

# MANUAL DE PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN



FERNANDO LOPEZ RODRÍGUEZ  
VENTURA RODRIGUEZ RODRIGUEZ  
JAIME SANTA CRUZ ASTORQUI  
ILDEFONSO TORREÑO GOMEZ  
PASCUAL UBEDA DE MINGO

COORDINACIÓN: VENTURA RODRIGUEZ

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN (E.U.A.T.M)  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**TOMO 2**

PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS:  
HORMIGÓN Y MADERA

## A MODO DE PRESENTACIÓN

Esta publicación es el resultado de la continuada relación entre la empresa aseguradora FREMAP, la constructora O.H.L. S.A y el Departamento de Tecnología de la Edificación de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid y supone una sustancial mejora, en cuanto a la ampliación de sus contenidos, sobre la edición que el pasado año se efectuó sobre el mismo tema.

La intención de este manual es servir de base documental para la impartición de cursos sobre sus contenidos dirigidos preferentemente a profesionales, técnicos de la construcción, de diferentes titulaciones universitarias que tengan relación con la jefatura de obras de edificación.

Tras la experiencia acumulada el pasado año, en cuanto a la densidad de los contenidos de los cursos que se impartieron, y el interés suscitado entre los alumnos que los siguieron por ampliar algunos de los temas tratados, en la presente edición se ha optado por dividir el contenido general del anterior manual en tres tomos de los que se derivarán otros tantos cursos más monográficos de contenidos.

Siguiendo las directrices de las entidades que han encargado este trabajo, el equipo redactor, entre las diversas posibilidades de tratar una materia tan compleja y amplia de contenidos como esta, a optado por dar una visión práctica de los temas que se tratan para facilitar la aplicación de los conocimientos impartidos al trabajo profesional cotidiano de los potenciales alumnos a los que nos dirigiremos.

Por otra parte los contenidos expuestos en los tres manuales en los que se divide la obra, se verán reforzados por los cursos presenciales, en los que cada una de las materias podrán verse matizadas, puntualizadas y contrastadas con las experiencias directas de los alumnos a pie de obra.

Todo ello tiene como objetivo alertar sobre aquellas prácticas constructivas o las carencias de los proyectos susceptibles de provocar lesiones en los edificios que puedan derivarse en riesgos para los mismos y especialmente para los usuarios y para los que se efectúa una valoración razonada en cada uno de los capítulos.

En este sentido y para cada uno de los temas que se estudian, se pone especial acento en las terapéuticas preventivas a aplicar en el desarrollo de los trabajos, así

como posteriormente en las soluciones para efectuar la reparación de cada patología detectada, tanto en obras de nueva planta como en las de intervenciones sobre edificios ya construidos.

Permítaseme por último una mención a los profesores redactores de la obra, todos ellos con una amplia experiencia en cada uno de los temas tratados, tanto en sus aspectos profesionales como en los docentes y que he tenido la satisfacción de coordinar para la consecución de este trabajo que ahora ponemos en sus manos, con nuestros mejores deseos de contribuir, aunque sea en una pequeña medida a mejorar los parámetros de confort y seguridad que deben tener nuestros edificios.

*Ventura Rodríguez*

*Madrid, Agosto de 2004*

**CONTENIDOS TEMÁTICOS DE LA OBRA:**

- TOMO 1** EL LENGUAJE DE LAS GRIETAS  
PATOLOGÍA Y RECALCES DE LAS CIMENTACIONES
- TOMO 2** PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS: HORMIGÓN Y MADERA
- TOMO 3** LESIONES EN LOS EDIFICIOS DEBIDAS A LAS HUMEDADES.  
PATOLOGÍA DE LAS CUBIERTAS Y FACHADAS

**EQUIPO REDACTOR**

- **LOPEZ RODRIGUEZ, Fernando**  
Aparejador, Arquitecto Técnico, Sociólogo  
Profesor Titular en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (U.P.M)  
en el Proyecto Fin de Carrera
- **RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Ventura**  
Aparejador, Arquitecto Técnico, Técnico Superior en Prevención de Riesgos  
Profesor Titular en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (U.P.M)  
en el Proyecto Fin de Carrera.
- **SANTA CRUZ ASTORQUI, Jaime**  
Arquitecto  
Profesor Titular en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (U.P.M)  
en el Proyecto Fin de Carrera.
- **TORREÑO GOMEZ, Ildefonso**  
Arquitecto, Aparejador, Arquitecto Técnico, Ingeniero Técnico Topografo  
Profesor Titular en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (U.P.M)  
en el Proyecto Fin de Carrera.
- **UBEDA de MINGO, Pascual**  
Aparejador, Arquitecto Técnico, Doctor en Antropología  
Catedrático de Mantenimiento y Rehabilitación en la Escuela Universitaria de  
Arquitectura Técnica (U.P.M)

**MAQUETACIÓN:** Jaime SANTA CRUZ

**COORDINACIÓN:** Ventura RODRIGUEZ

# TOMO 2

## INDICE GENERAL DE CAPÍTULOS

### CAP I: PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Jaime Santa Cruz Astorqui

pág. 6

1. INTRODUCCIÓN
2. LAS LESIONES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y SUS SÍNTOMAS
3. INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

### CAP II: REFUERZOS Y REPARACIONES EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Jaime Santa Cruz Astorqui

pág. 85

1. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO
2. ACTUACIONES DE EMERGENCIA
3. PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN
4. REPARACIONES
5. REFUERZOS
6. SUSTITUCIONES

### CAP III: PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA Y SUS REPARACIONES

Fernando López Rodríguez

pág. 126

1. DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS LESIONES MÁS FRECUENTES EN LAS ESTRUCTURAS DE MADERA DE LOS EDIFICIOS
2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE REPARACIÓN Y SUSTITUCIÓN

### CAP IV: PATOLOGÍA DE LOS FORJADOS

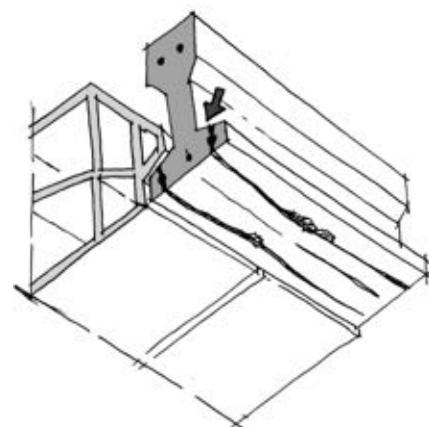
Ildefonso Torreño Gómez

pág. 180

1. COMENTARIOS A LA NORMA EFHE
2. GENERALIDADES Y AUTORIZACIONES DE USO
3. DETALLES CONSTRUCTIVOS
4. PATOLOGÍA DE LOS FORJADOS

**TOMO 2**

**CAPITULO I**



**PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN**

**CAPITULO I****PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN**

Jaime Santa Cruz Astorqui

*Indice:*

1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Lesiones en las estructuras debidas al proyecto	
1.2 Lesiones en las estructuras debidas a la ejecución	
2. LAS LESIONES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y SUS SÍNTOMAS .....	24
2.1 Lesiones y sus síntomas de origen mecánico	
2.1.1 Fallos por esfuerzo a flexión	
2.1.2 Fallos por esfuerzo a flexocompresión	
2.1.3 Deformaciones excesivas	
2.1.4 Deformaciones diferenciales	
2.1.5 Acumulación de cargas sobre el forjado	
2.2 Lesiones y sus síntomas en el hormigón de origen higrotérmico	
2.2.1 Fisuras de formación anterior al inicio de la fase de endurecimiento del H.	
2.2.2 Fisuras de formación posterior al inicio del endurecimiento del hormigón.	
2.2.3 Lesiones producidas en el hormigón endurecido	
2.3 Lesiones y sus síntomas en el hormigón de origen químico	
2.3.1 Deslavado / Lixiviación	
2.3.2 Ataque químico árido - álcali	
2.3.3 Ataque químico por sulfatos	
2.3.4 Sales amoniacales y magnésicas	
2.4 Lesiones y síntomas en la armadura de origen electroquímico	
2.4.1 El mecanismo de la corrosión	
2.4.2 Tipos de corrosión	
2.4.3 Factores acelerantes de la corrosión	
2.4.4 Tipos de fisuración por corrosión	
3. INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO .....	66
3.1 Obtención de datos previos	
3.2 Prediagnosis: Reconocimiento visual del edificio	
3.3 Diagnosis: Realización de pruebas y ensayos	
3.3.1 Ensayos no destructivos y control del hormigón	
3.3.2 Muestreo de forjados	
ANEXO 1: Guía para la inspección y control global de la ejecución de una estructura de hormigón armado. ....	78
BIBLIOGRAFÍA .....	83

## 1. INTRODUCCIÓN

Es muy frecuente que el término *patología* se asocie exclusivamente a la *obra de rehabilitación*, cuya singularidad frente a la *obra nueva* proviene precisamente de la necesidad de conservar total o parcialmente el edificio existente (el cual presentará lesiones y daños que deberán ser reparados de forma previa a la intervención).

La realidad es que debido a que los costes derivados de las reparaciones (por no hablar de las indemnizaciones) en los dos primeros años de vida de un edificio, hacen de la *obra nueva* el verdadero campo de aplicación de la Patología.

Por ello, aunque el tema que nos ocupa incide *aparentemente* poco en la labor cotidiana del Jefe de Obra nueva, la importancia del conocimiento del origen de las lesiones en las estructuras de hormigón armado es de vital importancia para todos los integrantes del proceso edificatorio, desde el proyectista hasta el jefe de obra, pues las consecuencias de no hacer correctamente la estructura de un edificio, pueden tener una gran trascendencia:

- El colapso parcial (y no digamos total) de una estructura, puede provocar el colapso del edificio, y poner en peligro la vida de sus ocupantes.
- Los elementos que componen la estructura, generalmente quedan ocultos, por lo que las lesiones no son visibles hasta que los síntomas mas graves se manifiestan, dejando poco margen de tiempo para la intervención.
- La reparación de la estructura, una vez que el edificio está en uso, genera unos costes muy altos, y normalmente el previo desalojo de los ocupantes.
- La mayoría de las lesiones “serias” de los elementos no estructurales de un edificio, son meras manifestaciones de fallos en la estructura y/o la cimentación.
- Sin contar los costes originados por las reparaciones, las lesiones que son directa o indirectamente originadas por fallos estructurales, inducen en el cliente que recepciona el edificio una preocupación desmedida (pues percibe que el edificio “se cae”), que desemboca normalmente en demandas también desmedidas.

Parece que queda claro la gran importancia de conocer los mecanismos por los que una estructura de hormigón armado puede fallar, pues de ésta forma estaremos en condiciones de mejorar las técnicas de ejecución y realizar un control preventivo más exhaustivo y eficaz.

Así pues, el objetivo que se persigue con éste capítulo es el conocimiento de:

- El origen de las lesiones, para determinar la responsabilidad dentro del proceso edificatorio.

- Los daños y lesiones que se pueden producir en una estructura de hormigón armado.
- Los mecanismos que producen dichos daños.
- Las técnicas de diagnosis.
- Las técnicas básicas de prevención.

En primer lugar, se hace necesario determinar si el origen de ciertas lesiones está en errores del proyecto de estructura o bien el origen se sitúa dentro del proceso de ejecución. Esto es de vital importancia para el jefe de obra, quien deberá en última instancia detectar posibles errores en el proyecto que puedan ocasionar fallos estructurales y alertar así al responsable del proyecto.

## 1.1 LESIONES EN LAS ESTRUCTURAS DEBIDAS AL PROYECTO

Es frecuente (de hecho la mayoría) que muchas lesiones sean consecuencia directa o indirecta de errores cometidos en el proyecto de estructura. Obviamente, los errores de cálculo y diseño no son competencia de éste capítulo, pero si los debidos a la incorrecta definición constructiva de los elementos de la estructura.

Podemos diferenciar dos grandes grupos de errores cometidos en la fase de proyecto:

### Errores técnicos:

Aquellos imputables a los redactores del proyecto de estructura (diseño, cálculo, detalle, especificaciones, etc):

- Errores de concepción general de la estructura (diseño y cálculo)
  - Modelo de cálculo erróneo
  - Estimación incorrecta de las cargas y sobrecargas que la estructura soportará en la realidad.
  - Estimación incorrecta de las cargas dinámicas y vibraciones externas
  - Estimación incorrecta de la flecha diferida de los elementos.
- Detalles constructivos mal concebidos y/o mal diseñados
- Errores de acotación, escala, simbología, etc
- Errores en especificación de elementos y materiales

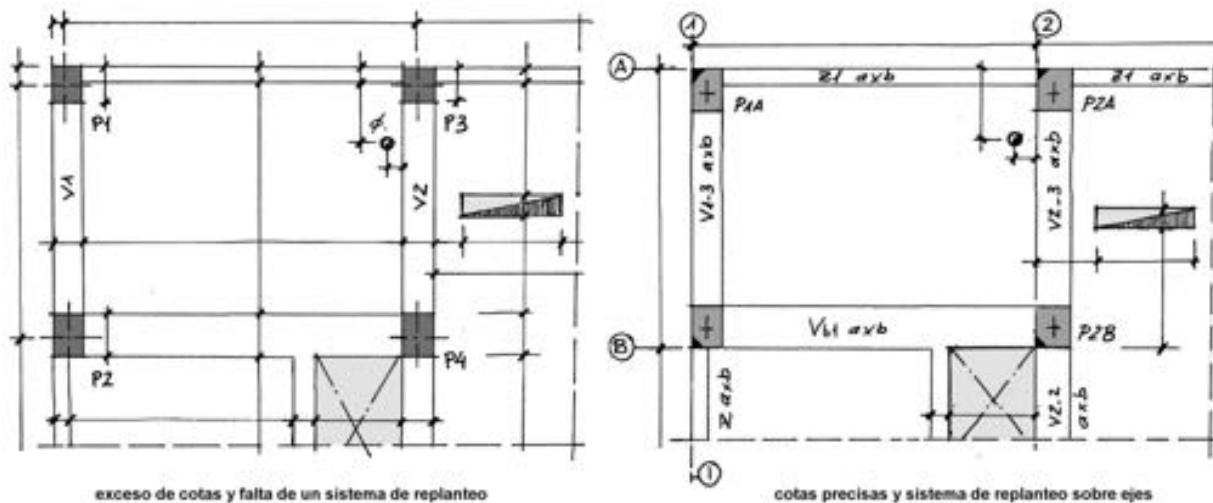
### Errores de expresión:

Cometidos por el personal auxiliar en la puesta en limpio del proyecto (delineantes, mecanógrafos, etc).

*A continuación se describen algunos de los errores de proyecto más comunes:*

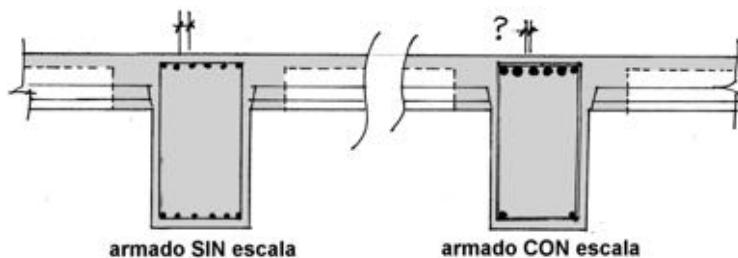
**a) Errores de terminología:** Las especificaciones de los materiales empleados en la estructura, los métodos de ejecución, etc, pueden ser origen de diversos errores que tienen una gran trascendencia (cambios de tipo de hormigón o cemento, condiciones de puesta en obra, etc), así como los errores en la definición del control de calidad y las referencias de la normativa.

**b) Errores en la acotación:** Normalmente debidos a una acotación de la estructura sin tomar en cuenta el proceso de replanteo en obra, y a una ausencia de un sistema de ejes de referencia apoyado en los puntos y caras fijas de los elementos (que serán invariables en toda la altura del edificio):

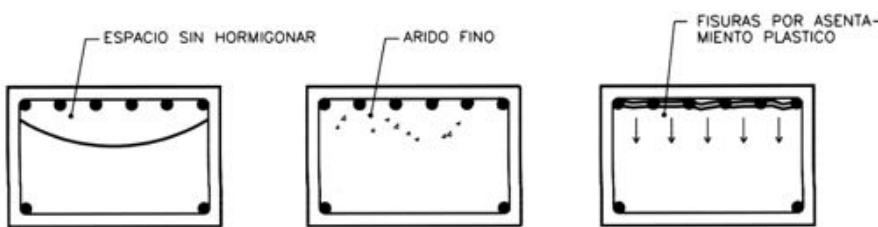


La falta de cotas también induce a errores en obra, puesto que obliga a la interpretación de las dimensiones que faltan.

**c) Errores de escala:** También es origen de graves errores la incorrecta escala de los planos y detalles, cuando no se adecua a la información que expresan. Es frecuente en los detalles de armado de piezas que las barras no se dibujen con su diámetro real, lo que a veces impide detectar en obra un problema de cuajado excesivo de barras y el consiguiente problema de hormigonado y vibrado.



