscinas, como los depósitos de líquidos o material a granel, comparten muchos de los fallos que afectan a los sistemas de contención antes vistos. La sintomatología de las lesiones es casi la misma que para cualquier sistema de contención –siempre que se trate del mismo material, claro está– y por lo tanto su identificación y diagnosis se realiza de manera similar.

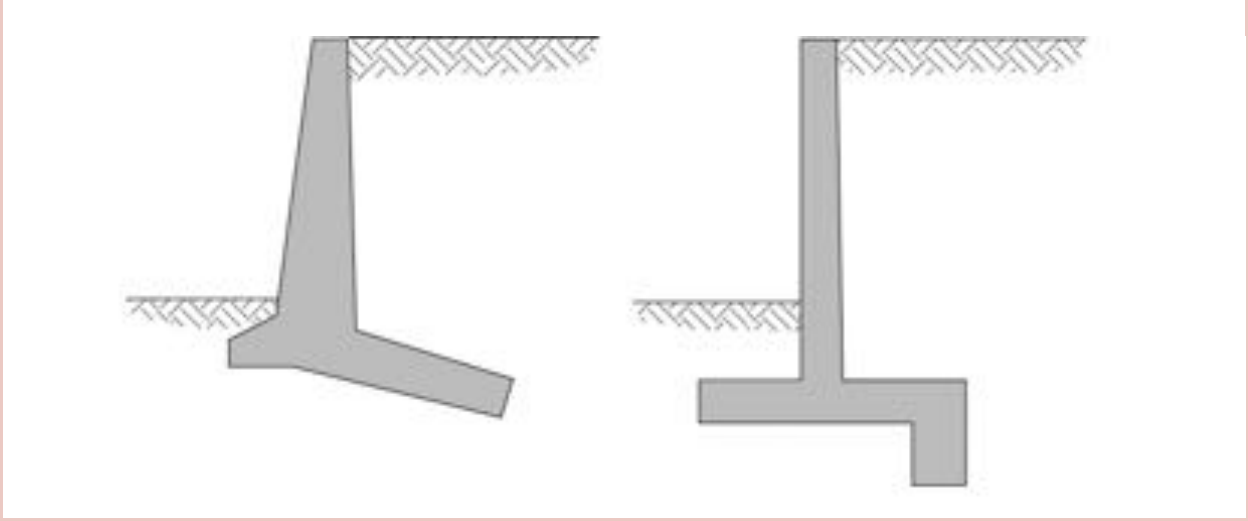
En este apartado se dedica más espacio a las piscinas por ser una intervención constructiva que muchas veces se realiza de forma artesanal y donde se descuidan muchos aspectos de cálculo y construcción. Se entiende que los depósitos y otros recipientes específicos reciben un tratamiento especial y por lo tanto estan más a resguardo de los fallos, aunque un repaso por los siguientes defectos de las piscinas nos advierten sobre sus posibles defectos también.

A continuación se ofrecen algunas consideraciones sobre los fallos más comunes de las piscinas, sus causas más habituales y una serie de recomendaciones preventivas.

Las piscinas pueden estar construidas de distintos materiales. Se encuentran piscinas hormigonadas in situ, realizadas con mampostería, prefabricadas de fibrocemento o de plástico y fibra de vidrio. Se supone que las picinas elevadas, como no tienen contacto con el terreno, no están sujetas a las contingencias a las que sí están las que se embuten en el terreno lo que limita sus posibles fallos. A pesar del material del que estén hechas, todas las piscinas reaccionan de mejor o peor modo frente a las distintas situaciones.

SUBPRESIÓN

SUBPRESIÓN o elevación de una piscina sucede cuando esta se encuentra vacía y flota al quedar el terreno saturado de agua. Las piscinas situadas en terrenos expansivos –que se saturan– tienen el inconveniente de soportar mayores empujes y si se han ejecutado en época de sequía, cuando se humedece el terreno, éste se hincha y las eleva. En este tipo de terrenos se debe evitar la ejecución de piscinas de muros de fábrica o realizadas con muros delgados mediante hormigón proyectado. Esta elevación de la piscina es más usual en las contruidas de poliéster ya que tienen un peso despreciable y tienden a flotar rápidamente.



Dispositivos destinados a mejorar la resistencia al deslizamiento de un muro de contención.

Asimismo, en los terrenos expansivos existen capas impermeables, y cuando el agua de lluvia penetra por las grietas del mismo, se originan unas bolsas que se denominan «aguas colgadas». Si la piscina se encuentra vacía y situada en esa zona se produce una subpresión y flota sobre el nivel del terreno, elevándose primero la zona de mayor profundidad.

Si la piscina se encuentra llena puede ser que no se eleve, ya que el peso propio compensaría este empuje, de todos modos, es mejor no contar con esta posibilidad y recurrir a una solución más confiable.

Si existe la posibilidad de que aparezca una subpresión se puede contrarrestar construyendo un vuelo («alas») en la losa del fondo de la piscina. La idea es que sobre este vuelo gravite un peso de tierras igual o mayor a la del agua desalojada de la piscina.

De esta manera, al intentar flotar la piscina, el vuelo creado se lo impide. En estas «alas», no obstante, se producen unos momentos flectores que deberán calcularse y llevar armadura de flexión que se colocará en la cara superior de la losa.

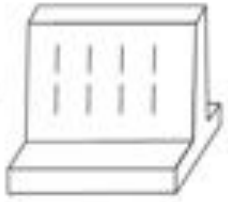
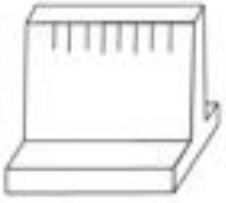
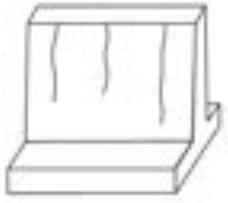
Para evitar la subpresión se citan las causas que suelen ocasionarla:

- **ASCENSO DEL NIVEL FREÁTICO.**
- **CERCANÍA A ZONA DE INFLUENCIA DE MAREAS.**
- **FORMACIÓN DE BOLSAS DE «AGUAS COLGADAS».**
- **INUNDACIÓN DEL TERRENO POR ROTURA DE LAS REDES DE AGUA O SANEAMIENTO**, o por fuga de la propia piscina o de sus instalaciones.
- **ACUMULACIÓN DE AGUA EN EL TRADÓS DE UN MURO DE CONTENCIÓN SITUADO EN UNA LADERA**. Cuando no se toman las medidas para que evacúe el agua mediante drenaje o mechinales, actúa como si fuese una presa.





Un caso particular de asiento de una piscina.Nótese la divergencia entre el borde de la piscina y el filo del agua.

Síntoma		Posibles causas
nidos de grava		1. Segregación de vertido. 2. Excesiva cantidad de árido grueso. Fugas de lechada o mortero. Falta de vibración. Revisar dosificación, compactación y encofrados.
manchas de óxido		1. Empleo de latiguillos para sujeción de encofrados. 2. No emplear separadores para mantener los recubrimientos de la armadura.
fisuración generalizada		1. Excesiva retracción plástica. 2. Ausencia o insuficiencia de armadura de retracción y temperatura. Bajar la relación A/C. Reducir finos en la arena. Investigar el cemento y los aditivos. Mejorar el curado inicial. Atención al hormigonado con temperaturas excesivas y/o viento.
fisuración vertical generalizada en la coronación		1. Relación A/C muy alta con emigración de agua hacia la coronación al vibrar las sucesivas tongadas. 2. Ausencia de armadura complementaria en coronación. 3. Curado defectuoso. Bajar la relación A/C.
fisuración vertical generalizada		1. No disposición de juntas de contracción, o disposición a distancias excesivas. 2. No disposición de armadura de retracción y temperatura. 3. Cuadro defectuoso.

Cuadro de lesiones habituales en muros de contención de hormigón armado.

MEDIDAS DE DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN

PISCINAS SOBRE EL TERRENO

Si se trata de piscinas construidas en un terreno con pendiente, se recomienda realizar una solera de hormigón en masa sobre una plataforma horizontal. La superficie de esta solera debe quedar muy rugosa para facilitar la adherencia con la losa que sobre ella se ejecutará.