Las consecuencias directas del mal hormigonado/vibrado de una viga con alta cuantía de armadura de negativos, se muestra a continuación (entendiendo el problema como un mal diseño de la disposición de armaduras):



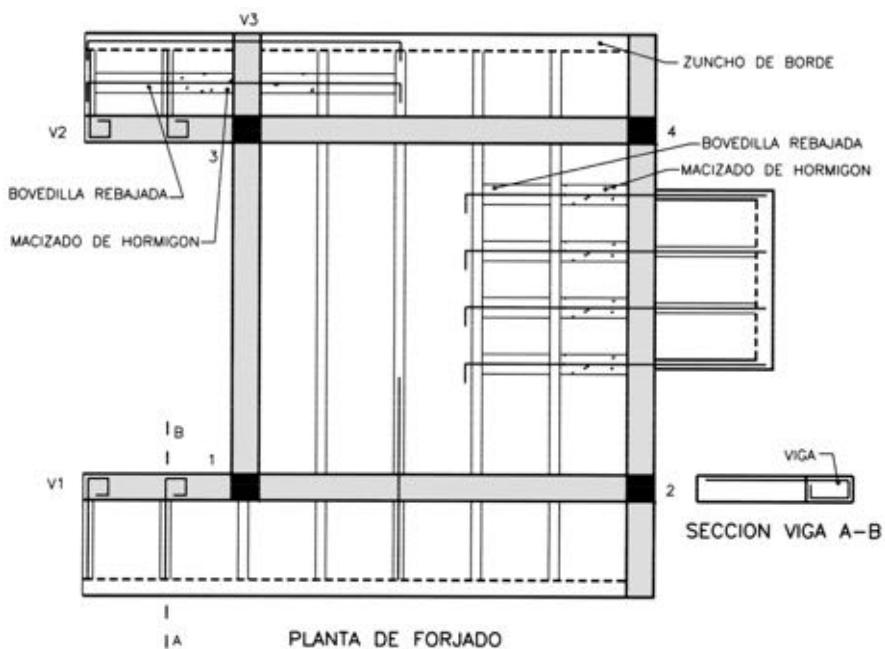
Patología de una viga de H.A. por mala disposición de armadura de negativos en el apoyo

**d) Errores de símbolos y abreviaturas:** Los errores en la utilización incorrecta de símbolos, puede dar lugar a una lectura incorrecta (o ambigua) de la información del plano.

**e) Errores de detalles:** Los detalles constructivos, imprescindibles para explicar en profundidad los planos generales, pueden ser origen de diversos errores, tanto por su omisión como por soluciones incorrectas (que serán ejecutadas al pie la letra en la obra).

También es origen de errores en obra la mala disposición de los detalles en los planos, que impiden una lectura clara y unívoca, llegando incluso a confundir unos detalles con otros.

Un error frecuente de ausencia de detalles en un proyecto (normalmente debido a un diseño incorrecto de la estructura) se produce en los planos de forjados con vuelos de viguetas sin continuidad, no detallándose la ejecución de la zona de transmisión de esfuerzos de compresión de la zapatilla de la vigueta volada al resto del forjado. Si no se contemplan soluciones específicas, se producirán flechas excesivas y torsiones indebidas en la viga de apoyo. A continuación se muestran soluciones tipo a éste tipo de problema:



(M.Muñoz Hidalgo)

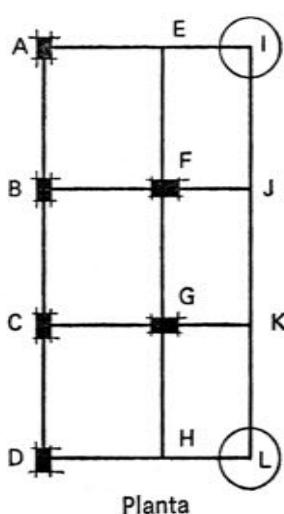
**f) Errores en modificación de proyectos:** suelen ser muy habituales los "modificados" durante el transcurso de una obra, motivados por la necesaria adaptación del proyecto a los múltiples condicionantes que van apareciendo y que

no han sido previstos (sobre todo cuando hablamos de las características "imprevistas" del terreno, no siempre reflejadas en el estudio geotécnico).

El error que introducen dichos modificados suele ser invariablemente la no actualización de todos los planos y la no sustitución inmediata en la obra, lo que implica la utilización simultánea de planos y detalles originales y modificados, con los consiguientes problemas de incoherencia de la información.

El modificado realizado durante la obra, es sin lugar a dudas, el origen de multitud de problemas, lo que demuestra en alguna medida la importancia de una documentación de proyecto completa, clara y coherente.

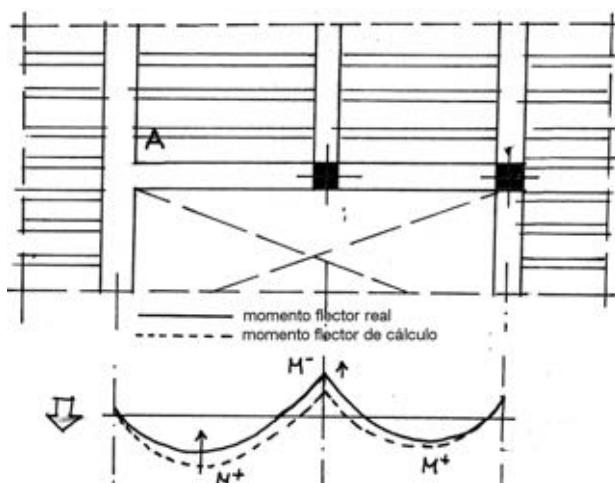
**g) Errores por planteamiento incorrecto del modelo de cálculo:** Es el caso (p.ej.) de las vigas sobre elementos estructurales en voladizo o elementos flexibles.



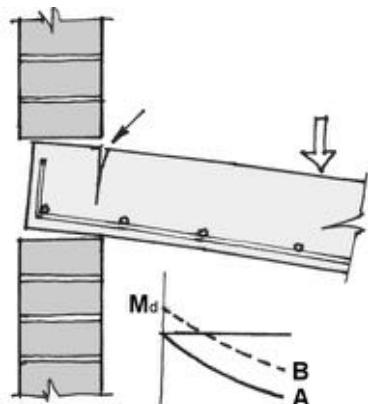
Sucede en aquellos casos en los que una viga se calcula con los apoyos impedidos en su desplazamiento vertical (no se consideran como apoyos elásticos) y dichos apoyos lo forman los extremos de vigas en voladizo.

La consecuencia es que el funcionamiento real de la estructura difiere totalmente del estudiado en el modelo de cálculo, produciéndose solicitudes de diferente valor (incluso signo) de las que sirvieron de base al armado.

Otro ejemplo de éste tipo de error es una situación similar, aunque de menor importancia, que se suele dar en los apoyos de vigas embrochaladas. Si la viga sobre la que se embrochala no es muy rígida, y la viga embrochalada tiene mas de un vano, pueden alterarse los valores de momento flector si no se considera un apoyo elástico:



En la figura anterior se aprecia un aumento de las solicitudes reales de momento flector negativo, debido a que el apoyo izquierdo desciende al flechar la viga donde embrochala. Puede suceder que la armadura de negativos resulte insuficiente.

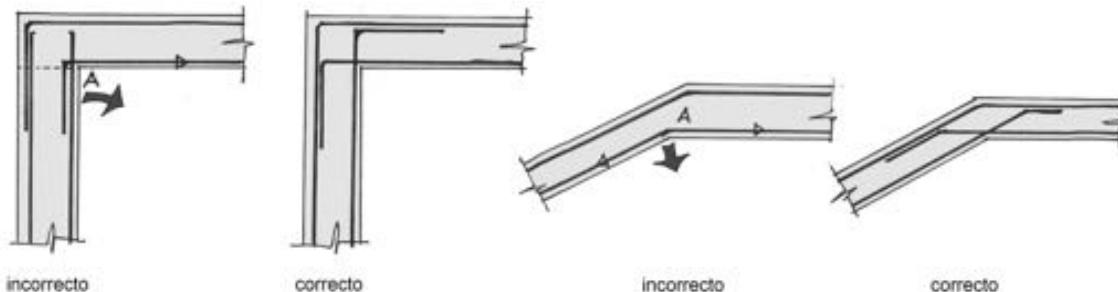


Otro caso semejante (figura izquierda) es el de no considerar los posibles semiempotramientos que se producen en los apoyos sencillo de losas o forjados en fábricas, sobre todo cuando tales fábricas se prolongan y ejercen una carga considerable sobre la línea de apoyo. En tales casos, no se contempla armadura en la cara superior (diagrama de momentos A), cuando la realidad es que se produce un momento negativo de empotramiento (diagrama B), produciendo fisuras superiores a lo largo del apoyo.

*Semiempotramiento en apoyo de losa en muro*

**h) Errores debidos a disposiciones incorrectas de armaduras:** A veces, la mala disposición de las armaduras, la insuficiencia de cuantía de acero, o la simple falta de armado, son motivos claros de lesiones de la estructura, cuyo origen puede estar tanto en un proyecto mal definido como en un error de ejecución en obra (para ello habrá que consultar los planos de estructura).

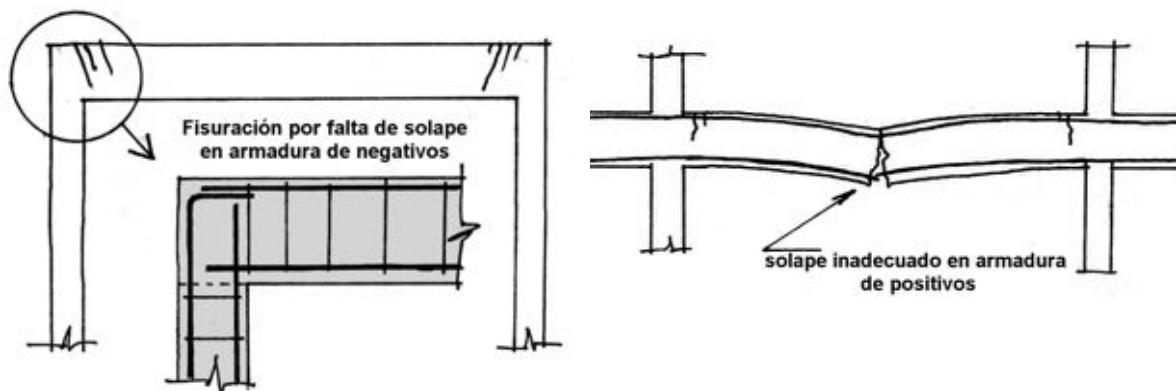
Es frecuente en estos casos, encontrar fisuraciones por falta de adherencia debida a la falta del anclaje suficiente, o bien a una solución errónea de continuidad de la armadura en los nudos:



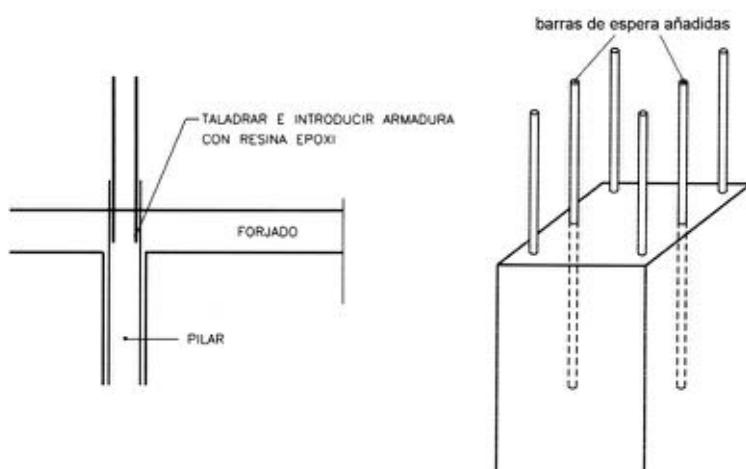
*Disposiciones incorrectas y correctas en nudos de muros y losas de escalera de H.A.*

En las figuras anteriores marcadas como “incorrectas”, las disposiciones de armado en el nudo pueden provocar bajo tensión la rotura del recubrimiento (A), y originar el colapso del elemento.

En otros casos, la falta de solape necesario en armaduras de tracción en nudos y vanos, puede ocasionar fisuración e incluso el colapso del elemento:

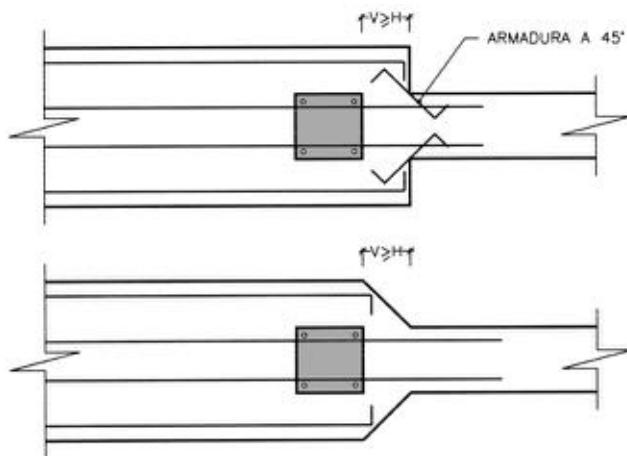


Otro error típico en disposición de armaduras (de proyecto o de ejecución), es dejar cortas las barras de espera en cabeza de pilares. Esto produce una insuficiente adherencia entre armados de pilares y la no transmisión de esfuerzos, lo que provoca fisuraciones en las bases del pilar superior. Tanto en los casos de longitud de anclaje insuficiente, como en los que hay ausencia de barras (cambios bruscos de sección), el problema se puede solucionar con la inserción de barras en taladros previos, rellenando posteriormente con resina epoxi (ver figura siguiente):

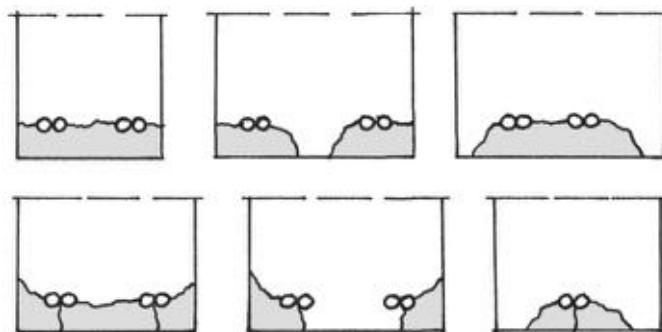


(Figura: M. Muñoz Hidalgo)

También encontramos en el caso de vigas planas con cambios bruscos de ancho (en apoyo en pilar), una falta de definición de la disposición de la armadura del tramo de viga más ancho, que debe anclarse en la zona de pilar y no prolongarse en la capa de compresión (hay que decir que éste es un error típico de proyecto normalmente debido a la falta de detalles constructivos y a la mala interpretación de los datos suministrados por el programa de cálculo. A la derecha se muestran dos posibles soluciones correctas de armado del nudo



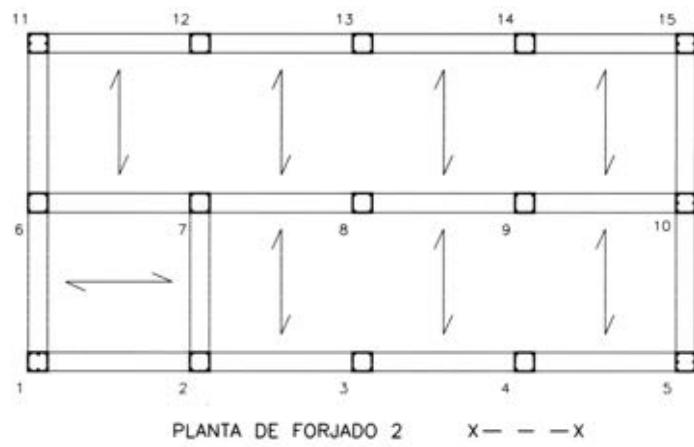
Uno de los efectos de una mala posición de las armaduras, combinado con una insuficiencia de longitud de anclaje de las mismas, es el conocido “*splitting*” o estallido del hormigón circundante a las barras, al no resistir la excesiva deformación de éstas. La consecuencia directa es la separación del hormigón de recubrimiento y el mal funcionamiento mecánico de la sección. La figura siguiente muestra diferentes situaciones de *splitting* en función de la posición y separación de las barras de armado (trabajos del C.E.B., [3.34]):



(Figura: J. Calavera)

i) **Juntas de dilatación**: Es frecuente el mal dimensionamiento y disposición de las juntas de dilatación de la estructura, lo que provoca irremediablemente la fisuración en la propia estructura y siempre en los elementos de fábrica que soporta (ver 2.2.3)

ii) **Errores de colocación de pilares**: Es fundamental contar con un cuadro de pilares claro y detallado, pues es frecuente el error de cambiar o girar la posición del pilar, cuyas consecuencias en su capacidad mecánica pueden ser desastrosas. A continuación se reproduce un cuadro tipo a modo de ejemplo:



CUADRO DE PILARES

PILARES PLANTAS	1	2-6-7	3-4-8-9 12-13-14	5-11-15	10
PRIMERA	 30x30 4@20 φ6@25	30x30 4@20 φ6@25	30x30 4@12 φ6@18	 30x30 6@20 φ6@25	 30x30 8@20 φ6@25
BAJA	30x30 4@20 φ6@25	30x30 4@16 φ6@24	30x30 4@12 φ6@18	30x30 4@20 φ6@25	30x30 4@20 φ6@25
Pilares referidos al eje X. Hormigon $f_{ck} = 25N/mm^2$ Acero $F_y = 400N/mm^2$		Longitud de anclaje : φ12 = 24cm. φ16 = 32cm. φ20 = 48cm.			

**COMO CONCLUSIÓN**, y en base a lo expuesto anteriormente, se deduce la importancia y necesidad de un control de calidad del proyecto antes de su ejecución por parte del equipo redactor y preferentemente por un tercero (cuya lectura y crítica será siempre mas objetiva). Este control de calidad se rentabiliza fácilmente puesto que evita problemas posteriores en obra y en consecuencia ahorra costes imprevistos.