No es aconsejable la ejecución de piscinas en laderas donde se ha realizado movimientos de tierra, pues lo más probable es que se produzca un asiento de consolidación del relleno bajo la losa. Un reblandecimiento del mismo por agua de escorrentía puede incluso ocasionar un basculamiento de la piscina.

PISCINAS ELEVADAS

En el caso de piscinas elevadas o que no se encuentran apoyadas directamente sobre el terreno, los problemas del mismo no influyen de forma considerable sobre la piscina. Sin embargo, deberán tenerse en cuenta otros aspectos constructivos:

- **RECRECER LOS PILARES QUE VAN A SOSTENER A LA PISCINA** si no tienen la resistencia suficiente para soportarla.

- **AUMENTAR LAS DIMENSIONES DE LAS ZAPATAS DE LOS PILARES QUE VAN A SOPORTAR A LA PISCINA**. En caso contrario, lo más probable es que al aplicarle la nueva carga se produzcan asientos.

- **DEJAR UN ESPACIO ENTRE LA LOSA DE LA PISCINA Y EL FORJADO EXISTENTE** en el caso de apoyarla sobre la cubierta.

- **LA LOSA DE LA PISCINA SE DEBE CALCULAR A FLEXIÓN Y A CORTANTE CON SU PESO PROPIO Y EL DEL LÍQUIDO A CONTENER.**

- **SE DEBEN CALCULAR LOS MUROS QUE CONTIENEN EL AGUA COMO VIGA PARED**, cuidando la correcta disposición de las armaduras, para conseguir una mayor economía y un mejor funcionamiento estructural.

- **CUANDO SE LLENE LA PISCINA POR PRIMERA ES CONVENIENTE QUE SE REALICE MUY LENTAMENTE**, completando su llenado a lo largo de una semana. Esto se debe a que si existiese un error de cálculo, de ejecución o fugas de agua se pueda interrumpir el llenado y repararla.

- **SI SE SIGUE EL PROCEDIMIENTO ANTERIOR DE LLENADO**, se logra, en caso de no haber ampliado las dimensiones de las zapatas, que el asiento de consolidación sea menor. O bien, si un pilar no resiste la nueva carga, se manifiesta más lentamente con una mayor capacidad de aviso y de evitar un fallo mayor.

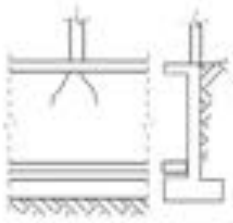
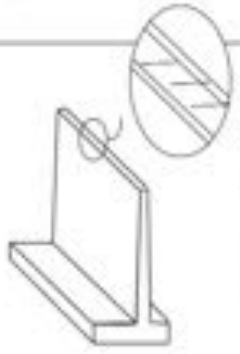
- **SI SE TRATA DE UNA ZONA SÍSMICA, SE DEBEN CALCULAR DE NUEVO TODOS LOS PILARES DE LA EDIFICACIÓN**, teniendo en cuenta el momento que la nueva carga provoca al desplazarse.



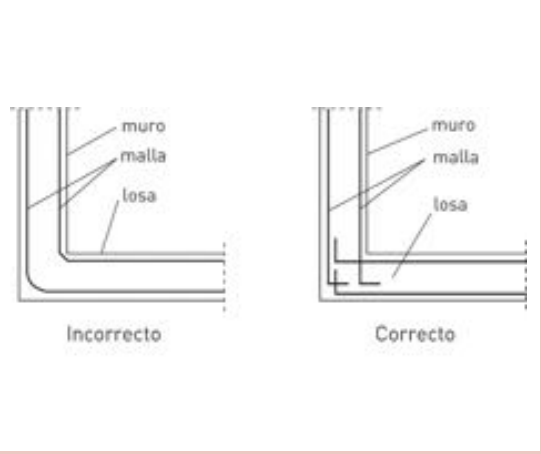
Efecto de la existencia de aguas colgadas en terrenos arcillosos.



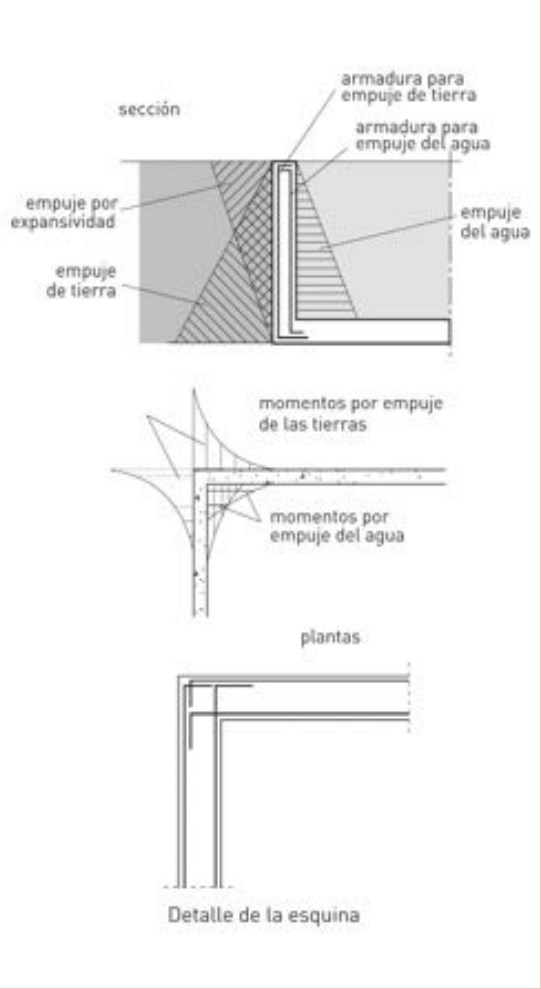
Solución para compensar la subpresión en piscinas enterradas.

Síntoma		Posibles causas
fisuración localizada		Escasa armadura horizontal bajo el pilar, en especial en casos en que la resistencia del hormigón del muro es inferior a la del pilar. Revisar cálculo como carga concentrada.
fisuras en el arranque		Contracción térmica del alzado coartada por el cimiento ya enfriado (caso en que el cimiento es de poca rigidez respecto al alzado). 1. Bajar el contenido de cemento. 2. Desencofrar tan pronto sea posible. 3. Iniciar pronto el curado.
fisuras horizontales cerca del pie		Contracción térmica del alzado coartada por el cimiento ya enfriado (caso en que el cimiento es de mediana rigidez frente al alzado). 1. Bajar el contenido de cemento. 2. Desencofrar tan pronto sea posible. 3. Iniciar pronto el curado.
fisuras verticales cerca del pie		Contracción térmica del alzado coartada por el cimiento ya enfriado (caso en que el cimiento es muy rígido frente al alzado). 1. Bajar el contenido de cemento. 2. Desencofrar tan pronto sea posible. 3. Iniciar pronto el curado.
fisuras en el lomo de la coronación		Asiento plástico delhormigón en la tongada de coronación, que reproduce con fisuras la posición de las armaduras. 1. Reducir la relación A/C. 2. Reducir la alturade la tongada de coronación y vibrarla enérgicamente.

Cuadro de lesiones habituales en muros de contención de hormigón armado.



Solución de la armadura de la esquina.



Ubicación de la armadura horizontal por empuje de las tierras y del agua en un muro de piscina.

UBICACIÓN DE LAS ARMADURAS EN PISCINAS DE HORMIGÓN ARMADO

Los muros de contención de las piscinas requieren una armadura vertical en la cara en contacto con el terreno para poder soportar los empujes que éste le ocasiona. También precisan otra armadura en la cara interior para soportar las flexiones debido al empuje del agua.

Aunque se quiera economizar armadura, no es conveniente durante el cálculo contar con el empuje pasivo o «contraempuje» del terreno para compensar el empuje del agua contenida.

No se debe olvidar que el terreno circundante acaba de ser excavado y no se encuentra todavía del todo consolidado y no produce muchas veces ese «contraempuje» esperado.