Debido a que las lesiones originadas por defectos de proyecto no son controlables por el contratista, se recomienda que éste realice las siguientes comprobaciones:

**Antes del comienzo de la obra**: verificar que los planos contemplan en sus detalles y especificaciones todas las unidades de obra que constituyen la estructura, y en su defecto, por lo menos aquellas que constituyan soluciones singulares o complejas.

**Durante la obra**: de realizarse modificados, asegurase de obtener un juego completo y verificado del proyecto de estructura, donde se especifique claramente cuáles son las modificaciones introducidas y en que afectan a los tajos ya ejecutados.

En cualquier caso, es importante comprobar que los planos generales de estructura están suficientemente acotados y que contienen las correctas especificaciones de:

- Características y dosificaciones de los hormigones a emplear
- Características, diámetros, longitudes y disposición de las armaduras
- Dimensiones de pilares, vigas y zunchos
- Tipo y composición de forjados
- Posición y dimensiones de huecos de forjado
- Ejes de replanteo de pilares y bordes de losa.

## 1.2 LESIONES EN LAS ESTRUCTURAS DEBIDAS A LA EJECUCIÓN

La patología de ejecución de una estructura de hormigón armado, contempla el estudio de las lesiones cuyo origen podemos situarlo durante el proceso de ejecución, y son directamente imputables a errores del propio proceso constructivo (sin incluir aquí cuestiones derivadas de los errores de proyecto).

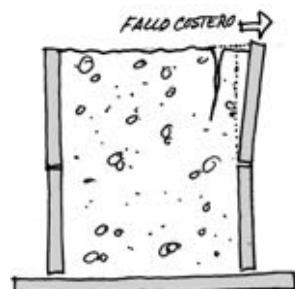
Los motivos más comunes en éste tipo de patología son:

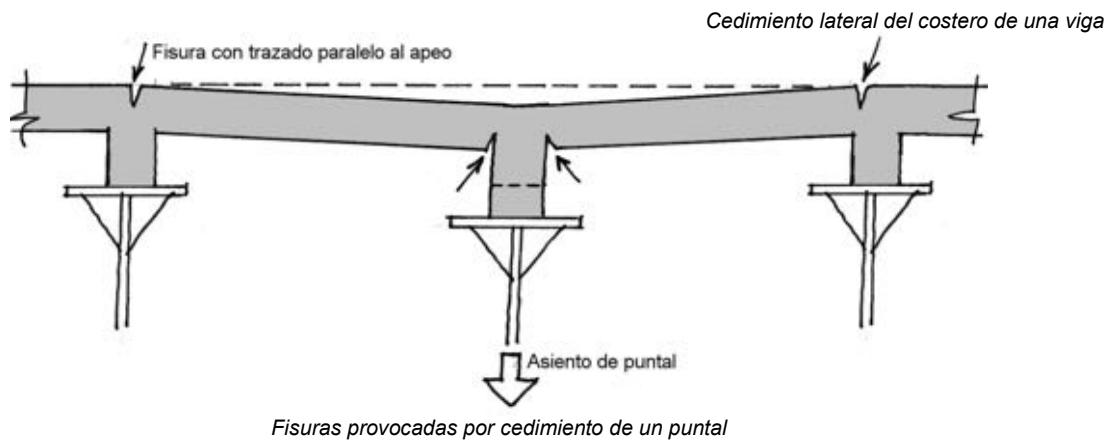
- Las subcontrataciones a la baja, que originan normalmente un trabajo deficiente.
- La mano de obra insuficientemente cualificada y sin experiencia en la construcción de estructuras de H.A.
- La falta de una supervisión técnica de las unidades en ejecución, de forma previa al hormigonado.
- La falta o insuficiencia de un control de calidad serio, o la dependencia del controlador respecto del jefe de producción, que impide detectar a tiempo problemas normalmente irreversibles y de gran trascendencia posterior.
- El incumplimiento de la normativa específica de aplicación en estructuras de H.A., o bien y en su defecto, el incumplimiento de las normas no escritas del buen hacer.

Intentar realizar una completa descripción de los métodos y técnicas correctas de ejecución sería motivo de un curso completo, por lo que a continuación se muestran a modo de ejemplo algunos casos típicos:

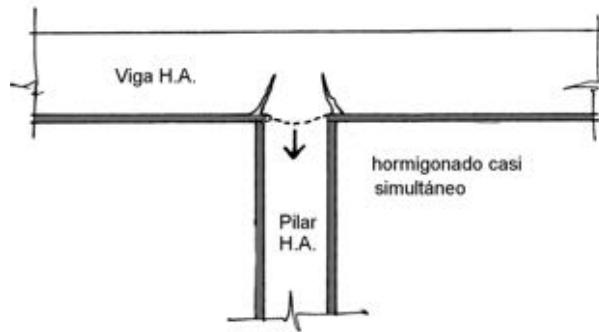
### a) Fisuras por asentamiento o cedimiento del encofrado:

Puede producirse un asentamiento o fallo de la sujeción del encofrado (tanto en el fondillo como en los costeros) durante el proceso de fraguado. Esto provoca fisuras de diversos tipos, según sea el tipo de cedimiento, puesto que el hormigón, una vez iniciada la fase de fraguado, no es capaz de cerrar una fisura que se abra:



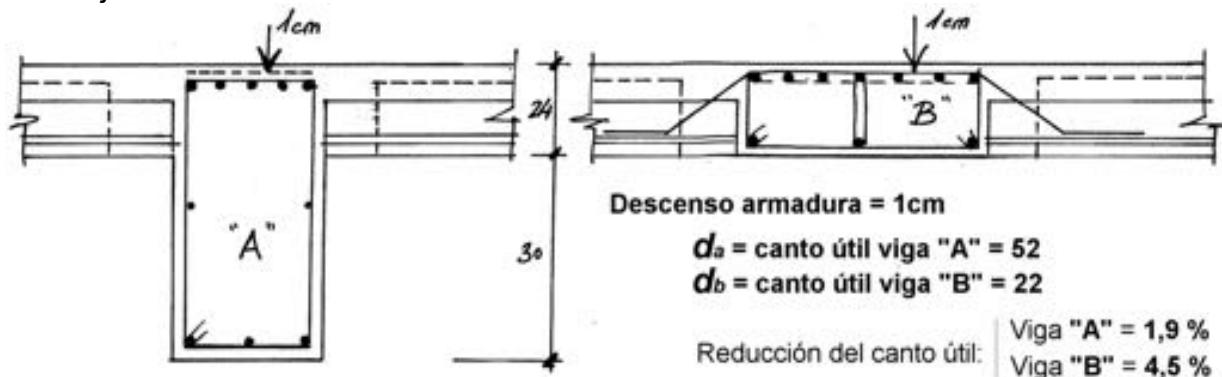


La figura siguiente muestra las fisuras al hormigonar una viga / forjado antes de haber endurecido el hormigón del pilar (no se tiene en cuenta el asentamiento plástico, que se describirá más adelante, aunque en muchas ocasiones este tipo de fisuración puede confundirse con el provocado por la retracción plástica del hormigón):



**b) Lesiones provocadas por movimientos de armaduras en vigas planas:** Las vigas planas (o embebidas en el canto de forjado), dado su poco canto son muy deformables, y por lo tanto son el origen de la mayoría de las lesiones de fisuras en tabiques y cerramientos por deformaciones excesivas de la estructura (este tema se verá con más profundidad más adelante).

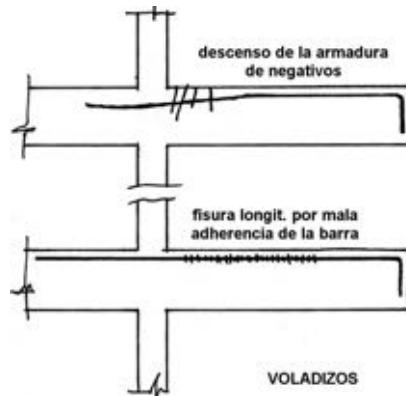
Aunque dichas deformaciones excesivas pueden estar provocadas por un cálculo insuficiente de sección y/o armado, también es frecuente que el origen esté en una mala ejecución.



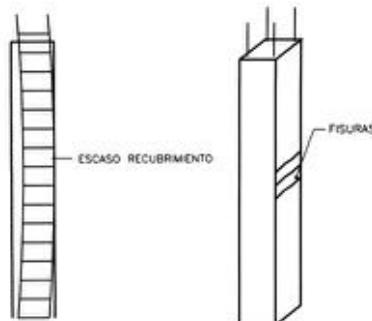
*Comparación de la reducción del canto útil en una viga de cuelgue y una plana, al pisar la armadura superior*  
 Desde el punto de vista de su ejecución, estas vigas son muy sensibles a los desplazamientos de armadura (al pisar durante su montaje y hormigonado), pues un

desplazamiento de tan solo 2 cm puede alterar gravemente su capacidad mecánica, sobre todo en los apoyos sobre pilares (zona muy solicitada), donde además hay que cuidar el vibrado del hormigón, no siempre fácil debido a la gran densidad de barras superiores para los esfuerzos de momentos negativos.

En el caso de voladizos, es frecuente pisar las armaduras de negativos, produciéndose una drástica disminución del canto útil de la viga:



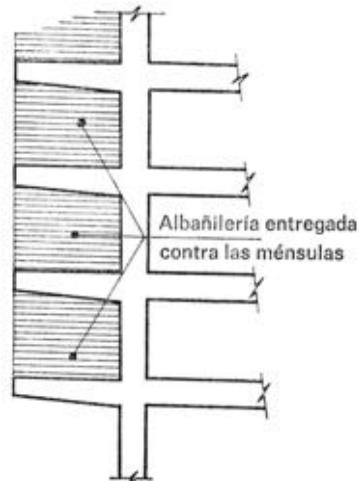
c) **Lesiones provocadas por movimientos de la armadura en pilares:** La armadura de un pilar, si no incorpora separadores para asegurar unos recubrimientos mínimos, puede quedar desplomada e incluso deformada, sin que esto pueda ser detectado a simple vista. Esto puede provocar fisuración horizontal (paralelas y finas) en la cara con menor recubrimiento:



d) **Ménsulas que soportan cerramientos de ladrillo en varios pisos:**

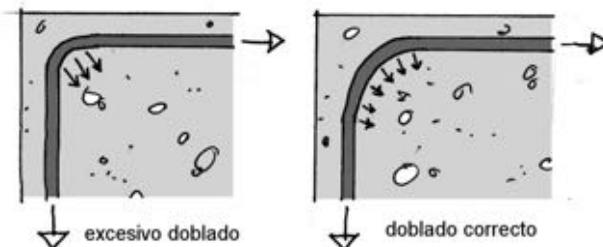
Es una situación típica de edificios con cuerpos volados y cerrados. El origen de las lesiones proviene de una mala ejecución de la fábrica, que se amortera contra las ménsulas sin dejar una junta suficiente.

La consecuencia es que el peso de las fábricas desciende por fachada, en vez de transmitirse a los pilares, hasta la ménsula más baja, que por no tener bajo ella ningún cerramiento, tiene que soportar una carga muy superior a la de cálculo.

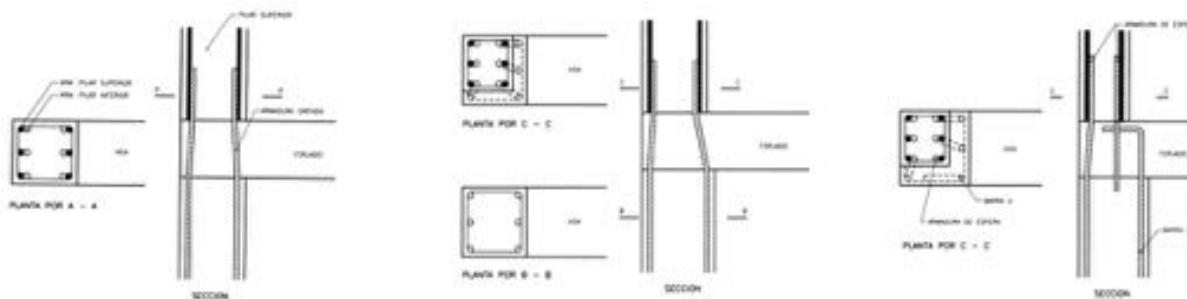


Este efecto puede producirse también cuando se hormigona la ménsula directamente sobre la fábrica inferior.

**e) Mala ejecución de la armadura:** Otro motivo frecuente de lesiones por mala ejecución es el excesivo doblado de armaduras. Los radios de doblado deben estar en función del diámetro de la barra, y si se aplican radios muy pequeños, puede originar una acumulación de tensiones tal que llega a punzonar el hormigón, sobre todo con barras de grandes diámetros:



También es frecuente el grifado incorrecto de la armadura longitudinal de los pilares, para preparar las barras de espera. Esto suele provocar tanto roturas de la cabeza del pilar (grifado prematuro), como mal funcionamiento de la armadura en su conexión con el pilar siguiente. A continuación se muestran como ejemplo las formas de grifado en función del cambio de sección entre tramos de pilares :



(Figura: M. Muñoz Hidalgo)

**f) Errores de replanteo:** El más frecuente, y quizá el de más trascendencia, es el error debido al mal posicionamiento de encofrados de pilares que origina desplomes entre pilares de distintas plantas. Esto puede provocar excentricidades de carga no contempladas en el cálculo, que pueden introducir solicitudes excesivas.

Otro caso muy frecuente es el de los errores de replanteo en los costeros de borde de forjado. Si éstos no quedan perfectamente a plomo, puede suceder que la hoja de  $\frac{1}{2}$  pie de cerramiento que apoya parcialmente en el forjado, quede sin apoyo suficiente, provocando un tipo de fisuración muy frecuente.

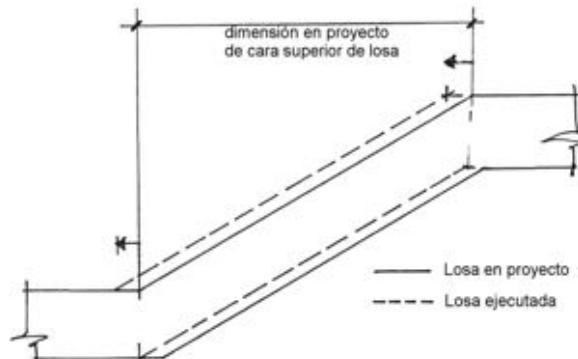
También es frecuente modificar por error las dimensiones de una pieza (sobre todo en vigas):

- En aquellos casos en los que se disminuye la sección útil, se pueden producir deformaciones excesivas y fisuras en otros elementos, cuando no la rotura de la pieza.

- En los casos en los que se aumenta la sección, también se aumenta su rigidez. Esto provoca que la pieza absorba mas momento, lo que puede originar fisuración debido a la insuficiente cuantía mecánica (ésta sin embargo no se aumenta proporcionalmente).

En cualquier caso, las variaciones geométricas debidas a errores de replanteo, no siempre provocan lesiones en la estructura o en otros elementos, pero originan modificaciones en el resto de las unidades de obra, lo que indudablemente tiene una repercusión económica.

Un caso típico es el de el mal replanteo de las losas de escalera, de poca (o nula) trascendencia en la estructura, pero que provoca modificaciones en la distribución de espacios interiores. En la figura siguiente se muestra una equivocación típica, en la que se replantea el encofrado con las medidas de la cara superior de losa. Este error es común en aquellas partes de la estructura que son inclinadas (losas de escalera, rampas, losas de cubierta, etc):



Error típico en el replanteo del encofrado de una losa inclinada

**g) Errores en los recubrimientos:** Aunque sin duda, el error mas común durante la ejecución, y el que provoca mayor número de daños a la estructura, es la mala disposición de la armadura respecto del encofrado:

- Si el recubrimiento es excesivo, la armadura queda bien protegida, pero se producen dos efectos negativos:
  - Uno es que se reduce el canto útil de la pieza, y en consecuencia se produce una merma en su capacidad mecánica, lo que puede provocar deformaciones excesivas.
  - Otro efecto es que el hormigón de superficie queda sin armar, facilitando la fisuración por retracción (como se verá mas adelante). Esto provoca en muchos casos la corrosión de la armadura.
- Si por el contrario el recubrimiento es insuficiente o nulo (situación ésta mucho más frecuente por falta de separadores), la armadura queda expuesta a los agentes externos corrosivos, provocando la corrosión del acero.

Este tipo de lesiones provocadas por falta de recubrimiento en la armadura, se verán con más detalle en el tema siguiente.

**h) Mala calidad del hormigón:** Aunque el hormigón se suministre a obra desde central con todos los controles necesarios de calidad, es posible que su puesta en obra altere sus características iniciales, tanto en cuanto a su durabilidad como en cuanto a su resistencia mecánica. Los errores de manipulación mas frecuentes son:

- Añadir agua de amasado a hormigones de consistencia seca para facilitar y acelerar su puesta en obra. Esto, además de estar prohibido, provoca hormigones muy porosos de baja resistencia, y lesiones que se explican en el tema siguiente.
- Realizar un vertido inadecuado (sobre todo en pilares y muros) a excesiva altura, provocando la segregación del árido. Con esto se obtiene un hormigón que no es homogéneo, con zonas de resistencia muy baja. Esto provoca un importante descenso en la resistencia de la pieza hormigonada.
- Un insuficiente vibrado, que impide al hormigón envolver totalmente a la armadura, que queda desprotegida e indefensa ante la corrosión. También se originan coqueras en la masa, que tienen gran incidencia en la resistencia mecánica final de la pieza. Estos problemas son especialmente frecuentes en pilares (sobre todo en su base) y en piezas en general con alta cuantía de armadura.
- Por último, un mal curado del hormigón (o inadecuado a las condiciones climatológicas) puede provocar toda una serie de lesiones que normalmente pueden transcender en corrosión de la armadura. Este tipo de lesiones se explican con detalle en el siguiente tema.

i) **Deterioros de la estructura por otros oficios:** Muchas veces por el “desconocimiento del oficio ajeno”, y casi siempre debido a negligencias y falta de control, pueden producirse deterioros importantes en la estructura para resolver problemas de ubicación de instalaciones, normalmente por falta de previsión en proyecto o bien por errores de replanteo. Las situaciones más comunes son la rotura de vigas, zunchos y viguetas para el paso de bajantes (figura) y la rotura de vigas y pilares para el paso de conductos eléctricos.