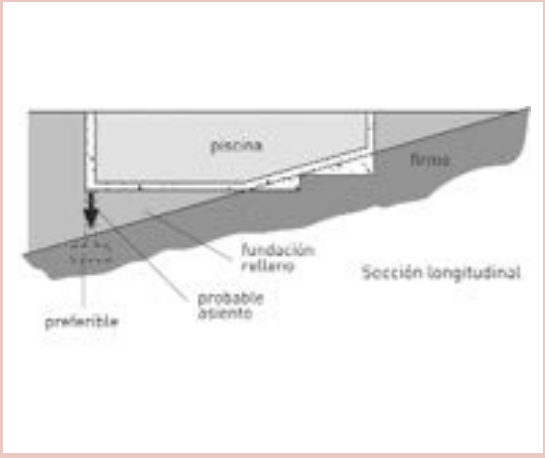
Cuando la altura de los muros de la piscina es superior a la mitad del lado correspondiente, la estructura de hormigón comienza a trabajar en marcos y precisa armadura en horizontal. También aparece tracción horizontal cuando existe empuje por expansividad del terreno, que es mayor en la parte superior del muro.

Asimismo, cuando se emplean mallas electrosoldadas en las losas de las piscinas, no se deben colocar redondeadas al llegar a la esquina del encuentro entre muros, es más correcto como se indica en la figura.

Los muros de contención de las piscinas, cuando poseen escasa armadura horizontal, rompen fácilmente por retracción hidráulica durante su fraguado y luego por retracción térmica.

Esta fisura vertical corta el muro en todo su espesor y a medida que deciende, la grieta se va cerrando ya que se encuentra con la mayor humedad del terreno.

La colocación de una armadura horizontal (2 o 3 ø 16 mm) en la cabeza o coronación del muro, evita el inicio de las fisuras de retracción y juega un papel muy importante en caso de producirse el asiento de un lateral o una esquina de la piscina.



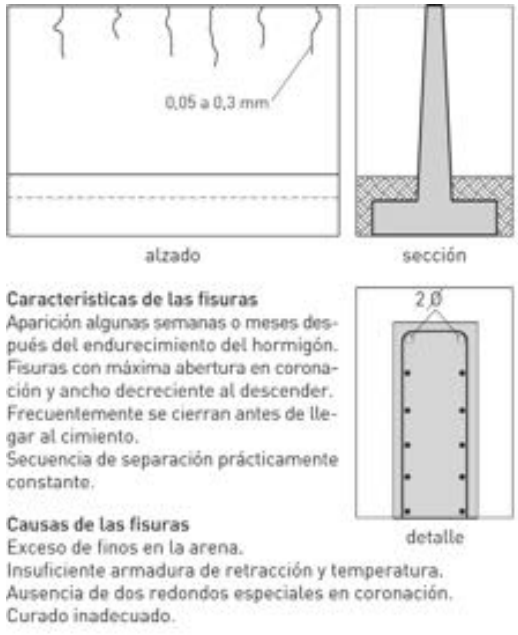
Piscinas apoyadas parcialmente sobre relleno.

JUNTAS

JUNTAS DE DILATACIÓN Y HORMIGONADO: son cuestiones ineludibles en la construcción de elementos de hormigón armado. Las piscinas no son una excepción a esto.

Cuando la piscina está llena, no se producen dilataciones por cambio de temperatura ni en los muros y ni en la losa. Pero cuando se vacía para su limpieza, existe la posibilidad de variaciones térmicas y por lo tanto de cambios dimensionales. También se producen retracciones hidráulicas durante su ejecución.

Estas dos vicisitudes hacen prever la existencia de juntas de dilatación, aunque lo mejor es evitarlas siempre que sea posible ya que son los puntos más débiles de la unidad constructiva.



Esquema de fisuración de un muro de contención de hormigón armado en su coronación debido a la retracción hidráulica del material.

Las juntas verticales de hormigonado suelen realizarse cada 10 y 15 m, dependiendo de la rigidez y armadura del muro, así como de la época en la que se ejecute la piscina. En época muy calurosa, se originan fuertes contracciones durante el fraguado del hormigón y conviene situar las juntas de hormigonados más próximas.

Se debe evitar situar una junta de hormigonado donde haya cambios bruscos de sección en los muros de la piscina. Esto puede ocasionar una fisura por retracción plástica e hidráulica, en especial durante la época calurosa. Lo más aconsejable es ejecutar estos cambios de sección de la forma más gradual posible.

Los recodos en los muros para introducir escalerillas, pasamanos o demás instalaciones son problemáticos ya que están más expuestos a fisuraciones de origen térmico. Si es necesario colocarlos, se debe cuidar que la armadura queda bien anclada y, una vez más, evitar en esa zona las juntas de hormigonado.

TIPO DE CLIMA	ÉPOCA DEL AÑO	
	Calurosa T_{media} > 18 ºC	Fría T_{media} < 18 ºC
Seco HR < 60 %	16	20
Húmedo HR > 60 %	20	24

DISTANCIA MÁXIMA ENTRE JUNTAS DE CONTRACCIÓN EN EL CIMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN (metros)

(Fuente: Muros de contención y muros de sótano).

ENCOFRADO

Lo mejor es colocar un encofrado perdido junto al terreno que irá sujeto mediante tensores al encofrado interno.

Cuando no se utiliza el encofrado perdido surgen los siguientes inconvenientes:

- **EL HORMIGÓN QUEDA MEZCLADO CON LAS TIERRAS.**
- **LA ARMADURA QUEDA CON UN RECUBRIMIENTO IRREGULAR Y EN CONTACTO CON LAS TIERRAS, CON MAYOR POSIBILIDAD DE CORROSIÓN.**
- **LA ARMADURA NO QUEDA BIEN AFIANZADA Y SE PUEDE DESPLAZAR DURANTE EL HORMIGONADO Y EL VIBRADO.**
- **EL TERRENO ABSORBE EL AGUA DEL HORMIGÓN.**

ALTURA DEL MURO	DISTANCIA RECOMENDADA
H < 2,40 m	3H
2,40 m < H < 3,60 m	2H
H > 3,60 m	H

(cualquiera que sea este valor es recomendable no separar las juntas más de 7,50 m)

DISTANCIA MÁXIMA ENTRE JUNTAS VERTICALES DE CONTRACCIÓN EN EL ALZADO DE MUROS DE CONTENCIÓN DE HºAº

(Fuente: Muros de contención y muros de sótano).

RECALCE DE PISCINAS

Muchas veces una piscina se encuentra construida sobre un terreno que sufre deformaciones o movimientos. Esto provoca fallos que deben repararse e incluso se debe estudiar la necesidad de recalzar la piscina.

En estos casos una solución eficaz consiste en recalzarla mediante pilotes buscando un firme de apoyo más profundo ya que el terreno bajo la losa puede asentar o retraer aún más.

Al quedar la losa sin su apoyo uniforme, esta trabajaría a flexión, por lo cual es muy importante comprobar su cálculo a flexión y cortante.

Si la losa no se encuentra en condiciones de soportar estos nuevos esfuerzos, hay que optar por aumentar su canto o bien agujerear la misma y colocar pilotes intermedios para que se apoye en éstos.

CONSIDERACIONES PREVENTIVAS

Como se anticipó en la introducción de este apartado, este punto trata sobre algunas de las prevenciones que se pueden y deben tomar a la hora de concebir este tipo de estructuras. Muchos de los conceptos que a continuación se exponen, son casi una apelación a las reglas del arte del buen construir. Es aquí, como se ha indicado reiteradas veces, donde más se puede hacer por los posibles fallos de los sistemas de contención.

JUNTAS

Como se ha esbozado antes, las juntas no son del todo aconsejables en los sistemas de contención. Sin embargo, por obvias razones prácticas de ejecución, no se puede prescindir de ellas y hay que saber ubicarlas en el sistema constructivo.

JUNTAS DE HORMIGONADO: entre el cimiento y el alzado de un muro de contención es una junta inevitable. Se encuentra en la peor posición posible, ya que está sometida al máximo momento flector, al máximo esfuerzo de corte y frecuentemente se dispone en ella un empalme por solapo.