En estos casos, el daño puede considerarse grave y ha de repararse inmediatamente, pues puede quedar oculto por el revestimiento posterior y provocar un colapso parcial ante la aplicación de la totalidad de las cargas.



Perforación de viga plana (izqda) y de vigueta (drcha) para paso de bajantes

j) **Suministro de materiales:** Pueden ocasionarse graves deficiencias en la estructura si los materiales que intervienen en su construcción son inadecuados o están defectuosos:

- Armaduras mal confeccionadas y/o almacenadas
- Cementos en mal estado
- Aridos inadecuados
- Agua inadecuada
- Aditivos inadecuados
- Amasado incorrecto
- Material auxiliar en mal estado o inadecuado

**COMO CONCLUSIÓN**, podemos decir que es absolutamente recomendable (y rentable) la buena práctica en la ejecución de una estructura, puesto que los errores cometidos en ésta fase de obra son quizá los de más trascendencia (en tiempo y dinero) y que a su vez originan todo tipo de lesiones en otras unidades de obra.

De hecho, se puede afirmar que un proyecto de estructuras deficientemente definido (que no mal resuelto) puede llevarse a buen término con una buena ejecución, sin embargo, un buen proyecto y una mala ejecución darán como resultado una estructura con problemas.

## 2. LAS LESIONES EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y SUS SÍNTOMAS

En éste tema se tratará de exponer la totalidad de las lesiones que pueden sufrir los elementos que componen una estructura de H.A., agrupadas por la causa que las provoca. El mecanismo que origina dichas lesiones puede ser:

- 2.1 **Mecánico**
- 2.2 **Higrotérmico**
- 2.3 **Químico**
- 2.4 **Electroquímico.**

En cada caso, se describirá tanto el daño producido como la sintomatología propia de la lesión y los mecanismos por los que se origina.

Todo ello debe ser suficiente tanto para permitir clasificar una lesión existente e intervenir de forma consecuente, como para (y esto es lo más importante) tomar las precauciones necesarias durante la ejecución a efectos de prever la aparición posterior de dichos daños (más vale prevenir que curar...).

La inspección visual nos permitirá detectar aquellos síntomas (de existir), que son en realidad los signos que manifiestan el deterioro de la estructura de hormigón, bien sea en el propio hormigón o en el acero de las armaduras, aunque bien puede ser un deterioro producido por un exceso de carga de la misma.

En muchos casos (la mayoría), los síntomas no son apreciables en la propia estructura por estar ésta oculta, y sin embargo son claramente visibles en las unidades de albañilería que descansan sobre ella.

Por último, hay casos en que no existe evidencia de ninguna sintomatología clara, pero se han dado circunstancias (por ej. un sismo) que permiten creer que la estructura haya podido sufrir algún tipo de afección.

En definitiva, la inspección visual nos permitirá reconocer dichos síntomas, sobre los cuales el técnico deberá proceder al análisis de sus causas y a la evolución del daño estructural, para tener suficientes datos a la hora de diseñar la actuación mas correcta y económicoamente mas proporcionada.

- Como **SÍNTOMA**, entendemos aquellas evidencias u otro tipo de indicios reveladores de una lesión, y que pueden aparecer en la propia estructura o bien en otros elementos constructivos (o en ambos).
- Como **LESIÓN** entendemos aquellos daños provocados por causas físicas o químicas que se concretan en deformaciones o alteraciones en los materiales, y que pueden afectar a las prestaciones de la propia estructura ( a

su totalidad o a parte de ella) o a otros elementos constructivos (fachadas, particiones, etc)

Según sea el material afectado por la lesión, y el origen de la misma, podemos realizar la siguiente clasificación general:

Material	Origen
Lesiones en el hormigón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecánico</li> <li>• Higrotérmico</li> <li>• Químico</li> </ul>
Lesiones en la armadura por corrosión	<p>Electroquímico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonatación</li> <li>• Cloruros</li> <li>• Corrientes erráticas</li> </ul>

A continuación se resumen en tres cuadros la identificación y calificación de las diferentes lesiones en estructuras de hormigón armado, que serán explicados posteriormente.

Esta guía es sumamente útil para determinar el origen y causa de una lesión durante el proceso de prediagnosis de una estructura:

Identificación y calificación de lesiones en estructuras de H.A.: VIGAS, VIGUETAS y PILARES

ELEMENTO ESTRUCTURAL	SINTOMA	LOCALIZACION	CAUSA PROBABLE	CALIFICACION DEL DARIO	ORIGEN	MATERIAL
Viguetas o vigas	Fisuras transversales	Cara inferior, en el centro	Falta resistencia a tracción	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cara superior. Marcando posición de estribos. Distribuidas uniformemente o en cambios bruscos de cuantía mecánica	Asentamiento plástico Retracción hidráulica	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		Tramos centrales.	Variaciones térmicas	Moderado	Electroquímico	Armadura
	Fisuras longitudinales	Distribuidas uniformemente marcando posición de estribos	Corrosión de las armaduras	( <sup>1</sup> )	Electroquímico	Armadura
		posición de estribos	Falta resistencia a compresión	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cara superior en el centro	Deformaciones diferenciales del forjado	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
	Fisuras inclinadas	Cara inferior, en junta de unión con bovedilla	Asentamiento plástico	( <sup>1</sup> )	Electroquímico	Armadura
		Cara superior marcando posición de armaduras principales	Corrosión de las armaduras	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cara inferior marcando posición de armaduras principales	Falta resistencia a cortante	Alto	Mecánico	Hormigón
Pilares	Fisuras transversales	No pasantes, distribuidas uniformemente	Falta resistencia a flexo compresión	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cabeza del pilar marcando posición de estribos	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		No pasantes, distribuidas uniformemente	Variaciones térmicas			
	Fisuras longitudinales	Distribuidas uniformemente marcando posición de estribos	Corrosión de las armaduras	( <sup>1</sup> )	Electroquímico	Armadura
		Esequinas marcando posición de armadura principal	Falta resistencia a compresión	Alto	mecánico	Hormigón
		Matad superior	Falta resistencia a cortante			

(<sup>1</sup>)  
Despreciable:  
Bajo:  
Moderado:  
Alto:

Sin fisuras. Pérdida de sección  $\leq 1\%$ , sin corrosión  
Fisuras  $< 0.3\text{mm}$ . Pérdida de sección  $> 1\% - 5\%$ . Oxido superficial  
Fisuras  $\geq 0.3\text{mm}$ . Pérdida de sección  $> 5\% - 10\%$ . Oxido en capa fina  
Desprendimiento en lajas (spalling). Pérdida de sección  $> 10\%$ . Oxido en capa gruesa

Identificación y calificación de lesiones en estructuras de H.A.: FORJADOS, LOSAS Y OTROS

ELEMENTO ESTRUCTURAL	SINTOMA	LOCALIZACION	CAUSA PROBABLE	CALIF. DANO	ORIGEN	MATERIAL
Forjados transversales	Fisuras transversales	Distribuidas uniformemente Tramos centrales	Retracción hidráulica Variaciones térmicas	Bajo Moderado	Higrotermico	Hormigón
Forjados longitudinales o transversales	Fisuras longitudinales	Cara superior, laterales de la vigueta	Falta resistencia tracción negativa	Alto	Mecánico	Hormigón
Forjados o losas	Fisuras longitudinales	Marcando posición armadura principal o estribos	Corrosión armaduras	(*)	Electroquímico	Armadura
	Fisuras aleatorias	Superficie de hormigón marcando posición armaduras negativos.	Asentamiento plástico			
	Fisuras paralelas	En capa de compresión siguiendo dirección de viguetas	Retracción hidráulica	Bajo	Higrotermico	Hormigón
	Fisuras en maza	Superficie del hormigón	Retracción plástica			
	Fisuras longitudinales o transversales	Superficie del hormigón	Alargamiento			
	Fisuración en maza, superficie hinchada y expulsión de conos de hormigón	Superficie del hormigón	Corrosión armaduras	(*)	Electroquímico	Armadura
Qualquier elemento de hormigón armado	Fisuración aleatoria con depósitos blancos	Superficie del hormigón	Ataque químico ácido-alcali	(*)	Químico	Hormigón
	Manchas de óxido	Marcando posición armadura principal o estribos	Ataque químico por sulfatos			
	Manchas de humedad	Zonas cercanas a bajantes	Corrosión de armaduras	(*)	Electroquímico	Armadura
		Locales húmedos	Fugas en instalación desague o saneamiento			
		Locales bajo cubierta	Fugas en instalación desague o saneamiento o fontanería	(***)	Higrotermico	Hormigón
			Fallo de impermeabilización			
	(*)			(***)		
	Despreciable:	Sin fisuras. Perdida de sección ≤ 1%, sin corrosión		Despreciable:	Sin manchas	
	Bajo:	Fisuras < 0,3mm. Perdida de sección > 1% - 5%. Oxido superficial		Bajo:	Esporádica	
	Moderado:	Fisuras > 0,3mm. Perdida de sección > 5% - 10%. Oxido en capa fina		Moderado:	Permanente húmedo	
	Alto:	Desprendimiento en lajas (spalling). Perdida de sección > 10%. Oxido en capa gruesa		Alto:	Presencia de hongos	
	(**)					
	Despreciable:	Sin expansión. Resistencia muy alta a la demolición				
	Bajo:	Expansión < 0,3mm. Resistencia alta a la demolición				
	Moderado:	Expansión > 0,3mm. Resistencia media a la demolición				
	Alto:	Expansión > 2mm. Resistencia baja a la demolición				

## Identificación y calificación de lesiones en H.A.: TABIQUES, CARPINT., FACHADAS Y CUBIERTAS

ELEMENTO ESTRUCTURAL	SINTOMA	LOCALIZACION	CAUSA PROBABLE	CALIF. DANO	ORIGEN	MATERIAL
Tabiques	Fisuras horizontales	Mitad inferior tabique	Deformación excesiva del forjado inferior	Bajo	Mecánico	Hormigón
	Fisuras verticales	Mitad superior tabique	Deformación excesiva del forjado superior			
	Fisuras inclinadas	Mitad inferior tabique	Deformación excesiva de los forjados superior e inferior			
Carpinterías	Desgajadas y distorsionadas	Tabiques apoyados en voladizos marcando zonas traccionadas	Acumulación de cargas sobre el forjado	Moderado	Mecánico	Hormigón
	Fisuras transversales	Puertas y ventanas	Deformaciones excesivas del forjado	Bajo		
Pavimento	Fisuras longitudinales	En la junta, perpendicular a dirección viguetas	Deformaciones diferenciales del forjado	Bajo		
	Embalamiento de agua	En la junta, paralela a dirección viguetas	Deformaciones excesivas del forjado			
Cubiertas	Fisuras horizontales	Centro de vano o cajula	Variaciones térmicas	Bajo	Higrotérmico	
	Fisuras verticales	Unión forjado cubierta con el cerramiento de fachada				
Fachadas		Unión forjado cubierta con el antepecho				
		Esquinas de ventanas y puertas				

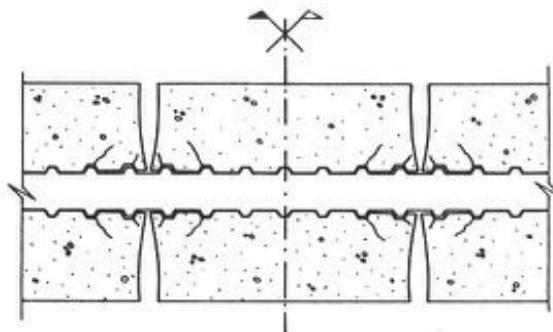
## 2.1 LESIONES Y SUS SÍNTOMAS EN EL HORMIGÓN DE ORIGEN MECÁNICO

Son aquellas lesiones producidas en la estructura por la falta de resistencia del propio hormigón y/o de la armadura ante las solicitudes y deformaciones impuestas. Esto puede deberse claramente a dos causas bien definidas:

- Defecto de proyecto (cálculo, detalles) o de ejecución (replanteo, colocación armaduras): secciones y cuantías de acero insuficientes para el uso al que se destina la estructura.
- Cambios de uso: Los nuevos usos (estados de carga), sobrepasan ampliamente las cargas para las que se calculó dicha estructura (por ej. al elevar de altura el edificio).

En cualquier caso, el fenómeno de la fisuración en el hormigón es absolutamente aceptable en condiciones de secciones traccionadas, puesto que el hormigón no es capaz de acompañar la deformación que sufre el acero (que es el encargado de absorber el 100% de las tensiones de tracción).

El problema aparece cuando se produce una excesiva deformación del acero (por una solicitud excesiva o insuficiencia de sección), que provoca fisuras en el hormigón con espesores no deseables. A partir de espesores de aprox. 0,3 mm, tales fisuras pueden convertirse en vías de penetración de agentes corrosivos. Esto es por si solo el origen de una posible degradación del hormigón y corrosión de la armadura, pero si la deformación aumenta, puede llegar a provocar el colapso de la pieza.

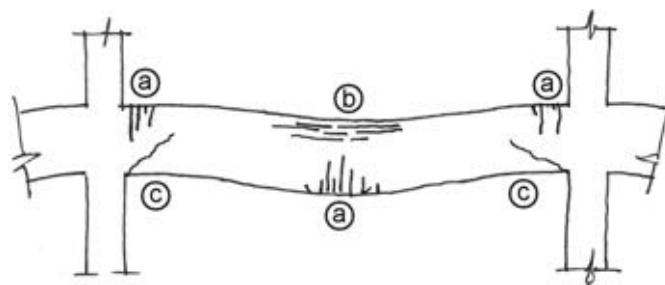


*Fisuración del hormigón circundante a una armadura traccionada (J. Calavera)*

Es por ello, que hay que insistir en que muchas lesiones de origen electroquímico (corrosión de las armaduras) tienen su origen inicial en un fallo de tipo mecánico que provoca un exceso de fisuración. Es por ello que la EHE limita el ancho de fisuras (en definitiva la deformación máxima) en función de la agresividad del ambiente en que se sitúa la pieza de hormigón.

### 2.1.1 Fallos por esfuerzo de flexión

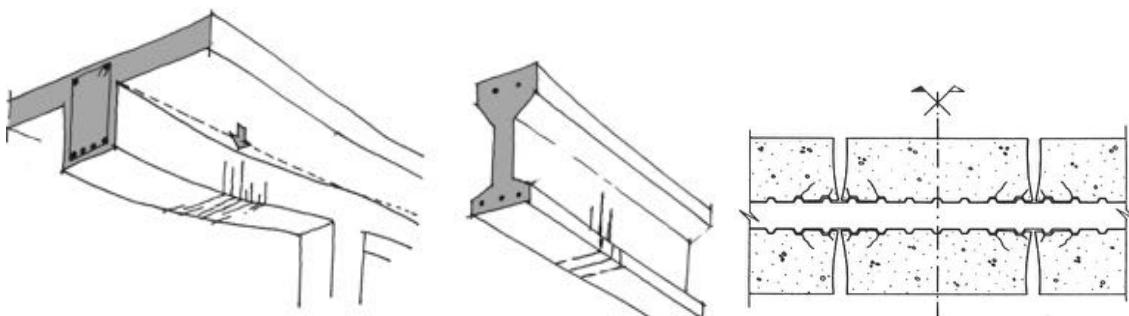
La inspección se hará en la cara inferior de vigas y/o viguetas, picando el revestimiento si fuese necesario (o abrir falso techo). Las formas típicas de fisuración son las indicadas en la figura:



- a) Fisuras debidas a esfuerzos de tracción
- b) Fisuras debidas a esfuerzos de compresión
- c) Fisuras debidas a esfuerzos de cortante

### a) Fisuración transversal en vigas y viguetas debida a esfuerzos de tracción

Se presentan en la zona de máximo momento flector de la viga / vigueta, es decir, en el centro de la cara inferior, y cerca de los apoyos (o encima de los mismos) en la cara superior si hay continuidad de viga (momento negativo de empotramiento). Si aparecen mas de una fisura, normalmente se distribuyen uniformemente.



Ejemplos de ensayos a flexión (INTEMAC):



Escalones de fisuración (INTEMAC) impedita



Rotura por agotamiento del acero



Rotura de viga con adherencia

Si el ancho de fisura es menor de 0,3mm, no implican peligrosidad, aunque puedan provocar la entrada de agentes externos corrosivos.

Si el ancho de la fisura es mayor de 0,4mm, puede indicar una falta de armadura suficiente o bien una carga excesiva. En este caso, el daño es importante y se procederá al apuntalamiento previo.

En el caso concreto de viguetas pretensadas, si el ancho de fisura es mayor de 0,2mm, esto indica que:

- Hay pérdida de tensión de pretensado
- Hay una sobrecarga excesiva
- Puede haber falta de armadura

En éstos casos se considera un *nivel de lesión grave*.