GRUPO	DIÁMETRO DE LACABEZA (mm)	FRECUENCIA MÍNIMA RECOMENDADA (r.p.m.)	MOMENTO DE LA MASA EXCÉNTRICA	AMPLITUD MEDIA (mm)	FUERZA CENTRÍFUGA (kN)	RADIO DE ACCIÓN (mm)	TIPO DE MURO
2	30 a 60	8.500 a 12.500	9 a 29	0,5 a 1	1,4 a 4	130 a 250	Muros delgados con hormigón plástico
3	50 a 90	8.000 a 12.000	23 a 81	0,6 a 1,3	3,2 a 9	180 a 360	Muros de espesor medio, con hormigones secos o plásticos
5	130 a 180	5.500 a 8.500	260 a 400	1 a 2	11 a 25	400 a 610	Grandes muros

VIBRADORES APROPIADOS PARA MUROS DE CONTENCIÓN
(Fuente: Muros de contención y muros de sótano).

Ensayos han demostrado que la rugosidad natural es la mejor solución para la zona AB de estas juntas y en todo caso es preferible al tratamiento de cepillado.

Es importante la limpieza de la zona AB, también, con chorro de agua antes del hormigonado, esperar que la superficie se seque y vibrar con cuidado la primera tongada del alzado en la zona de contacto con el cimiento.

JUNTAS DE DILATACIÓN: de los muros de contención de hormigón son muy importantes. Deben situarse teniendo en cuenta varios parámetros. Entre ellos:

- **EN ZONAS DE TEMPERATURAS EXTREMAS A NO MÁS DE 20 M.**
- **EN ZONAS DE TEMPERATURAS MODERADAS A NO MÁS DE 30 M.**
- **DONDE LA ALTURA DEL MURO SE MODIFIQUE.**
- **DONDE LA PROFUNDIDAD DEL PLANO DE CIMENTACIÓN VARÍE.**

Asimismo, se recomienda realizar el hormigonado del alzado por tongadas de no mucho más de un metro de altura para no encarecer los encofrados y el apuntalamiento por el fuerte empuje que produce el hormigón fresco.

TIPO DE ACERO		B 400	B 500
Dirección	Horizontal	2	1,6
	Vertical	1,2	0,9

CUANTÍAS GEOMÉTRICAS MÍNIMAS REFERIDAS A LA SECCIÓN TOTAL DE HOMIGÓN (‰)
(Fuente: Muros de contención y muros de sótano).

Esto conlleva, en efecto, juntas horizontales de hormigonado que se denominan ***JUNTAS DE CONTRACCIÓN***, ya que no sólo responden a razones constructivas sino que también aminoran los esfuerzos de contracción del hormigón, sobre todo durante los primeros 5 días durante los cuales el muro todavía no se cubre con tierra y recibe fuertes cargas térmicas.

HORMIGONADO EN ALZADO

EXCAVACIÓN: es lo primero. Se realiza hasta un poco más arriba de la cota superior del hormigón de limpieza –unos 20 cm aproximadamente–. Estos últimos 20 cm se excavan justo antes de verter el hormigón de limpieza, lo cual impide que el terreno de cimentación se empape con las posibles lluvias o que pierda excesiva humedad en épocas secas.

Seguidamente, se coloca la armadura del cimiento y las armaduras de espera, tanto las resistentes como las de retracción y temperatura. El mantenimiento en posición de estas armaduras puede realizarse bien mediante armaduras de rigidización, bien mediante puentes clavados al terreno.

En el hormigonado de muros de contención de escaso espesor debe cuidarse mucho la altura de la tongada y la forma de vertido.

Como es de esperar, estos muros están armados y por lo tanto, en el vertido, el hormigón se puede segregar ya que queda una fracción importante de mortero sobre las armaduras, sobre todo en las horizontales.

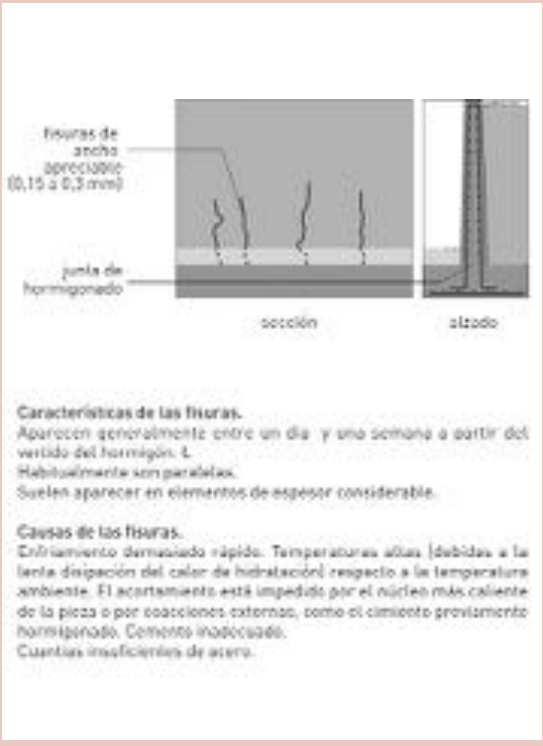
	PARTE DE LA OBRA	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
A	Sistema de evacuación de aguas e impermeabilización de la superficie del relleno	Inspección anual al final del verano
B	Sellado de juntas	Una inspección anual en invierno
C	Sistema de drenaje	Una inspección anual en las arquetas de evacuación al final del invierno
D	Obra en conjunto	Una inspección general del muro y de la superficie del relleno, coincidiendo con la inspección “C”
E	Reposición de juntas	Como orientación, los sellados bituminosos tienen una duración de unos 8 años y los de silicona de unos 16 años
F	Limpieza de manchas en el alzado	De acuerdo con los resultados de la inspección “D”. Como norma general una vez al año en primavera. En general basta un lavado con agua a presión y un cepillado. Las manchas de sales calcáreas pueden quitarse con una solución al 10 % de ácido muriático

MANTENIMIENTO DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN

(Fuente: Calavera. Muros de contención y muros de sótano).

	ROCAS	TERRENOS SIN COHESIÓN		TERRENOS COHERENTES	TERRENOS DEFICIENTES	
Composición	Formaciones geológicas	Gravas y gravillas ø > 2		Arcilla	Fangos inorgánicos, suelos orgánicos y terrenos de relleno	
		Arenas gruesas y medias, 2 > ø > 0,2 mm				
		Arenas finas, 0,2 > ø > 0,06 mm				
		Limos inorgánicos, ø < 0,06 mm				
Características	Notable resistencia a la compresión	Predomina la resistencia al corte		Predomina la resistencia a la cohesión	No aptos para la cimentación	
Clasificación	Isótropas, sin visible estratificación. Resistencia de 30 a 60 kg/cm^2	Graveras	Predominan gravas y gravillas R= 4 a 8 kg/cm^2	Arcillosos duros. Se rompen difícilmente con la mano R = 4 kg/cm^2	Fangos inorgánicos	Limos y arcillas con agua
			< 30 %			Formación cilindros, no resisten el peso propio
		Arenosos gruesos	Predominan arenas gruesas y medias R=2,5 a 5 kg/cm^2	Arcillosos semiduros. Se amasan difícilmente con la mano R = 2 a 4 kg/cm^2		
			< 30 % gravas y gravillas			
			< 50 % gravas y gravillas	Arcillosos blandos. Se amasan fácilmente con la mano R = 1 a 2 kg/cm^2	Terrenos orgánicos	Contienen materia orgánica
	Estratificadas, con visible estratificación R=10 a 20 kg/cm^2	Arenosos finos	Predominan arenas finas R=1,6 a 3,2 kg/cm^2			
			< 30 % gravas y gravillas	Arcillosos fluidos. Fluyen entre los dedos R < 1 kg/cm^2	Terrenos de relleno	De naturaleza artificial
			< 50 % arenas finas y limos			

CLASIFICACIÓN DE LOS TERRENOS. R = resistencia



Fisuración de muros de contención de hormigón armado por contracción térmica inicial.

COMPACTACIÓN: El método preferible es el vibrador interno o de aguja. El mismo debe tener una longitud adecuada a la altura del muro para poder llegar a todas las zonas.

El vibrador debe introducirse de manera vertical y hundirse hasta el fondo de la tongada, y al menos 15 cm en la tongada subyacente; se manteniene en esa posición de 10 a 20 segundos.

CURADO: del hormigón del muro es de suma importancia. En obras lineales como son los muros de contención, el suministro de agua requiere una planificación, como el aporte de materiales auxiliares para su protección. Los daños producidos por un curado deficiente son casi irrecuperables.





Fisuración de muros de contención de hormigón armado por contracción térmica inicial.

El curado debe iniciarse tan pronto como sea posible. Se debe retirar el encofrado apenas se compruebe que no hay riesgo de daños para el hormigón y mojar ambas caras del muro. Es un error muy común creer que el encofrado retrasa la necesidad de curado.

Cuando las temperaturas son bajas el curado también es necesario, ya que en esas condiciones la velocidad de hidratación del cemento se inhibe y si el aire es seco es posible una evaporación intensa cuando suba la temperatura.

Si se emplean telas de arpillera situadas sobre las caras, no debe olvidarse que si no están permanentemente húmedas, invierten su función, ayudando a evaporar el agua del hormigón.

ARMADURAS

De acuerdo con las normativas EHE, en todos los muros de hormigón, para controlar la fisuración producida por la retracción y la contracción térmica, deben disponerse armaduras en la cantidad indicada según las tablas.

Se recomienda colocar la mitad de esta armadura en cada cara del muro, ya que los esfuerzos predominantes son los de contracción térmica.

De igual forma, para evitar la formación de fisuras verticales en coronación, se recomienda colocar dos barras corridas a lo largo de la coronación. El diámetro de las mismas va en función de la altura del muro.

En todos los casos, las armaduras, tanto en el cimiento como en el alzado del muro de contención, deben ir provistas de los correspondientes ***SEPARADORES*** que garanticen el ***RECUBRIMIENTO***, como así también de elementos distanciadores que impidan que las armaduras se separen del encofrado más de lo debido.

El empleo de ataduras de alambre («latiguillos») anclados en el hormigón y que asoman a través del encofrado debe ser prohibido. En cuanto al recubrimiento, en muros encofrados, el mínimo es de 25 mm, y en muros hormigonados contra el terreno, no debe ser inferior a 70 mm.





La expansividad del terreno ha provocado el vuelco de estos dos elementos de poco peso. El primero es un pilar de mampostería que sostiene la reja de un portón y el segundo es otro pilar que alberga medidores eléctricos.

REPARACIÓN

La reparación de defectos en los muros de hormigón siempre es necesaria, más cuando de un muro a la vista se trata.

Existe una técnica denominada «de cajeo» que consiste en realizar un hueco sobre la lesión del muro. La forma de esta perforación es más bien cúbica y debe hacerse con escarpa, en especial si hay armadura en la zona, aunque a veces puede hacerse con sierra. De cualquier manera, los bordes se cortan con sierra para perfilar bien la unión con el material de reparación. En muchos casos el empleo de pulidoras para suprimir bordes o rebabas es imprescindible.

El hormigón del fondo del hueco se mantiene húmedo durante un día y en ese estado pero sin agua sobre la superficie, se rellena con un mortero de una parte de cemento y una de arena (en peso), con una relación agua/cemento que dé una consistencia cremosa.

El mortero debe extenderse y compactarse en capas de 1 cm, las cuales deben mantenerse húmedas durante un día en época fría y dos en época calurosa antes de aplicar la siguiente. Una vez realizada toda la reparación, ésta debe mantenerse húmeda durante 7 días en época de frío y 10 en época de calor.

No es en absoluto recomendable reforzar la dosificación de cemento, ya que conducirá a una excesiva retracción con posibilidad de fisuración.

En el caso de hormigón visto, es aconsejable realizar tanteos previos, mezclando el cemento utilizado con cemento portland blanco, para encontrar la proporción adecuada para igualar el color de la zona a reparar.

Lo antedicho se comprende si se tiene en cuenta que la zona reparada suele aparecer de un color más oscuro que el hormigón no reparado.

ESTUDIO DE SUELOS

Este apartado se creyó apropiado incluirlo en la publicación dada la trascendencia que tienen estos estudios. A lo largo de todo este punto sobre patología de las cimentaciones se insistió en la importancia de conocer en todo momento y en profundidad el terreno sobre el cual se va a fundar.

Por lo tanto, se considera que este apartado es el más apropiado para finalizar este recorrido por los fallos de las fundaciones y sistemas de contención.

A. CARGA ADMISIBLE DE TRABAJO

El primer dato que el calculista necesita conocer es la capacidad portante del suelo, también denominada «carga admisible de trabajo».

Con este dato, se asigna a la cimentación la superficie de apoyo suficiente para que la presión, o tensión de contacto no exceda dicha carga admisible.

De esta manera, nos encontramos con los ensayos in situ de carga directa –con penetrómetro, presiómetro, scisómetro, etc.– y con los ensayos empíricos, que se basan en la experiencia adquirida en terrenos similares.

Un mismo estudio geotécnico constará, por lo general, de dos métodos de reconocimiento distintos con la finalidad de contrastar y precisar los resultados ya que ningún procedimiento de investigacion es universal e infalible.

B. CLASIFICACIÓN DE LOS TERRENOS

Son muchos los materiales que componen los suelos, con lo cual, la primera tarea en este aspecto es poder clasificarlos. La clasificación de los suelos se basa en agruparlos de manera que las propiedades mecánicas de estos resulten similares. Una vez que el suelo haya sido descripto y ensayado en el laboratorio, se lo puede clasificar.

Los principales nombres de suelos utilizados para la descripción según sus componentes, se refieren a la granulometría del mismo. De más grueso a más fino los suelos se pueden mencionar como grava, arena, limo y arcilla. A la grava y a la arena se le llaman suelos de grano grueso y al limo y a la arcilla se les conoce como suelos de grano fino.

En la naturaleza, sin embargo, excepcionalmente se encuentra un suelo que esté compuesto por un solo tipo de material. Al contrario, están formados por distintas mezclas en distintas proporciones. A una mezcla se le da el nombre de la parte más abundante y se le agrega un calificativo que corresponde a la segunda parte más abundante, por ejemplo, «arcilla limosa», «arena arcillosa».

También se puede clasificar los terrenos por su origen.

SUELOS RESIDUALES, que resultan de una alteración de una roca a causa de la actuación de procesos fisicoquímicos, de manera tal que la roca original se transforma en elementos disgregados.

SUELOS TRANSPORTADOS, los cuales, luego de una alteración de la roca original, se produce un transporte y acumulación de las partículas en sectores concretos.

Los agentes de transporte pueden ser el viento o el agua.

SUELOS DE ORIGEN ORGÁNICO. Esto significa que han sido originados por la acción de organismos vivos, y los mismos pueden resultar muy compresibles y deformables.

Como se ha visto, las diferentes clasificaciones se proponen de manera que, a partir de su clasificación, se pueda deducir un importante número de características de su comportamiento geotécnico.

C. EL AGUA

El terreno siempre está húmedo, en mayor o menor cantidad, y esta humedad puede proceder de la filtración del agua de lluvia o puede ser agua de constitución, que queda desde el momento de conformarse el suelo. El papel que juega esta agua es determinante para conocer el comportamiento de ciertos terrenos.

El agua ocupa una buena parte de la porosidad del suelo, e incluso de la porosidad de las rocas. Próximos a la superficie, los suelos poseen un espacio considerable entre sus partículas, pero a medida que se gana en profundidad, los suelos e incluso las rocas quedan tan comprimidos que tienden a adquirir la máxima compacidad posible y los poros desaparecen. De esta manera, los materiales de los terrenos tienden a ser impermeables cuando más profundo se encuentran.