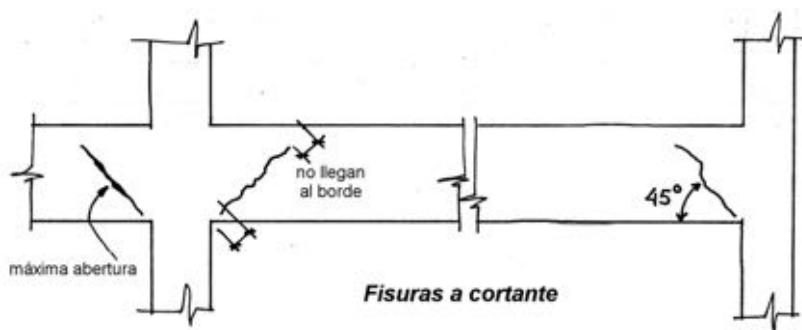
**b) Fisuración longitudinal en vigas y viguetas debida a esfuerzos de compresión:**

Salvo en estructuras exentas, no se pueden detectar sin realizar calas. Suelen ser muy poco frecuentes en forjados con capa de compresión.

En cualquier caso, de existir, implican un riesgo muy grave y habrá que apuntalar de forma inmediata.

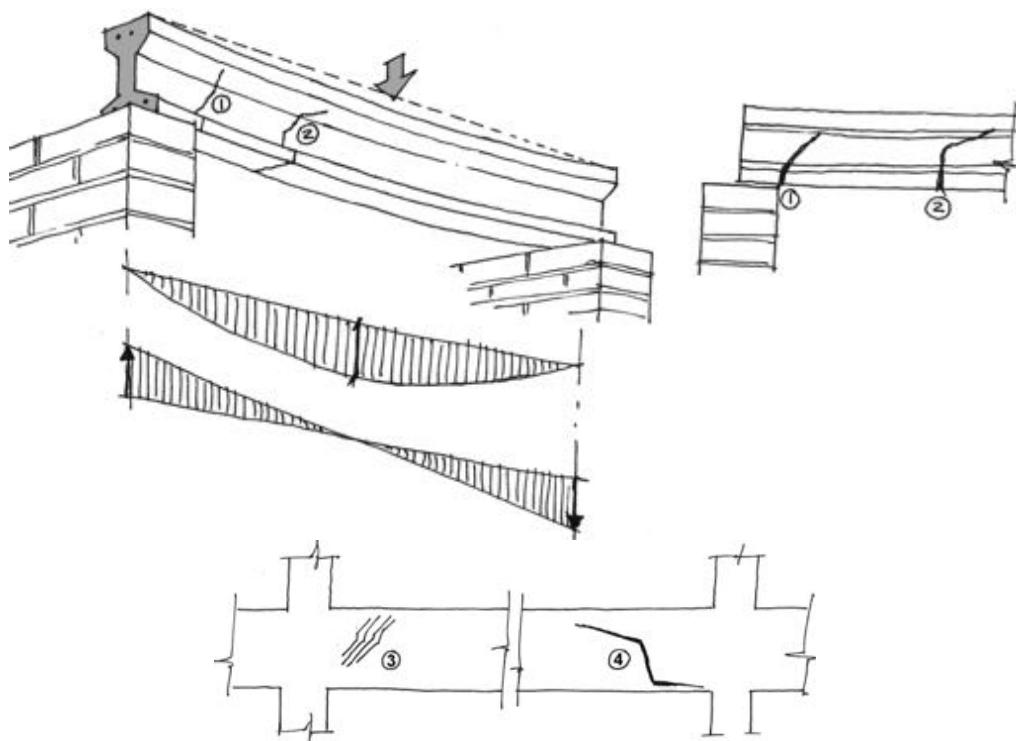
**c) Fisuración inclinada en vigas y viguetas debida a esfuerzos cortantes:**

Cuando las solicitudes de cortante son excesivas, puede suceder que la rotura de la viga se origine por su incapacidad de absorber las tensiones de tracción y/o compresión derivadas de tal esfuerzo. Son fisuras localizadas cerca de los apoyos (puntos de máximo cortante), y siguen una dirección ascendente de  $45^\circ$  apuntando al apoyo mismo (pilar, viga, muro...). Esta dirección marca la perpendicular de las máximas tracciones debidas al cortante, que no han podido ser absorbidas por la armadura transversal.



Cuando sucede, las fisuras pueden aparecer originadas por uno de los mecanismos siguientes, tal y como se indica en las figuras:

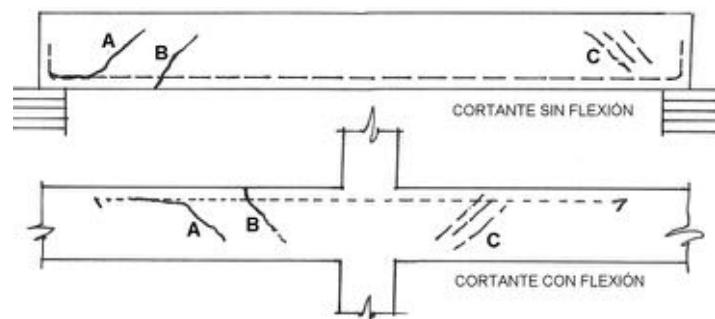
1. Agotamiento por tracción de la armadura transversal
2. Combinación de cortante y flexión
3. Fisuración por compresión oblicua del alma
4. Fallo del anclaje de la armadura transversal



Como características diferenciales de éste tipo de fisuras (3 y 4), decir que no suelen llegar a los bordes de la pieza (debido a la armadura principal que hace un efecto de cosido), y que tienen en el eje de la viga su máxima abertura.

Si la fisura llega a la superficie del ala en todo su ancho (podemos verlo en el revestimiento) entonces la pieza ha roto a cortante.

Basándonos en el funcionamiento de la viga por bielas de compresión, podemos explicar otro tipo de fisuras provocadas por cortante, éstas debidas a una falta de resistencia a compresión del hormigón, y de dirección perpendicular a las anteriores (**C**), cuando el armado transversal es suficiente:

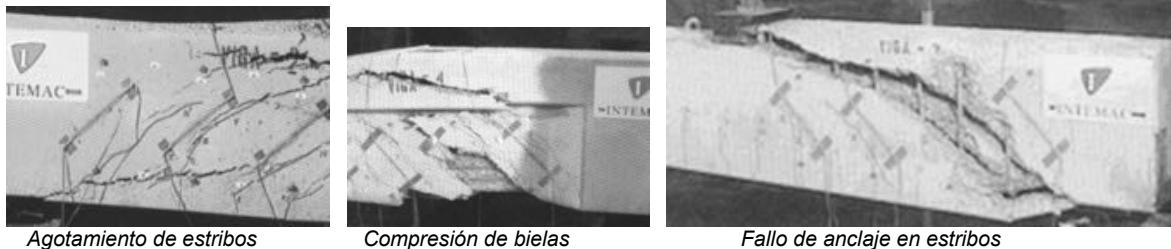


Siendo las fisuras representadas en (**A** y **B**) las explicadas anteriormente y debidas a una tracción excesiva diagonal, en los casos de hormigones de buena calidad pero con un insuficiente armado transversal (o excesiva separación de estribos).

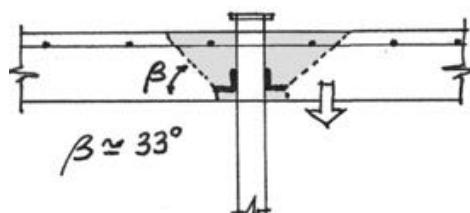
Son lesiones graves o muy graves si no existe armadura transversal (semiviguetas pretensadas). En cualquier caso se procederá al apuntalamiento que permita realizar las calas necesarias para identificar el origen con rigor, o bien realizar refuerzos con

hormigón armado o con platabandas de acero (de espesor menor de 3 mm) adheridas con resinas epoxi.

Ensayos a cortante (INTEMAC):



**Fisuración por punzonamiento:** Es un caso especial de fallo estructural debido a esfuerzos de cortante. Se produce generalmente en ábacos o capiteles de pequeño canto sobre pilares de poca sección, y también en apoyos de vigas planas de gran ancho y canto reducido sobre soportes metálicos de pequeña sección. La rotura se produce sobre la superficie de un tronco piramidal invertido, debido al agotamiento del hormigón (bielas en compresión) y/o al agotamiento de la armadura:



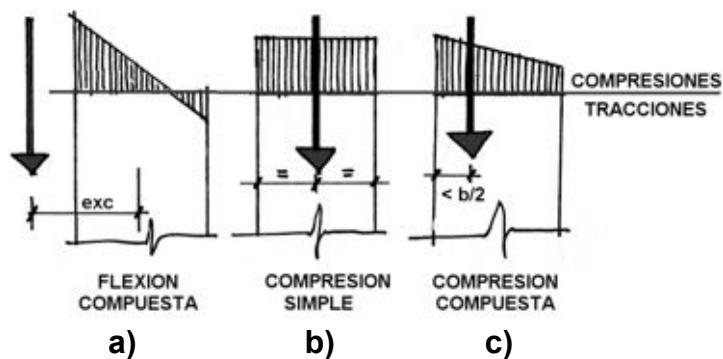
#### d) Fisuración longitudinal en forjados:

Suele aparecer en la cara superior del forjado, a ambos lados de las viguetas.

Se produce en la zona de máximo momento flector negativo, motivado por una insuficiente resistencia a flexión, a su vez originada porque no hay armadura de negativos, ésta es insuficiente o simplemente dicha armadura se ha desplazado hacia abajo antes de hormigonar.

Es una lesión muy grave, pues todo el momento flector ( $QL/8$ ) pasa al tramo positivo, sobrepasando la capacidad de la vigueta.

**2.1.2 Fallos por esfuerzos de flexocompresión:** Se dan mayoritariamente en pilares y pueden manifestarse de varias formas, dependiendo del tipo de solicitud que los produzca:

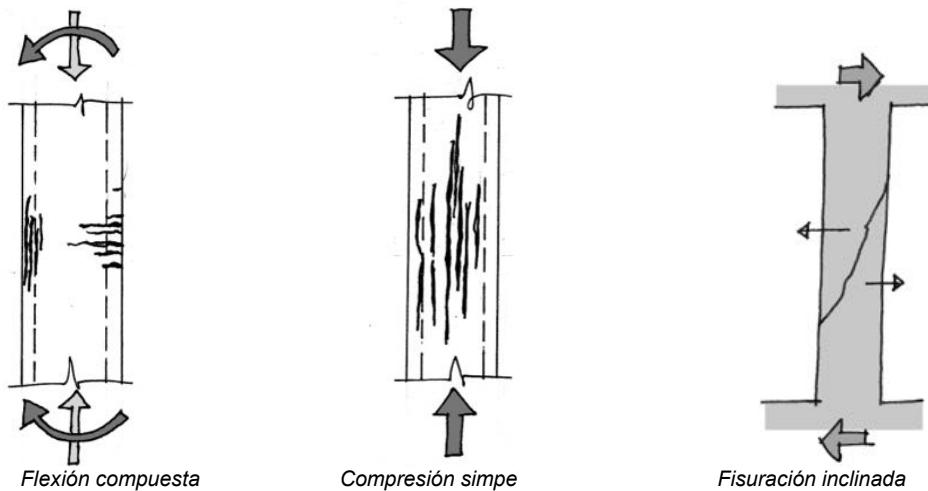


Así, en función de la excentricidad de la carga sobre el pilar (distancia entre el eje de aplicación de la carga y el eje del pilar), podemos distinguir tres casos:

**a) Flexión compuesta:** la excentricidad es muy grande ( $> b/2$ ), lo que equivale a dos posibles situaciones, muy frecuentes en pilares de esquina o de última planta:

- Un momento flector muy grande
- Un momento flector normal combinado con una pequeña carga

Este estado de solicitudes provoca un estado tensional de tracciones en una cara y compresiones en la otra. Si las tensiones de tracción son excesivas (cuanto mayor sea la excentricidad), se produce una fisuración típica, con fisuras perpendiculares al pilar que van cerrándose hacia el eje del mismo (ver figura).



En las fisuras de la cara traccionada, para anchos de fisura menores a 0,3mm, consideramos la lesión leve (solo repercute en la durabilidad del material), y para anchos superiores, estamos ante daños graves que aconsejan intervención inmediata.

En la cara de compresión se pueden generar (si la tensión es excesiva) fisuras mucho más peligrosas, por ser el inicio del colapso inmediato del pilar. Estas fisuras, de carácter grave, son finas y paralelas a la cara del mismo, siendo de evolución casi instantánea.

En cualquier caso, esta combinación de cargas puede provocar un pandeo progresivo del pilar: la deformación producida por tales tensiones, aumenta la excentricidad de la carga, lo que automáticamente provoca un aumento de las tensiones y así progresivamente hasta la rotura del pilar (salvo que se llegue a un estado de equilibrio).

**b) Compresión simple:** Este caso se produce cuando no existe momento flector de consideración, y en consecuencia todo el pilar está solicitado al mismo nivel de compresión. Cuando ésta tensión supera la admisible, se produce la fractura del hormigón (normalmente por pandeo local de la armadura), que es muy peligrosa pues no avisa.

Las fisuras son verticales, finas y paralelas, siguiendo la dirección de la armadura principal.

Si dichas fisuras aparecen en la parte alta del pilar, puede deberse al desplazamiento de los estribos hacia abajo por efecto del hormigonado.

Se considera una lesión muy grave, que cuando se detecta es obligado el desalojo inmediato del edificio.

**c) Compresión compuesta:** Es un caso intermedio entre los dos anteriores, en el que la excentricidad de la carga es pequeña ( $< b/2$ ) como consecuencia de la introducción de un momento flector poco importante.

Esto provoca tensiones variables de compresión, que de ser excesivas pueden originar la rotura del material siguiendo el patrón descrito anteriormente para la flexión simple, con la salvedad de que las fisuras se manifiestan en un lado del pilar y no cerca del eje.

No hay que confundir las fisuras producidas por compresión con las originadas por corrosión de las armaduras. Estas últimas se manifiestan siempre marcando los estribos y/o la armadura principal del pilar.

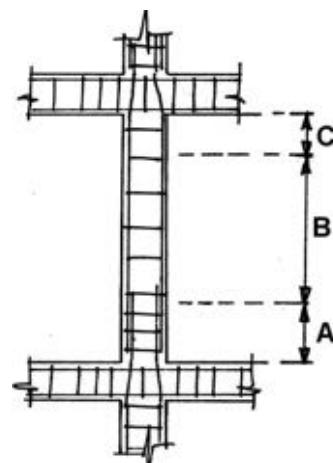
**d) Fisuración inclinada en pilares:** Es un tipo de fisura excepcional (muy rara), debida a *esfuerzo cortante*. Se considera una lesión muy grave, y por lo tanto se hace necesario una intervención inmediata.

**e) Fisuración por tracción en pilares:** Aunque en cualquier modelo estructural nunca se plantea que los pilares puedan funcionar a tracción (salvo casos muy singulares), es posible que ante estados de carga muy desequilibrados, junto a fuertes acciones horizontales (viento, sismo) y configuraciones muy descompensadas de pórticos, el resultado es que uno o más pilares puedan estar en un momento dado solicitados a tracción, provocando una fisuración típica en estos casos.

La fisura es perpendicular al eje del pilar, y recorre la totalidad del perímetro. Aunque la armadura no llega al agotamiento nunca, la matriz de hormigón queda fracturada, por lo que debemos considerar este daño de carácter grave, al perder el pilar su capacidad ante esfuerzos cortantes.

**f) Otras fisuraciones en pilares:** Otra posibilidad está relacionada con la mala calidad del hormigón debida a la ejecución. Suelen aparecer en la parte alta del pilar unas "escamas" producidas por una falta de resistencia a compresión.

Podemos diferenciar un tramo intermedio del pilar (**B**) en donde la calidad del hormigón suele ser la mejor. Sin embargo, en la parte inferior (**A**), la calidad puede ser mala debido a un insuficiente vibrado, y en la parte superior (**C**) también puede ser mala debido a un exceso de acumulación de agua y/o descenso de los áridos mayores. Esta mala



calidad normalmente se detecta por el aspecto rugoso / escamoso que presenta su superficie, y por el ruido sordo que se produce al golpear con un martillo.

Por ello, la mayoría de las fisuras por compresión simple se suelen manifestar en los tercios superior e inferior del pilar.

### **2.1.3 Deformaciones excesivas**

En la década de los años 70, y principios de los 80, se construyeron estructuras especialmente esbeltas (bajas relaciones canto/luz en vigas y forjados), que han originado serios problemas de deformaciones excesivas (flechas), que aunque en muchos casos no produzcan lesiones en la propia estructura, si que provocan multitud de daños en fachadas, particiones, pavimentos, cubiertas, etc.

Otro de los factores que ha introducido un aumento de ésta casuística, es el avance tecnológico, que proporciona materiales más resistentes, pero a la vez más flexibles, lo que genera en definitiva estructuras más flexibles (la introducción de los hormigones de alta resistencia puede provocar este efecto, puesto que aumentan la resistencia del material en un 300%, y sin embargo mantienen el módulo de elasticidad poco mayor al de un hormigón convencional).

En realidad, en muchos de los casos el problema no es la alta flexibilidad de la estructura construida, sino la mala adecuación de los sistemas constructivos que se apoyan en ella, que o bien son excesivamente rígidos, o bien no está contemplada la unión adecuada.

En ambos casos el origen puede estar en un defecto de diseño (proyecto) o un fallo de ejecución, o bien (y esto es lo más frecuente) una conjunción de ambos.