Debido a esta circunstancia, nos encontramos con que en el interior de los suelos existe un depósito de agua subterránea, el cual tiene un papel activo en el comportamiento del terreno. Según las condiciones puede tener una actividad disolutiva importante, como por ejemplo en la creación de cuevas y simas, con consecuencias desastrosas para las fundaciones de los edificios.

Se denomina nivel freático o nivel de la capa freática a la situación de esta napa de agua subterránea. En un mismo punto, el nivel freático no es siempre constante sino que fluctúa según varios factores como son las precipitaciones, la presión atmosférica, el bombeo de agua de pozos, el nivel de ríos cercanos o las mareas si están cerca de la costa.

Otro ejemplo de la influencia de la presencia del agua en el seno de los suelos, se presenta en las arcillas. Debido a una serie de combinaciones de tipo fisicoquímico, esta agua hace variar de forma notable el volumen del terreno.

Ahora bien, si esta agua se congela en épocas de frío intenso, también se produce un importante aumento del volumen del terreno. Esta incidencia es especialmente importante en los suelos limosos, que son lo suficiente permeables para contener agua y bastante sensibles a las fuerzas del cambio de volumen por hinchazón.

En estos casos en los que puede intervenir un cambio de volumen del terreno, ya sea por ser expansivos o por congelación, el mayor inconveniente radica en la desigualdad de estos movimientos y la irregularidad de su distribución. Esto origina los comportamientos diferenciales del terreno que inciden en tensiones y rupturas en las cimentaciones. La principal manera de reducir la incidencia de estos fenómenos sobre las estructuras es conocer su existencia.

LA DIAGNOSIS DEL TERRENO

El estudio geológico general se basa en un trabajo previo que consta de una observación del terreno y de la lectura de datos de la cartografía geológica de la zona de interés.

Este conocimiento previo permite tener una idea clara de las circunstancias que se puede encontrar en el sector, y permite también precisar y programar el estudio del terreno en detalle.

Este reconocimiento del terreno en detalle se puede efectuar de diversas maneras, pero siempre teniendo en cuenta las solicitaciones a las que se someterá y a la profundidad a la que se trabajará. Algunas metodologías son:

- **CATAS Y POZOS.**
- **PENETRACIONES.**
- **SONDEOS A PERCUSIÓN Y A ROTACIÓN.**
- **EXTRACCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS.**
- **ENSAYOS STP DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**
- **ENSAYO DE CIZALLAMIENTO.**
- **PRESIOMÉTRICOS, PLACA DE CARGA.**

1. METODOLOGÍAS DE INSPECCIÓN

CATAS

Las catas son el procedimiento de reconocimiento más primario y simple. Requieren unas dimensiones bastante amplias para ser inspeccionadas desde el interior, efectuar ensayos manuales y extraer muestras del terreno observado.

La cata o calicata es un pozo excavado de forma manual o a máquina. Posee un diámetro o dimensión mínima de 75 cm y una profundidad máxima recomendada de 10 metros. Por obvias razones de seguridad, la cata debe entibarse y protegerse contra la inundación, aunque siempre dejando lugar para que se realicen los trabajos correspondientes.

Al final, se rellenan y apisonan por tongadas a fin de devolver al terreno la compacidad inicial.

PENETRACIONES

Las penetraciones son pruebas de resistencia del terreno a la penetración. Consisten en la introducción en el terreno de un tubo metálico rematado por un bulbo denominado penetrómetro.

Nos ayudan a determinar el rozamiento lateral y la resistencia a la penetración hasta un máximo de 10 a 15 m para las de tipo manual y de 15 a 20 m para las de tipo mecánico.

Las penetraciones pueden ser estáticas o dinámicas, pero siempre se basan en el hecho de penetrar una barra en el terreno y medir el esfuerzo que hay que hacer para conseguirlo. El procedimiento estático consiste en hacer penetrar el tubo metálico a una velocidad constante y registrar de forma continuada la presión que hace la máquina para ir entrando.

SONDEOS

Son perforaciones realizadas en el terreno a fin de extraer muestras alteradas o inalteradas del mismo. El diámetro mínimo del tubo de sondeo suele ser de 75 mm y las profundidades a alcanzar van de los 10 m en los sondeos manuales hasta cientos de metros en los mecánicos.

Además del conocimiento de la estratigrafía, los orificios del tubos permiten la realización de ensayos in situ y la determinación del nivel freático.

Existen sondeos de penetración destructiva y sondeos de penetración no destructiva. Los procedimientos destructivos pueden ser de tipo de percusión –martillo de fondo, trépano– o de tipo rotativo –barrena, tricornio–.

Todos los procedimientos de perforación destructiva permiten ir interrumpiendo el proceso a profundidades determinadas para efectuar extracciones de muestras inalteradas o ensayos de penetración dinámica.

Los sondeos de penetración no destructiva, o convencionales, se basan en el recorte del terreno mediante un tubo provisto de una corona en la punta a la manera de una sierra circular.

La muestra del terreno se va introduciendo tubo arriba, en donde se recupera de forma total y continuada.

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS

Se trata, por medio de cualquiera de los procedimientos descriptos, de obtener muestras muy poco alteradas para poder considerarlas representativas del terreno que se reconoce.

En el caso de poder acceder al terreno directamente con las manos, se trata de obtener un dado del terreno de unas dimensiones suficientes –entre 20 y 30 cm de lado–, que es inmediatamente parafinado para que no varíe la humedad durante el transporte al laboratorio.

En el caso de que la muestra se realice mediante un sondeo, el diámetro más habitual de los tubos de extracción de muestra inalterada es de 79 milímetros exterior y 71 milímetros interior, una medida que se adapta a casi todos los sondeos y que es aceptable para poder efectuar los ensayos de laboratorio.

ENSAYO SPT (STANDARD PENETRATION TEST)

Este ensayo, como su nombre lo indica, se encuentra totalmente normalizado, de modo que cualquiera puede efectuarlo de la misma manera y en las mismas condiciones. Los resultados obtenidos pueden ser interpretados, o como mínimo entendidos, por cualquier técnico experimentado.

El equipo de ensayo es un tubo de 60 cm de largo y 50,8 mm de diámetro exterior que se clava en el terreno mediante la caída libre de una masa de 63,5 kg desde una altura de 75 cm.

El número de golpes que da la masa para introducir el tubo se anota por tramos de 15 cm. El valor del ensayo SPT es la suma de los dos tramos centrales, es decir, de penetración entre los 15 y los 45 cm.

2. CAMPAÑA DE ENSAYOS

La campaña de ensayos del terreno o de las muestras del mismo, se pueden realizar tanto in situ como en el laboratorio. Unos y otros ensayos permiten conocer de manera rápida o en profundidad distintos aspectos del suelo en cuestión.

A. ENSAYOS IN SITU

Estos ensayos, como lo indica su nombre, se realizan sobre el terreno a estudiar. Para realizar los ensayos *in situ* se cuenta con los de tipo destructivo y con los de tipo no destructivo.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS: se efectúan con aparatos manuales o relativamente sencillos. Los aparatos se han de aplicar sobre los suelos, ya sea sobre muestras extraídas a través de perforaciones, ya sea a través de la apertura de una calicata o en el fondo del sondeo.

Los ensayos más practicados son el de penetración y el de cizallamiento. El ensayo de penetración ofrece la medida de la resistencia del terreno a la ruptura a la compresión y el de cizallamiento proporciona el valor de la cohesión o resistencia al corte del terreno.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS: a diferencia de los anteriores, no descomponen el terreno o muestra analizada.

PLACA DE CARGA: es uno de los ensayos no destructivos más realizados. El mismo consiste en la colocación sobre el terreno de una placa que, sometida a diferentes cargas, permite conocer la resistencia superficial de aquél y sus deformaciones correspondientes.

Esto ayuda a determinar el asentamiento que se produce bajo la aplicación progresiva de la carga y simular distintas situaciones.

Aunque es un ensayo costoso por la necesidad de excavar, es un ensayo muy útil cuando existe la dificultad de tomar muestras, como en el caso de los suelos poco cohesivos. El ensayo de placa de carga está normalizado.