No hay que confundir este tipo de fisuras con las producidas por asientos diferenciales de la cimentación, pues a veces aparecen combinadas.

A continuación se relacionan una serie de lesiones producidas en unidades de obra diferentes de la estructura, que tienen cabida en éste capítulo por estar producidas por un mal diseño o ejecución de la propia estructura:

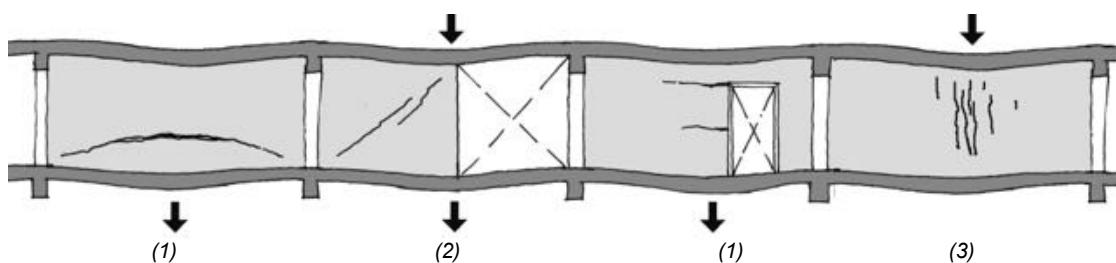
**a) Fisuración en tabiques y cerramientos:** Como se ha anticipado, la excesiva deformación de forjados y/o vigas, produce irremediablemente fisuras de todo tipo en los tabiques y cerramientos apoyados en ellas.

Este efecto se incrementa en aquellas fábricas de piezas recibidas con morteros poco flexibles (de cemento), y en fábricas de piezas grandes (paneles, placas suelo-techo, donde el nº de juntas por m<sup>2</sup> es pequeño, y en consecuencia las fisuras se concentran en grietas.

El motivo de la excesiva deformación de los forjados puede estar en:

- Un error de cálculo de la flecha del forjado (lo más frecuente), en el que no se han tomado en cuenta el tipo de fábrica (su peso y rigidez) que va a sustentar.

- Un error de cálculo de la sección del nervio (vigueta + capa de compresión), insuficiente para las cargas reales que va a soportar.
- Una inadecuada ejecución del forjado, debida a descenso de armaduras de negativos, vibrado insuficiente del hormigón en la interfase vigueta-nervio, etc.
- El acodalamiento de tabiques y cerramientos contra los forjados, antes de que éstos hayan adquirido la totalidad de la deformación debida al peso propio y cargas de albañilería, o bien por no dejar suficiente holgura en la junta cerramiento-forjado (este caso es muy frecuente, y provoca que los cerramientos y tabiques asuman parte de las cargas que deberían transmitirse a la estructura).



El tipo de fisura dependerá de si la deformación se ha producido en el forjado de apoyo (forjado inferior), en el forjado superior o en ambos.

Siguiendo lo representado en la figura anterior:

- (1) Deformación (flecha) solo en el forjado inferior: aparecerán fisuras horizontales en la parte baja del tabique, siguiendo más o menos forma de parábola cuyas ramas apuntan a los apoyos del forjado (vigas, muros, etc). En caso de particiones con huecos, se producirán fisuras horizontales partiendo por la zona más débil.
- (2) Deformación de ambos forjados: en éste caso las fisuras que aparecen son inclinadas, apuntando al apoyo del forjado inferior.
- (3) Deformación del forjado superior: aparecerán fisuras verticales de compresión normalmente en el tramo central del tabique entre apoyos.

La dificultad de clasificar el origen de las fisuras en tabiques y cerramientos estriba en que normalmente suelen combinarse varias causas de forma simultánea. En éste caso, podemos estar seguros de la excesiva flexibilidad de ambos forjados.

Es un daño que se considera *de tipo leve*.

**b) Descuadre de carpinterías:** Es también una lesión de tipo leve, que se detecta principalmente por la difícil apertura de puertas y ventanas.

Se procederá a cepillarlas (si son de madera), y a realizar una inspección pasado un tiempo para determinar una posible evolución del daño.

**c) Fisuración en las baldosas y marcado de juntas:** Cuando se detectan fisuras en el pavimento de un forjado, hay que fijarse en la posición y dirección de dichas fisuras:

Si éstas son perpendiculares a la dirección de las viguetas de forjado, la causa es muy probable que sea la deformación excesiva del mismo.

Si por el contrario las fisuras son paralelas a la dirección de las viguetas, la causa podría ser una deformación diferencial (ver 2.1.4).

No hay que confundir ésta patología con la producida por problemas de la pasta de agarre o derivados del sistema de colocación del pavimento.

En cualquier caso se considera el daño de *tipo leve*, aunque conviene profundizar en la inspección.

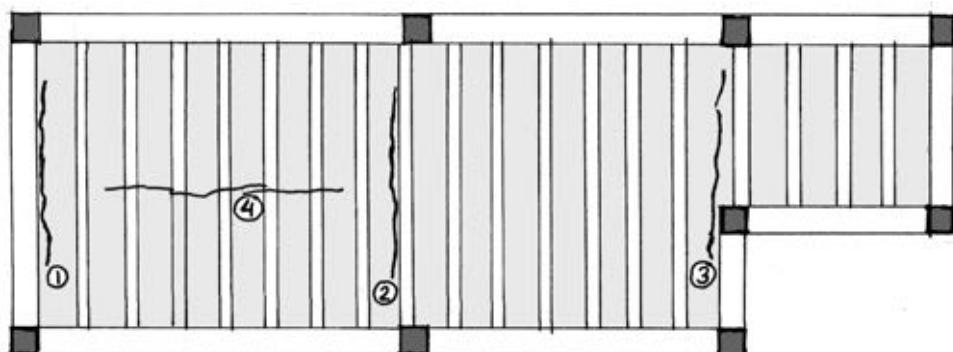
**d) Flechas apreciables a simple vista en forjados y vigas:** Normalmente su único efecto negativo es puramente estético, aunque conviene comprobar que dichas deformaciones, de darse en forjados de cubierta, no provienen de una carga excesiva provocada por embalsamientos de agua en azoteas, debido a un mal drenaje o atasco del sistema de evacuación de pluviales.

Es una *lesión leve*, pero conviene realizar un seguimiento de su evolución.

#### **2.1.4 Deformaciones diferenciales.**

Considerando que los forjados se forman de piezas más o menos independientes (de ahí la importancia de la capa de compresión armada con mallazo), y que éstas pueden tener en un momento dado diferente rigidez (igual longitud y diferente sección, o igual sección pero distinta longitud), encontramos aquí el origen de la deformación diferencial en aquellos puntos o zonas de unión donde se produce el cambio de rigidez.

Podemos clasificar las fisuras así provocadas, por su situación en el forjado:



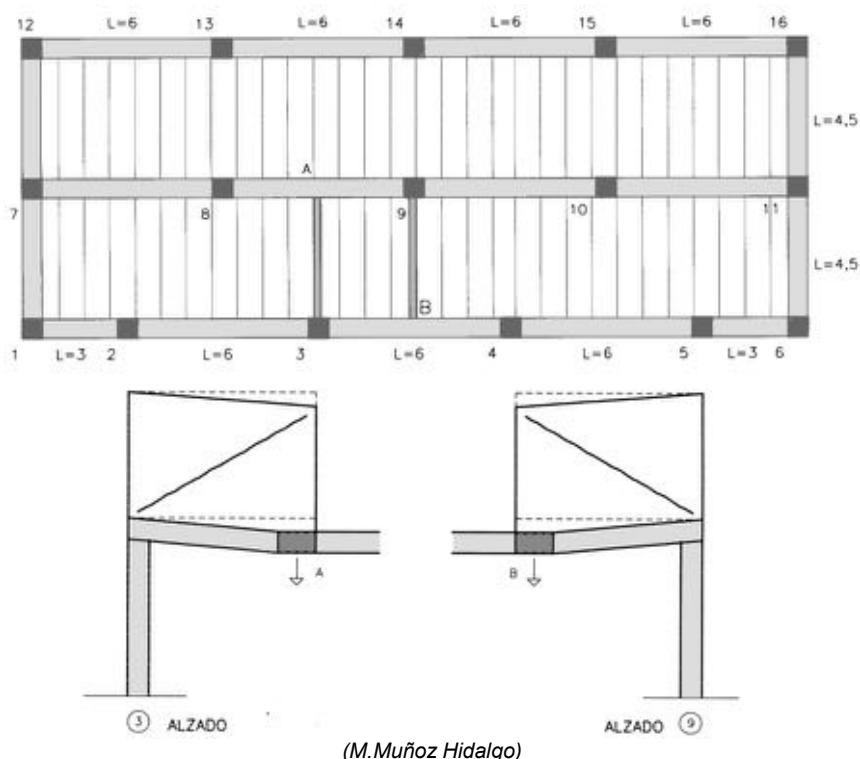
- (1) Cerca de zunchos o vigas de borde que soportan el cerramiento de fachada (zuncho más rígido que vigueta)

(2) Cerca de viguetas que apoyan cerca de pilares (vigueas con diferente grado de empotramiento, y por lo tanto de rigidez)

(3) En zonas donde hay un cambio importante de luz de forjado (la vigueta larga es menos rígida que la corta)

No se deben confundir con las fisuras perpendiculares a forjado (4), debidas a deformaciones excesivas, ni con las producidas por asiento diferencial de un pilar (parecidas a -2)

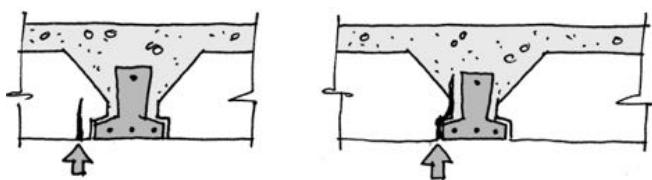
Las fisuras por deformación diferencial se producen normalmente siguiendo la dirección de las viguetas, y en las zonas más débiles de unión entre los elementos de diferente rigidez.



Otro tipo de deformación diferencial se produce entre pórticos paralelos cuyos pilares no están enfrentados (ver figura anterior). Las fábricas apoyadas de pórtico a pórtico, sufren distintos descensos en función de si apoyan en el centro de la viga o próximo a un pilar:

Esto puede ocasionar fisuras en tabiques y cerramientos, aunque tal problema puede solucionarse no retacando los tabiques al forjado superior, e incluso recibiendo las tres últimas hiladas con morteros de mayor plasticidad.

**a) Fisuración longitudinal en la junta entre vigueta o viga y la bovedilla:** En éste caso, la fisura es fácilmente detectable desde la cara inferior del forjado. En el caso de que la bovedilla esté muy adherida al hormigón del nervio, la fisura puede presentarse en el fondillo de la misma (figura de la izquierda.)



Es una *lesión de carácter leve*, pero se recomienda su seguimiento.

**b) Fisuración en baldosas y marcado de juntas:** Esta lesión se manifiesta en la cara superior del forjado, provocando fisuras en la zona más débil, que es la junta de baldosas, salvo que el mortero de agarre sea muy fuerte, en cuyo caso la fisura puede llegar a romper la pieza de solado.

Insistiendo en lo dicho anteriormente, no hay que confundir este tipo de fisuras (paralelas a forjado) con las producidas por deformación excesiva que son perpendiculares a las viguetas.

#### **2.1.5 Acumulación de cargas sobre el forjado.**

Cuando se ejecutan las particiones y cerramientos a tope contra los forjados o sin dejar suficiente holgura, o bien cuando la junta de remate es excesivamente rígida, entonces parte de las cargas que los forjados deben transmitir a las vigas y pilares, pasan directamente a través de tabiques y cerramientos hasta el forjado inferior, produciéndose una acumulación de cargas que es la causa de:

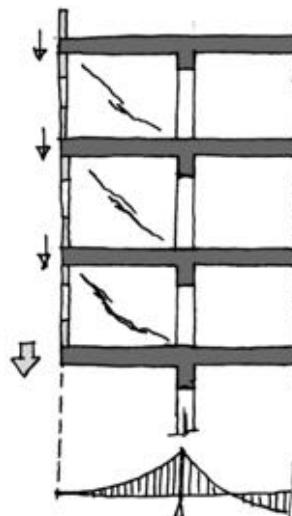
- Fisuras en tabiques y cerramientos debidas a que están asumiendo una función estructural
- Deformaciones excesivas en la estructura, debidas a un exceso de carga.

Cuando el edificio tiene en la planta mas baja un forjado sanitario (con cámara) o bien la planta baja es diáfana (sin particiones), entonces dicho forjado debe absorber todas las cargas acumuladas que se han transmitido a través de los tabiques y cerramientos, llegando a provocar en algunos casos su rotura.

Esta situación, que puede parecer estabilizada, es singularmente grave en edificios antiguos de estructura de madera, cuando se procede a la demolición de los tabiques (supuestamente "soportados") que puede provocar el colapso inmediato del edificio, al estar dichos tabiques realmente trabajando como muros de carga.

**a) Fisuración en tabiques y fachadas en voladizos:** Es una situación muy típica, que aunque de carácter leve, tiene una trascendencia económica fuerte por los costes de la reparación de las fachadas.

Se da en cuerpos volados y cerrados salvo en la planta inferior.



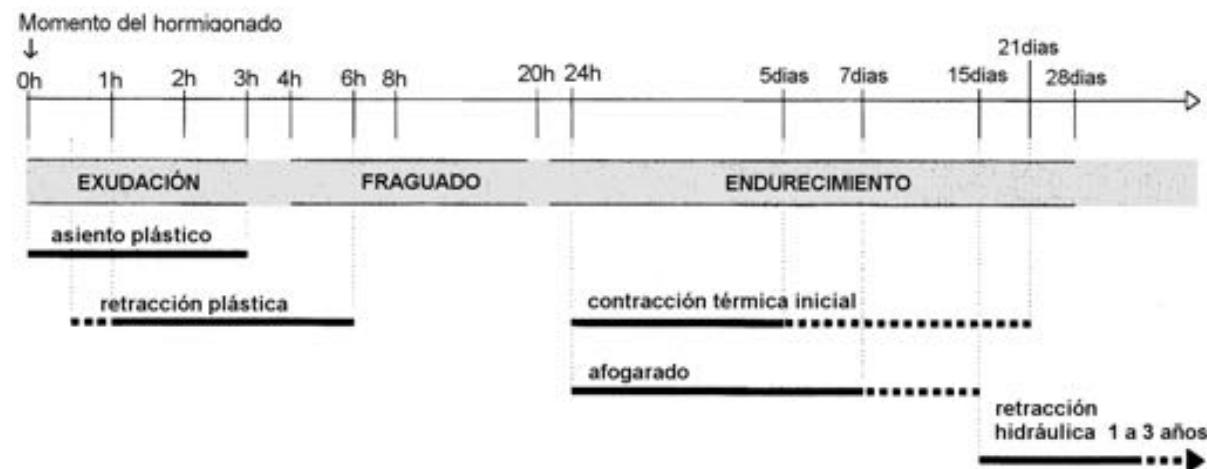
La acumulación de cargas que se produce y se transmite a través del cerramiento, provoca una deformación excesiva en el forjado inferior.

Las fisuras pueden presentarse tanto en el plano perpendicular al voladizo como en la propia fachada.

## 2.2 LESIONES Y SUS SÍNTOMAS EN EL HORMIGÓN DE ORIGEN HIGROTÉRMICO

Son lesiones cuyo origen está bien en cambios del contenido de humedad del hormigón, o bien en variaciones de la temperatura ambiente.

Aquí se incluyen también aquellas lesiones y síntomas debidos a roturas y/o averías de aquellos elementos constructivos que puedan provocar humedades en la estructura, como son bajantes, cubiertas, etc.



Desde la fase inicial anterior al fraguado, hasta una fase posterior al endurecimiento, el hormigón puede sufrir estados tensionales debidos a los cambios de volumen producidos por las variaciones de humedad interna del material, variaciones muy ligadas con las variaciones higrotérmicas del ambiente en que se encuentra.

### 2.2.1 Fisuras de formación anterior al inicio de la fase de endurecimiento del hormigón

Se producen desde el mismo momento del vertido del hormigón, hasta justo antes del comienzo de su endurecimiento, mientras el hormigón mantiene un estado plástico.

El proceso se debe fundamentalmente a la exudación que se produce del agua de amasado que asciende por gravedad (producéndose una decantación de las partículas sólidas como son los áridos y las partículas de cemento, todavía no hidratadas).

Aunque es un proceso normal, la cantidad de agua exudada depende de varios factores:

- El índice de evaporación: la exudación aumenta si el ambiente está seco y caliente, puesto que el agua que aflora a la superficie se evapora y facilita la salida del agua que todavía está en el interior.
- El contenido de agua: la exudación será mayor cuanto mayor sea la relación agua / cemento.
- El uso de retardadores de fraguado, que incrementan la duración del periodo de exudación.
- El grosor de la sección del elemento: la exudación generalmente es proporcional al grosor, lo que hace a las losas y soleras especialmente sensibles a éste problema.
- Un excesivo vibrado, que segregá el árido y las partículas cementicias del agua, favoreciendo su decantación.

La exudación se puede detectar por una capa de agua superficial, pero si ésta no aparece, no significa que el hormigón no esté exudando, sino que se está evaporando a medida que sale al exterior.

En cualquier caso, y debido a que normalmente entre las 6 y 24 primeras horas desde el hormigonado no se produce ningún tipo de fisuración debido a retracción o asentamiento plástico, hay que verificar las nuevas fisuras que se produzcan después de éste periodo y antes del endurecimiento, pues se deberán a otras causas.

### a) Asentamiento plástico del hormigón

Una vez vertido el hormigón en el encofrado, y durante el periodo anterior al inicio de su fraguado y endurecimiento (3 primeras horas, dependiendo de los aditivos y temperatura), el hormigón está en estado plástico, y tiende a asentarse expulsando al exterior por exudación el agua de amasado que no necesita para su hidratación, puesto que el agua tiene menor densidad que la pasta de cemento.

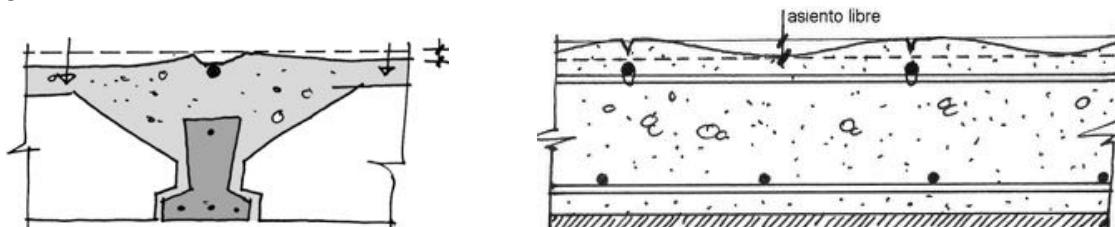
Esto origina el descenso del plano horizontal superior de hormigonado, sobre todo cuando la pieza hormigonada tiene un espesor considerable.

A parte de la variación de volumen, la lesión se provoca cuando existe la presencia de armaduras y otros elementos que impiden dicho asentamiento, formándose fisuras alrededor de barras y estribos (generalmente a nivel de la cara inferior de las mismas). Este tipo de fisuras suelen tener poca profundidad y aunque no suelen afectar al comportamiento mecánico de la pieza, deben ser reparadas para evitar futuras corrosiones de las armaduras.

**a.1) Fisuración longitudinal en forjados o losas marcando la posición de la armadura de negativos:** El asentamiento plástico del hormigón se ve coartado por

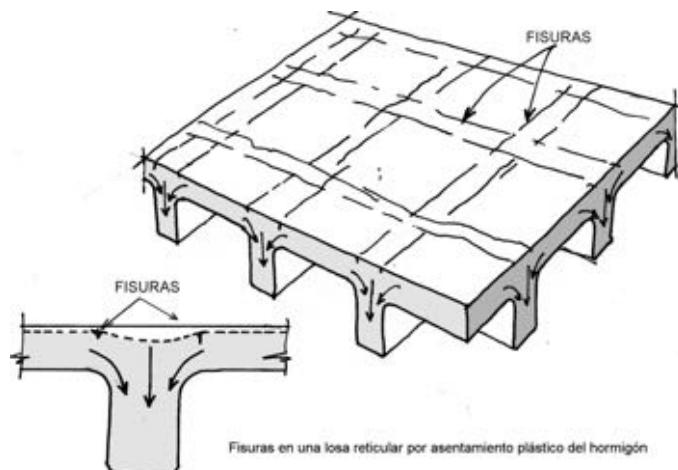
la presencia de las barras de armado de negativos, produciéndose fisuras en la cara superior de dichas barras. Son fisuras anchas pero de poca profundidad, que aunque no influyen mucho en las características resistentes del forjado, pueden constituirse en vías de penetración de agentes corrosivos.

Son fisuras que no se detectan con el solado terminado, y se consideran de daño leve.



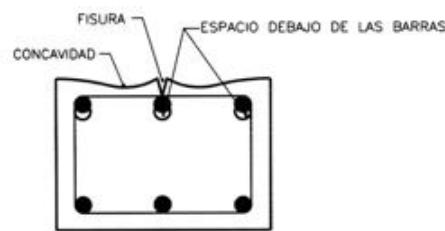
Asentamiento plástico en forjados y en losas

**a.2) Fisuras coincidiendo con cambios bruscos de sección:** En las zonas de mayor grosor (nervios) se producirá un mayor asentamiento, por lo que son fisuras en profundidad:



**a.3) Fisuración longitudinal o transversal en VIGAS marcando la armadura principal o los estribos:**

Su origen está en el descenso del hormigón que queda impedido por las armaduras de la viga, proceso que se ve reforzado por la presencia del encofrado. Igual que la anterior, es de carácter leve aunque puede afectar a la durabilidad (corrosión)

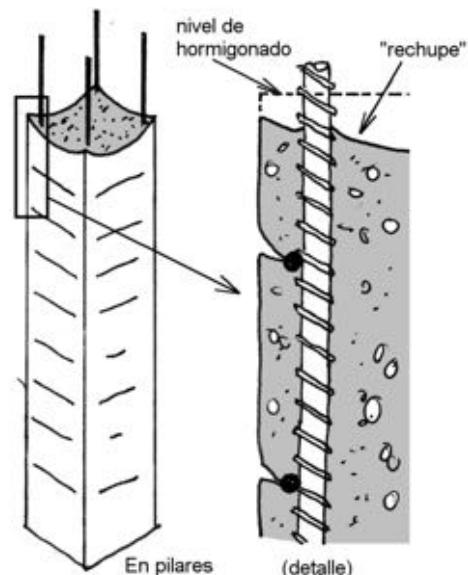


Fisuras marcando armadura longitud. (M. Muñoz Hidalgo)

**a.4) Fisuración transversal en PILARES marcando la posición de estribos:**

El proceso de fisuración es similar al anterior, localizado en los estribos de armado, sobre todo cuando éstos no guardan una separación (recubrimiento) suficiente con el encofrado.

Son fisuras anchas y poco profundas, de carácter leve, pero que pueden influir mucho en la durabilidad de la pieza, que en el caso de pilares puede tener gran trascendencia. Suelen aparecer en la parte superior del pilar.

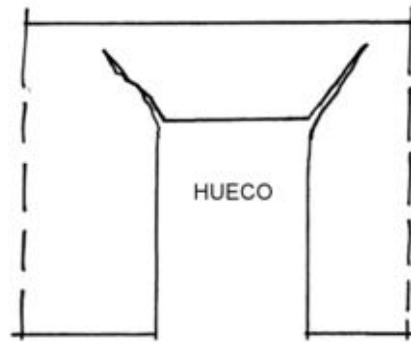


#### a.5) Fisuración en muros de H.A.

En aquellos casos en que se realiza el hormigonado de muros de H.A. con huecos, en toda su altura, pueden producirse fisuras en prolongación de las jambas de los huecos debidas a un asentamiento plástico del hormigón, en función de la diferente profundidad de hormigonado.

*Remedios:*

- Hormigonar con intervalos entre las distintas profundidades del hormigón.
- Colocar bien las armaduras (recubrimientos)
- Dosificación correcta de finos para evitar la exudación.
- Rebajar la relación A/C.
- Revibrado del hormigón pasadas la  $\frac{1}{2}$  o 1 hora, según velocidad de fraguado.



En muros de H.A. con huecos

#### b) Retracción plástica del hormigón

Es un fenómeno que se produce en las primeras 6 primeras horas después del hormigonado, antes del inicio del fraguado.

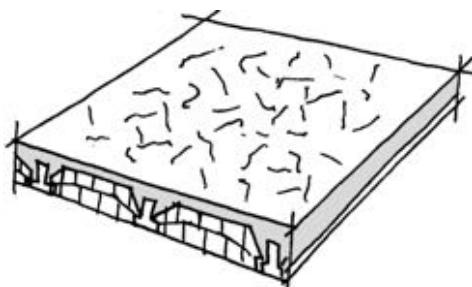
Solo afecta a la superficie exterior de la pieza hormigonada, y consiste en la rápida evaporación del agua de la masa, debida a la alta temperatura combinada con vientos fuertes y secos.

Esta pérdida de agua superficial puede ser en volumen mayor que el agua que exuda el hormigón por el proceso de asentamiento plástico, en cuyo caso la superficie queda totalmente seca y se originan unas tensiones capilares en la superficie que provocan la aparición de tensiones de tracción que el hormigón no es capaz de absorber.

La consecuencia final es la fisuración superficial del hormigón, fisuras que son amplias pero poco profundas ( $0,2 \rightarrow 0,4\text{mm}$ ), y que son típicas de elementos superficiales como forjados, losas, soleras, muros, etc.

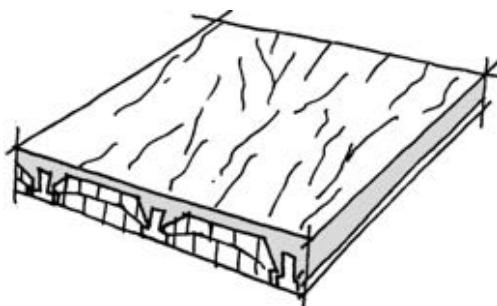
La posición y dirección de éstas fisuras suele ser la de las zonas de menor cuantía de armado y las zonas de cambios de espesor.

**b.1) Fisuras distribuidas aleatoriamente en la cara superior del forjado o losa:**



Suelen aparecer en piezas de espesor uniforme, siguiendo una distribución aleatoria y formando ángulos más o menos rectos. Son de carácter leve, aunque pueden afectar a la durabilidad del material.

**b.2) Fisuras paralelas en la cara superior del forjado o losa:**



Son fisuras a modo de "oleaje", y son consecuencia de un insuficiente recubrimiento del armado superior de la losa o del mallazo de la capa de compresión en forjados, que facilita el proceso de retracción. También pueden deberse a un fuerte viento soplando siempre en la misma dirección.

**2.2.2 Fisuras de formación posterior al inicio de la fase de endurecimiento del hormigón.**

Este periodo, que finaliza normalmente a los 28 días después del vertido, tiene su inicio después el fraguado (a las 20-24 horas del vertido), cuando todo el cemento está completamente hidratado.

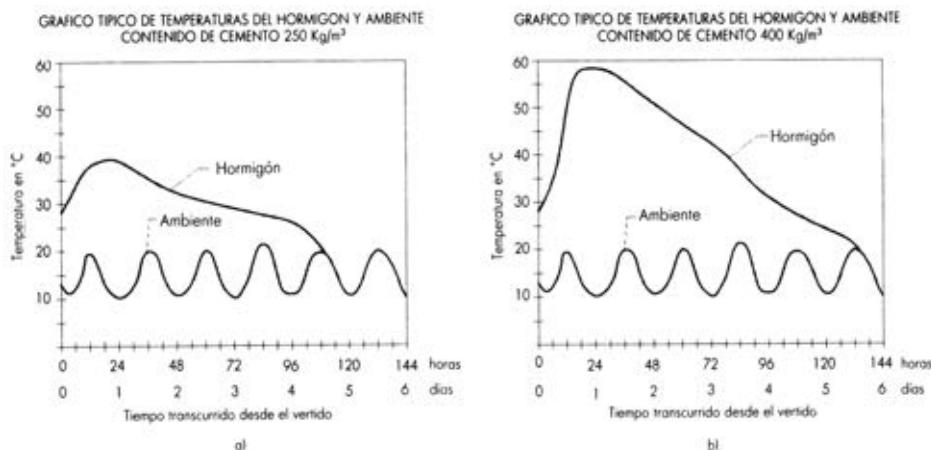
En este periodo se dan dos tipos de lesiones típicas:

- a) *Las fisuras de contracción térmica inicial*
- b) *Las fisuras de afogarado (o fisuras en mapa).*

A partir del periodo de endurecimiento, y hasta varios años, se pueden producir las fisuras de retracción de secado (de retracción hidráulica), que serán totalmente irreversibles (punto 2.2.3).

**a) Fisuras por contracción térmica inicial.**

En el proceso de hidratación del cemento se producen unas reacciones exotérmicas, que generan gran cantidad de calor en la masa y en consecuencia un aumento de volumen.



Cuando se inicia el proceso de endurecimiento, desaparece el aporte de calor y en consecuencia la masa hormigonada empieza a enfriarse desde fuera hacia dentro. Esto genera tensiones internas en las zonas expuestas al exterior, pues mantienen una temperatura más baja, o bien en zonas adyacentes a masas de hormigón puesto con anterioridad, que además coaccionan la contracción producida.

Las fisuras provocadas por éste efecto pueden darse por dos tipos de coacciones que impiden la natural contracción del hormigón durante su enfriamiento:

- Coacción externa: cuando se hormigona una pieza contra otra ya hormigonada y endurecida, se generan tensiones por dilataciones diferenciales en el plano de contacto de los dos hormigones, debido a la diferencia de temperaturas de éstos.
  - Coacción interna: Si se produce un enfriamiento rápido de la superficie, se produce un alto incremento de temperatura entre el núcleo del hormigón y dicha superficie, generando tensiones de compresión en el interior y de tracción en la superficie, lugar este último donde se producen las fisuras. Por ello, la colocación de armadura de piel en la pieza hormigonada puede impedir la aparición de éste tipo de fisuras.

El salto térmico máximo entre el interior y la superficie, se produce entre el primer y quinto día después del hormigonado, y su magnitud depende fundamentalmente de:

- La temperatura inicial del los materiales y la temperatura ambiente (es decir, el salto térmico inicial).
  - Las dimensiones de los elementos hormigonados: o su coeficiente de forma, que determina la capacidad de enfriamiento de la pieza. En general, piezas voluminosas producen mayor calor interno pues tardan mas en enfriarse.

- El curado: si se realiza con agua muy fría, puede producirse un choque térmico, y una contracción rápida de la capa superficial.
- Un desencofrado prematuro provocará un rápido enfriamiento de la superficie del hormigón, debido al salto térmico mayor que se produce al eliminar el abrigo que proporciona la madera del encofrado.
- El tipo de encofrado: los de madera guardan mejor el calor que los de acero.
- El contenido de cemento: cuanto mayor sea, más calor se genera (este es el gran problema de los hormigones de altas resistencias, que se soluciona en gran medida con la adición de cargas de fibra de vidrio).

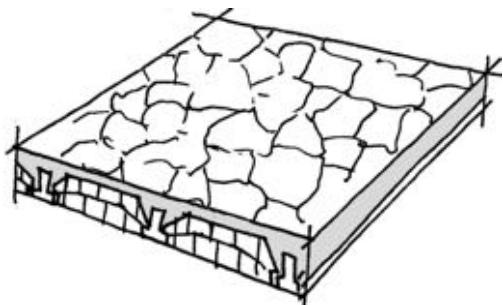
Estas fisuras pueden confundirse con las de retracción hidráulica (punto 2.2.3), pues pueden aparecer combinadas.

### b) Afogarado (fisuración en mapa)

Este fenómeno, que aparece una vez finalizado el fraguado e iniciada la fase de endurecimiento (de 1 a 15 días después de hormigonar). Se manifiesta sobre todo en superficies horizontales sobre todo si son de poco espesor. Las fisuras se deben a una desecación rápida, normalmente producida por:

- Calor excesivo
- Viento seco
- Curado incorrecto

Estas condiciones provocan unas tensiones superficiales en el hormigón, que originan una fisuración muy característica:

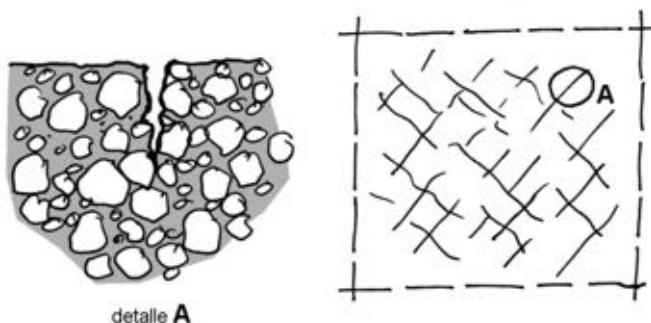


Son fisuras finas y superficiales (de 0,05 a 0,5mm de ancho), distribuidas en una especie de red, siguiendo los contornos de los áridos, formando cuarterones de 5 – 10 cm de lado, y de poca profundidad (menos de 1 cm), y formando encuentros más o menos perpendiculares.

*Son lesiones de carácter leve.*

Aunque su procedencia es similar a la de las fisuras provocadas por retracción plástica, éstas aparecen en el hormigón en estado plástico, mientras que el afogarado se produce en el hormigón ya fraguado.

Es un fenómeno propio de hormigones con dosificaciones altas en cemento, exceso de finos y una alta relación agua / cemento.



*Consejos básicos para prevenir el afogarado:*

- Dosificaciones bajas de cemento y granulometrías con pocos finos.
- Relación agua / cemento lo más baja posible que admita el sistema de compactado y vertido utilizado.
- Compactar bien el hormigón (pero evitar exceso de vibrado).
- Regar con frecuencia en forma de lluvia durante el curado.
- Evitar acabados superficiales pulidos (con exceso de pasta de cemento en la superficie).

*Posibles remedios si se ha producido el afogarado:*

- Si se produce en las primeras horas, se debe frataras de nuevo la superficie
- También puede sellarse con lechada de pasta pura para evitar la futura corrosión de la armadura.

### **2.2.3 Lesiones producidas en el hormigón endurecido.**

#### **a) Retracción hidráulica del hormigón.**

La evaporación del agua que contiene el hormigón, no cesa con el endurecimiento de éste (retracción plástica), sino que perdura durante mucho tiempo (hasta 3 y 4 años) aunque siguiendo diferentes mecanismos y con efectos diferentes.

El agua contenida (y atrapada) en la red de capilares del hormigón, puede emigrar a la superficie si está en un ambiente no saturado que provoca la evaporación de la zona superficial.

Este fenómeno se traduce en una pérdida de volumen del hormigón que provoca unas tensiones internas, las cuales pueden llegar a producir fisuración si existe algún elemento que impida dicha contracción (acortamiento) de la pieza, puesto que las tensiones internas sobrepasan la tensión de rotura a tracción del hormigón.