PRESIOMÉTRICO: es otro ensayo no destructivo. Se realiza con aparatos de mediana complejidad y requiere que haya un sondeo adjunto.

Se introduce una sonda en el interior del sondeo a la profundidad que se desea hacer la prueba, y se aplica una presión horizontal sobre las paredes del sondeo. El ensayo, así, proporciona datos sobre el módulo elástico y la presión de ruptura del terreno.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA: es un conjunto de ensayos no destructivos. Estos ensayos consisten en determinar la situación de un material específico, partiendo de algunas propiedades físicas. Estos ensayos se hacen desde la superficie del terreno y requieren aparatos complejos.

Entre los ensayos geofísicos más utilizados, se encuentran las metodologías eléctricas, que miden la resistividad del terreno, y las metodologías sísmicas que trabajan por refracción. En ambos casos se obtiene la profundidad de las capas más resistentes y su espesor, su resistividad al paso de corriente eléctrica y su velocidad de propagación sísmica.

Esta última tiene una clara relación con la posibilidad de excavar el terreno y es un método útil para programar movimientos de tierras.

GEORADAR: es otro ensayo geofísico. El procedimiento consiste en la emisión de ondas electromagnéticas desde la superficie del terreno que son recibidas por unos sensores colocados también en la superficie.

Así se recogen las ondas reflejadas por las diferentes capas de terreno y se apuntan sus características.

Es una metodología ampliamente utilizada para la determinación de la situación de irregularidades que existan en el terreno, como pueden ser galerías, depresiones, túneles, yacimientos yesíferos, etc.

Los métodos radioactivos son otro tipo de ensayos geofísicos no destructivos. Se basa en la emisión de rayos y en la recepción de las ondas de retorno. El método se utiliza para la determinación de la densidad de materiales compactados y efectuar ***DIAGRAFÍAS***.

Las diagrafías se obtienen a partir de introducir un emisor de rayos gamma a lo largo de un sondeo, el cual emite radiaciones a profundidades determinadas y luego los sensores, en superficie, recogen los datos de cada punto y lo grafican.

B. ENSAYOS DE LABORATORIO

Estos ensayos consisten en la realización de una serie de pruebas sobre las muestras extraídas del interior del terreno. Se realizan en un ambiente controlado y con procedimientos e instrumental específico y calibrado. El objetivo de estos ensayos es:

- **CLASIFICAR LOS SUELOS POR SU HUMEDAD NATURAL.**
- **DETERMINAR LOS LÍMITES DE *ATTERBERG*.**
- **DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA.**
- **CONOCER LA DENSIDAD APARENTE O DENSIDAD SECA.**
- **ESTABLECER EL GRADO DE EXPANSIVIDAD (MEDIANTE APARATO LAMBE O POR APARATO ENDOMÉTRICO).**
- **CALCULAR LA MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.**
- **CALCULAR LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO DE UN TERRENO CONFINADO Y DRENADO** (ensayo de cizallamiento).
- **DETERMINAR LA COMPRESIBILIDAD EN UNA DIRECCIÓN**, habitualmente la vertical, que es la que se acostumbra a aplicar sobre un suelo (ensayo endométrico).
- **DEFINIR LA COMPRESIBILIDAD DEL TERRENO EN LAS TRES DIRECCIONES** (ensayo triaxial).

Por lo tanto, las muestras extraídas que se ensayan en el laboratorio para identificar el suelo, se someten a distintos ensayos de tipo físico, químico y mecánico.

ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN

Como ya se ha comentado más arriba, existen dos grandes familias de suelos: los granulares y los cohesivos.

Los primeros –gravas y arenas– se caracterizan por el tamaño de sus partículas y por la falta de estructura cohesiva, por lo que no existe entre aquellas más fuerza que la de rozamiento y se mantienen inalterables frente a las variaciones de humedad.

En los suelos cohesivos –arcillas y limos– las partículas son de menor tamaño que las anteriores, entre ellas existe cohesión y se ven afectadas por el contenido en agua con aumentos de volumen o retracciones.

Existen curvas granulométricas que permiten deducir la uniformidad de los granos, y por lo tanto la capacidad de compactación de los suelos granulares o ligeramente cohesivos.

TIPO DE ENSAYO	NORMATIVA
Exponente de hidrógeno pH	UNE 7.234/71
Sustancias disueltas	UNE 7.130/58
Sulfatos expresados en SO_{4-}	UNE 7.131/58
Ión cloro Cl	UNE 7.178/60
Hidratos de carbono	UNE 7.132/58
Sustancias orgánicas solubles en éter	UNE 7.235/71
Compuestos de azufre, expresados en SO_3 y referidos al árido seco	UNE 83.120/88
Materia orgánica	UNE 7.082/54
Reactividad en los álcalis del cemento	UNE 83.121/90

LAS NORMATIVAS UNE EN LA DETERMINACIÓN DE LOS ENSAYOS QUÍMICOS DE SUELOS

Se puede afirmar que los suelos granulares son aptos para cimentar si el espesor del estrato es suficiente y la compacidad es media o alta.

Asimismo, los asientos en estos suelos se acusan de forma rápida frente a cargas estáticas y con magnitudes considerables frente a cargas dinámicas.

En los suelos cohesivos o de granulometría fina, la consistencia varía con la humedad y el asiento bajo carga estática es lento pero importante.

Si se tiene en cuenta la humedad de un terreno arcilloso, ésta puede ser alta, media o baja, con lo cual éste tendrá una consistencia fluida, plástica o seca respectivamente.

Los puntos de inflexión de una consistencia a otra se denominan límites de consistencia o de *Atterberg* y corresponden a un determinado contenido de humedad del suelo.

Estos límites se utilizan para clasificar un suelo y sus propiedades, así como para el conocimiento de la consistencia en suelos plásticos, cohesivos o arcillosos.

La norma NTE-CEG considera el análisis granulométrico por tamizado y los límites de Atterberg.

AGRESIVIDAD	EN EL AGUA	EN EL TERRENO
Débil	< 0,03	< 0,2
Fuerte	0,03 a 0,1	0,2 a 0,5
Muy fuerte	> 0,1	> 0,5

AGRESIVIDAD DEL TERRENO Y DEL AGUA CON CONTENIDO DE SO_3 EN %

(Fuente: Manual de Geotécnia i Patologia, Diagnosi i Intervenció en Fonaments).

ENSAYOS FÍSICOS

Los más importantes corresponden a la determinación de la densidad, de la cantidad y tamaño de los poros y de la humedad del terreno.

En el caso de un suelo granular, por ejemplo, el volumen de huecos entre las partículas sueltas es máximo y su compacidad es mínima.

El estudio de la densidad y la porosidad de un terreno se realiza con el objeto de reducir los asientos en los edificios, conocer los empujes sobre los muros de contención y el deslizamiento de los taludes.

Las densidades a considerar en los suelos son cuatro: la real, la aparente seca, la aparente con la humedad natural y la del suelo saturado.

El contenido de humedad de un suelo puede obtenerse por el procedimiento del carburo cálcico o bien con humidímetros calibrados.

ENSAYOS QUÍMICOS

El objetivo de estos análisis químicos son para la determinación de la presencia de compuestos que puedan resultar agresivos para los materiales de construcción. Los ensayos se efectúan tanto en los suelos como en el agua. La búsqueda se orienta principalmente a determinar el contenido de:

- **SULFATOS**
- **SULFUROS**
- **CARBONATOS**
- **CLORUROS**
- **NITRATOS**
- **PH DEL AGUA**
- **MAGNESIO**
- **AMONÍACO**

ENSAYOS MECÁNICOS

El objeto de estos ensayos es la determinación de las características y parámetros geotécnicos del suelo. Entre ellos se encuentran el ensayo edométrico, los ensayos de compacidad, el ensayo de hinchamiento Lambe y el de compresión simple.

El ensayo edométrico se trata un ensayo de compresión sin constricción lateral, en donde se relacionan la magnitud de la carga aplicada con la variación de los asientos y el módulo de compresibilidad del suelo.

Un aspecto práctico de conocer la densidad de un suelo, es cuando se busca una determinada compacidad para que soporte la carga de un edificio sin grandes asientos.

La compacidad de un terreno se puede incrementar mediante la vibrocompresión en los suelos granulares y mediante el agregado de un cierto contenido de humedad en los cohesivos.

Es importante, por lo tanto, conocer las densidades límites y el índice de compacidad en los suelos granulares así como la humedad óptima en los suelos cohesivos.

El ensayo de hinchamiento Lambe tiene por objeto predeterminar la peligrosidad de un suelo por hinchamiento o retracción.

ESTUDIO GEOTÉCNICO	CONOCER
Trabajo previo	Viabilidad de un proyecto
Proyecto	Tensiones del terreno
	Asientos ligados al terreno
	Tipo de cimentación
	Nivel de apoyo
	Nivel freático
	Posibles problemas que puedan presentarse
Comprobación	Comprobación de algunas características
Parciales	Comprobación de una parte del terreno

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS: ETAPAS Y OBJETIVOS
(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Se define como *estudio geotécnico* al conjunto de actividades que tienen por objeto determinar las características de los terrenos en relación al diseño o estudio de la fundaciones.

Es, en resumen, todos los ensayos y análisis anteriormente descritos aplicados a un caso concreto que es la elaboración final de una estructura de cimentación o contención o bien la patología de los mismos.

Los resultados y conclusiones del estudio geotécnico se concretan en el ***INFORME GEOTÉCNICO***, cuyo objetivo es el diseño y cálculo de las fundaciones, de la red de drenaje y del movimiento de tierras.

Existen varias normativas al respecto, como la norma *NTE-CGE* ***CIMENTACIONES ESTUDIOS GEOTÉCNICOS***, que explican este tipo de estudios.

También hay publicaciones del Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU) referente a los estudios geotécnicos.

En todas estas normas se detallan aspectos técnicos como ser el número de sondeos, la profundidad, los ensayos de campo y los de laboratorio, siempre de acuerdo, claro está, con el objeto final del estudio.

En consecuencia, los programas de trabajo deben estar relacionados con el tipo de proyecto –dimensiones, concentración de cargas, profundidad de la excavación, etc.– y se han de poder ir modificando a medida que los trabajos avanzan para adaptarlos a las condiciones y características del terreno.

En la elaboración de un estudio geotécnico, existe una ***INFORMACIÓN PREVIA*** que se refiere al proyecto a construir, a los edificios próximos, a los terrenos colindantes y al solar. Se trata de una verdadera investigación donde se obtiene no sólo información fehaciente sino también pistas para prevenir posibles fallos.

Respecto a la edificación nueva interesa su relación con el terreno, la organización y tipo de estructura, las solicitaciones sobre la fundación, la planta y secciones de cimentación prevista y la cota del nivel de apoyo aconsejado.

Respecto a las edificaciones situadas a menos de 50 m, es bueno conocer su relación con el terreno y con el edificio objeto del proyecto, la organización y tipo de estructura, la planta y secciones de las estructuras de cimentación y contención, la cota del nivel de apoyo y la existencia de posibles lesiones debidas al terreno.

De los terrenos colindantes interesa saber sobre sus estratos, si existe roca o no, la expansividad o agresividad del suelo, el nivel freático, la existencia de aguas colgadas o corrientes subterráneas, los niveles de cimentación utilizados, las tensiones admisibles consideradas, así como la existencia de posibles fallas, irregularidades o si existe material de relleno reciente.

Por último, y en relación con el solar, se debe conocer el plano topográfico, las edificaciones anteriores y sus lesiones si es que las tuvieron, la situación de las redes de abastecimiento y saneamiento, la posición relativa del edificio y cualquier otro dato que se considere relevante.

Para concluir el estudio geotécnico, se debe elaborar el mencionado ***INFORME***, dictamen o peritación.

El informe geotécnico es el conjunto de documentos a través de los cuales el técnico especialista analiza un hecho a fin de que el contratante pueda tomar decisiones. Las características principales de este informe geotécnico son:

- **ES UN DOCUMENTO QUE DEBE PRESENTARSE POR ESCRITO.**

- **DEBE SER REDACTADO POR UN EXPERTO O POR UN PROFESIONAL CAPACITADO Y ACTUALIZADO EN SUS CONOCIMIENTOS.**

- **EL OBJETO DEL INFORME HA DE SER INDICADO CON TODA PRECISIÓN AL QUE LO EJECUTA, A FIN DE QUE QUEDEN EXPRESADOS SUS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES.**

- **EL CONTRATADO HA DE TRANSMITIRLO DE FORMA CLARA, CONCISA Y OBJETIVA.**

- **DADO QUE EL OBJETO DEL INFORME ES LA ACTUACIÓN O LA TOMA DE DECISIONES, EL CONTRATADO DEBE ELABORAR POSIBLES SOLUCIONES Y DESACONSEJAR SOBRE CIERTAS ACTUACIONES.**

- **EL INFORME ES PROMOVIDO POR UNA EMPRESA, POR UNA AUTORIDAD O POR UN PARTICULAR.**

INFORME GEOTÉCNICO

Memoria	Antecedentes e información previa	Proyecto
		Encuadre geológico regional
		Encuadre geológico del solar
	Trabajos realizados	Reconocimiento
		Toma de muestras
		Ensayos in situ
	Estratigrafía y naturaleza del terreno	Potencias
		Profundidades
		Composición
	Ensayos de laboratorio	Parámetros geotécnicos obtenidos
	Recomendaciones	Tipología de la infraestructura y otras alternativas
		Nivel de apoyo
		Tensiones admisibles y asientos vinculados
	Posibles problemas	Edificios colindantes
		Niveles freáticos
		Inestabilidad de taludes
		Agresividad de aguas
		Agresividad de terreno
Planos	Situación general	
	Plano de parcela	
	Plano de obra	
Anejos	Documentación fotográfica	
	Resultados de penetración y sondeos	
	Gráficos de ensayos de laboratorio	

INFORME GEOTÉCNICO

(Fuente: Curso diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces).

BIBLIOGRAFÍA

Andamios, apeos y entibaciones. *AA.VV. Bernardo Martín Hernández.*

Curso de patología. Tomo 1. *AA.VV. COAM. Madrid, 1991.*

Curso de Rehabilitación nº4. La Cimentación. *José María Rodríguez Ortiz. COAM. Madrid, 1984.*

Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades. *Gerónimo Lozano Apolo-Alfonso Lozano Martínez Luengas-Carlos Santolaria Morros. Consultores Técnicos de Construcción C.V. Gijón, 1993.*

Humedades en la edificación. *Francisco Ortega Andrade. Editan SA. Sevilla, 1989.*

Las humedades en la construcción. *Ulsamer-Minoves. C.E.A.C. Barcelona, 1986.*

Manual de geotècnia i patologia,diagnosi i intervenció en fonaments. *AA.VV. Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Técnics de Barcelona. Barcelona, 1998.*

Muros de contención y muros de sótano. *J. Calavera. INTEMAC. Madrid, 2000.*

Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas. *Francisco Serrano Alcudia. Fundación Escuela de la Construcción. Madrid, 1998.*

Patología de las cimentaciones. *Louis Logeais. Gustavo Gili. Barcelona, 1984.*

Prevención y soluciones en patología estructural de la edificación. *Manual Muñoz Hidalgo. Manual Muñoz Hidalgo. Sevilla, 1991.*

Recomanacions per al reconeixement,0 la diagnosi i la terapia de fonaments. *Fructuós Mañá i Reixach. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1995.*

Rehabilitació d'habitatges rurals. *AA.VV. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1985.*

Tratado de rehabilitación. Tomo 3: Elementos estructurales. *Juan Monjo Carrió. Munilla-Lería. Madrid, 1998.*

Tratamiento de humedades en los edificios. *José Coscollano Rodríguez. International Thompson Editores. Madrid, 2000.*

La torre inclinada de Pisa. Estructuras, materiales de construcción e intervenciones de refuerzo. *Veniale. Instituo Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*