Los motivos de la retracción hidráulica podemos encontrarlos en:

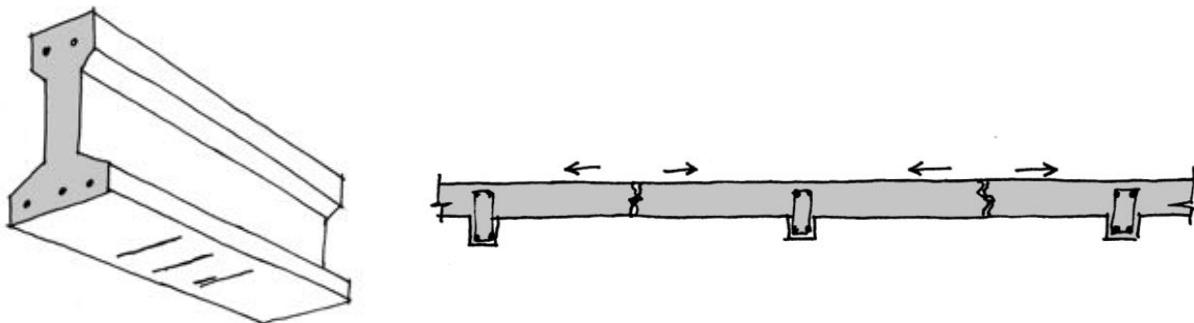
- Un curado insuficiente (falta de agua en la superficie o evaporación excesiva)
- Una relación agua / cemento demasiado alta (provocada frecuentemente por aumentar la plasticidad del hormigón a base de añadir agua de amasado)

Son fisuras superficiales, finas y uniformes (de 0,05 a 0,2 mm), con un trazado rectilíneo y regular, que no afectan al comportamiento estructural de la pieza, pero que hay que reparar, para evitar una posible corrosión de la armadura (que ha podido quedar expuesta):

- Si el ancho de fisura es menor de 0,4mm, no es necesaria la reparación, pues se produce una “auto cicatrización”, debida a la acumulación de depósitos cárnicos, suciedad, etc.
- Si el ancho de fisura es mayor de 0,4mm, se recomienda emplastecer la superficie, previa limpieza, y con la aplicación de una malla de fibra de vidrio (resistente a los álcalis).

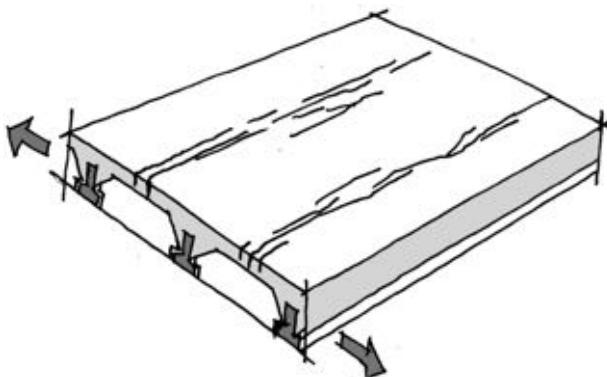
#### **a.1) Fisuración transversal en forjados:**

En forjados con vigas que suponen una coacción a la retracción, se produce una fisuración que se reparte en toda la pieza:



No son graves, salvo en los casos de rotura total.

#### **a.2) Fisuración longitudinal siguiendo la dirección de las viguetas:**



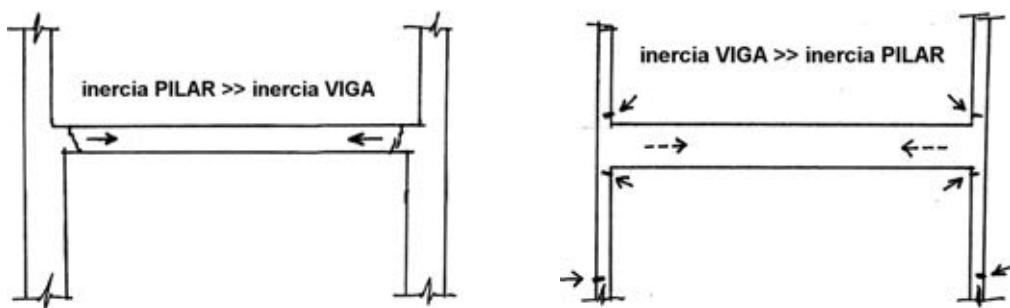
Cuando la coacción a la retracción no son las vigas, sino zunchos sobre muros laterales o vigas de cambio de dirección de forjado, entonces la fisura sigue la dirección de la vigueta y se sitúa en la zona más débil (capa de compresión) pudiendo llegar a seccionarla completamente.

*Son lesiones de carácter leve.*

**a.3) Fisuración transversal en vigas y pilares:**

En pórticos de H.A., la rigidez y/o sección relativa entre vigas y pilares pueden ocasionar dos situaciones diferentes de retracción hidráulica:

- Pilares más rígidos que vigas: los pilares funcionan como coactores, provocando la fisuración en las vigas (figura izquierda)
- Vigas más rígidas que pilares: es el caso contrario. La fisuración se produce en los pilares (figura derecha)



**b) Fisuración debida a variaciones térmicas.**

Las variaciones térmicas producen lesiones que no siempre comprometen la estabilidad del edificio, aunque siempre tienen incidencia en los elementos no estructurales, como son tabiques y cerramientos.

Estas lesiones suponen cerca de un 44% de los siniestros registrados, de los que un 25% afectan a cubiertas planas (por entrada de agua) y elementos de H.A. al exterior (balcones, frisos, cornisas, etc).

Es un fenómeno físico muy conocido el que los materiales cambian su volumen con las variaciones de temperatura del ambiente en el que se sitúan.

La variación de dimensión del hormigón por efecto de la temperatura es del orden de 0,01 mm/m y  $^{\circ}\text{C}$  (coef dilat=  $10^{-5}$ ), muy similar al comportamiento del acero, lo que les hace muy compatibles.

Tan importante es la magnitud del salto térmico del ambiente exterior, como la velocidad del ciclo, pues tiene que haber suficiente tiempo para que tal variación térmica afecte al interior de la pieza. Como dato, una variación externa de  $10^{\circ}\text{C}$  en una hora, afecta en el hormigón  $1^{\circ}\text{C}$  a 10 cm de profundidad. A 30 cm de profundidad, necesitaríamos 12 horas para obtener el mismo efecto.

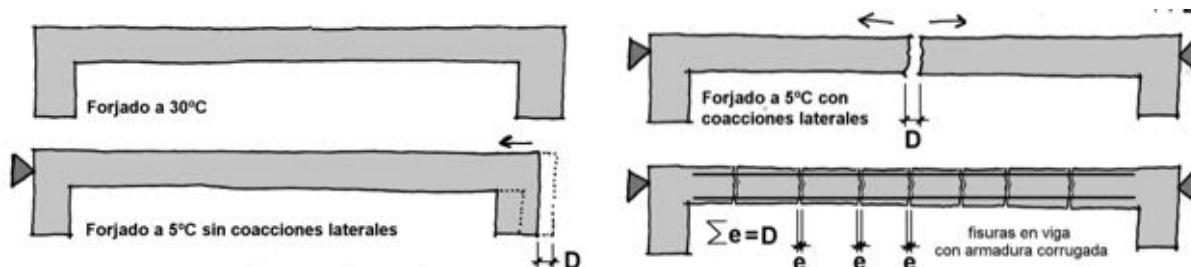
Por ello, los saltos térmicos estacionales (invierno-verano) son los que más inciden en el problema, y los elementos más afectados son los que están en contacto con el exterior, y más aún los que están expuestos directamente al sol (caso de las azoteas).

En el caso del hormigón, hay una serie de situaciones típicas que pueden provocar fisuraciones debidas a las dilataciones y contracciones:

- Durante el proceso de fraguado en piezas de hormigón de gran volumen, que son capaces de desprender gran cantidad de calor de hidratación.
- Durante su vida normal, debido a la variación de temperatura del ambiente que provoca dilataciones y contracciones del hormigón.
- En hormigones atravesados por conductos que generen calor (tuberías de agua caliente, conductos de evacuación de humos de calderas, etc).

Las situaciones en que los saltos térmicos pueden provocar fisuración en elementos estructurales, son:

- En los tramos horizontales y centrales en estructuras de gran longitud, si no existen juntas de dilatación adecuadas. Las fisuras se producen en el periodo frío, debido a la incapacidad del hormigón para absorber las tensiones de tracción.
- En la cabeza y base de los pilares (en sus caras traccionadas) que unen vigas / forjados sometidos a saltos térmicos importantes (p.e. forjados de cubierta no aislados).



El cambio de volumen en un elemento estructural, provoca un estado tensional que puede originar fisuras e incluso la fractura del elemento cuando existen otros elementos que impiden dicho cambio.

Podemos clasificar el tipo de fisuración en función de su localización y forma:

### b.1) Fisuración en forjados de cubierta:

Estos forjados son los que están sometidos a las mayores variaciones térmicas (día-noche y verano-invierno). Las fisuras se localizan en los vanos de forjado y pueden llegar a seccionar las viguetas.

En los casos en que no exista aislamiento de cubierta, el problema generalmente se agrava, por lo que se hace necesaria su inspección.

Son lesiones que pueden ser graves si afectan al comportamiento estructural del forjado.

**b.2) Fisuración en la unión de forjado de cubierta con el antepecho:**

Es uno de los casos más frecuentes, originado por la falta de junta entre dichos elementos. El empuje directo del forjado sobre el peto cuando dilata, provoca casi siempre la rotura del peto en su base. Es una fisuración muy parecida a la sufrida en las particiones por el empuje del pavimento (p.e. parqué) cuando no se deja suficiente junta). No se debe confundir éste tipo de lesión con el producido por el empuje del hormigón de pendiente (por dilatación) contra el peto perimetral.

Hay que tener especial cuidado con el posible desprendimiento de material al exterior del edificio.

**b.3) Fisuración en la unión del forjado de cubierta con la fachada:**

El origen de la lesión es el mismo que en los petos de cubierta, pero aquí la fisura se manifiesta en líneas horizontales, sobre todo en las esquinas de la fachada al no poder éstas absorber las dilataciones del forjado. Es un daño de carácter leve.

**b.4) Fisuración vertical:**

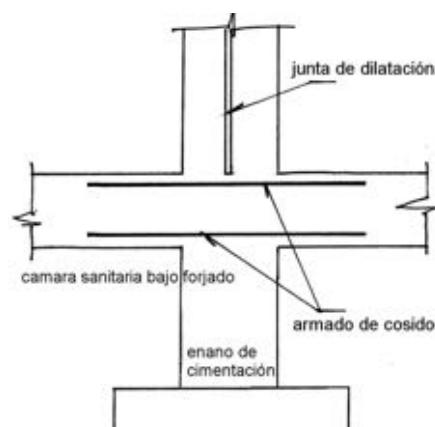
En fachadas, debida a la insuficiencia o falta de juntas de dilatación (o mala ejecución de las mismas). Dichas fisuras suelen localizarse en los puntos más débiles, que suelen ser las esquinas de puertas y ventanas. Es también una lesión de carácter leve.

Para prevenir éste tipo de lesiones, se hace necesario planificar correctamente las juntas tanto en estructura como en el resto de elementos soportados por la misma. Estas juntas se diseñarán y emplazarán respondiendo a dos fenómenos:

- Juntas por retracción del hormigón
- Juntas de dilatación

Muchas veces se hacen coincidir estas juntas con las juntas de construcción.

Cuando las juntas de dilatación se solucionan con la duplicación de pilares, es conveniente reforzar aquellos nudos donde desaparece la junta (de existir) para evitar la propagación de la junta en forma de fisura (ver figura) →



Existe el equívoco de que las juntas de dilatación estructural deben distanciarse de 20 a 30m, pues se han registrado casos de fisuración cuando se superan dichos valores. La realidad es que la distancia debe calcularse en función de las

características de las unidades de obra ligadas a la estructura, optándose por la separación mínima, o mejor estableciendo juntas diferentes:

*Distancias de separación entre juntas de dilatación en diferentes unidades constructivas:*

Estructuras de H.A.	50 – 90 m
Cerramientos de ladrillo	12 – 16 m
Azoteas	7 – 10 m

### c) Fisuración debida a la acción de la helada.

En climas con heladas fuertes (no es el caso de la mayor parte de España), el agua intersticial del hormigón puede, en caso de helada, aumentar su volumen hasta un 9%, lo que provoca unas tensiones internas que originan la fisuración y desprendimiento del material (recubrimiento).

Debido a que el agua en los poros tiene su punto de congelación más bajo, este es un problema a tener en cuenta únicamente en hormigones mal dosificados (alta relación A/C) y con temperaturas externas por debajo de los –5°C.

Este fenómeno solo afecta a la superficie del hormigón, cuando éste se sitúa al exterior o bien carece de aislamiento térmico.

Los factores que mas inciden en este problema son:

- La exposición a la lluvia. Las superficies horizontales son las mas afectadas, al recibir el agua de lluvia y mantenerla el tiempo suficiente para que se filtre en el hormigón.
- La porosidad, que aumenta el riesgo de heladidad.
- El número de ciclos hielo-deshielo. Se necesitan varios para producir un deterioro.
- La relación agua-cemento, que afecta a la porosidad del hormigón.

Desde el punto de vista de la seguridad son lesiones de carácter leve, pero pueden ser graves en el tiempo pues afectan seriamente a la durabilidad del material, al dejar al descubierto las armaduras.

### d) Fugas en instalaciones y fallos de impermeabilización.

Las roturas de bajantes, canalones, conductos de distribución de agua y calefacción, así como roturas de la impermeabilización de la cubierta, provocan humedades en la estructura que pueden ocasionar algún tipo de lesión o deterioro del hormigón.

Manchas de humedad: Si detectamos que la humedad observada no es de carácter esporádico, podemos afirmar que a medio-largo plazo puede llegar a ocasionar problemas en el hormigón (como se verá en el punto siguiente).

## 2.3 LESIONES Y SUS SÍNTOMAS EN EL HORMIGÓN DE ORIGEN QUÍMICO.

Normalmente, son lesiones debidas a diversas reacciones químicas que se dan en presencia de agua, entre los agentes externos (corrosivos) y los agentes reactivos de propio hormigón.

El hormigón posee una densa red de conductos capilares originados por el agua sobrante de la hidratación del cemento, y sin embargo necesaria para el amasado de la pasta.

Parte del agua sobrante queda atrapada en la matriz de hormigón y el resto consigue salir al exterior por exudación y evaporación a lo largo del tiempo, dejando vacíos los capilares que ocupaba.

Si a ésta red de capilares sumamos las burbujas de aire que queda ocluido en el proceso de amasado, obtenemos una red de conductos comunicados que permiten la entrada de los agentes externos (disueltos en agua) hasta casi cualquier punto de la pieza hormigonada, y que son los que producen ataques al hormigón y a las armaduras.



Esta red de poros y conductos capilares constituye la porosidad del hormigón, característica medible y que no solo afecta a su densidad sino también a su resistencia y permeabilidad, y en consecuencia a su durabilidad.

La primera conclusión que extraemos es que un hormigón compacto será siempre más resistente, impermeable y durable que uno poroso. Por ello intentaremos en la medida de lo posible utilizar en la fabricación del hormigón relaciones agua / cemento lo más bajas posibles que nos permita el tipo de hormigonado empleado.

Para obtener una suficiente plasticidad, optaremos siempre por la adición de superfluidificantes (plastificantes) en vez de añadir agua de amasado.

Como ejemplo tenemos los hormigones alta resistencia, basados en la adición de humo de sílice y súper plastificantes, que sumados a granulometrías específicas y técnicas especiales de amasado, nos permiten obtener hormigones con resistencias superiores a los 200 Mpa.

### **2.3.1 Deslavado / lixiviación**

Cuando existe un lavado continuo del hormigón por aguas puras o carbónicas, se produce una descalcificación de la matriz de cemento, que provoca una disgregación del mortero y el consecuente desmoronamiento del elemento estructural. Uno de los síntomas es la aparición de eflorescencias en la superficie.

El mismo efecto puede estar provocado por ácidos y sustancias grasas, los bicarbonatos y las aguas ácidas.

Las medidas preventivas más eficaces (de conocerse la existencia de alguno de éstos agentes en el medio) consisten en la utilización de cementos con adiciones puzolánicas y siderúrgicas, de una alcalinidad menor.

Si la presencia de agentes es extrema, se deberá además proteger la superficie del hormigón (y evitar la penetración) con pinturas y recubrimientos epoxi).

### **2.3.2 Ataque químico árido-alcali.**

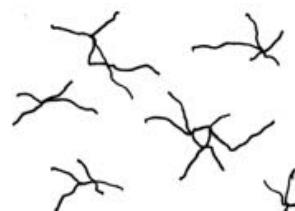
Algunos áridos empleados en la confección del hormigón contienen sílice pobemente cristalizada o amorfa, que puede reaccionar con los álcalis propios del cemento. Esta reacción, en presencia de agua, produce un gel que es expansivo (silicatos alcalinos) y que absorbe agua, pudiendo provocar la fisuración y desmoronamiento del hormigón.

Los síntomas son muy parecidos a los del ataque por sulfatos, salvo que en éste caso aparecen por exudación unos geles blanquecinos. El periodo en el que suelen aparecer los síntomas está comprendido entre los dos y cinco años de edad del hormigón.

Esta reacción casi no se suele dar en nuestro país, debido a la inexistencia de áridos reactivos (por lo menos conocidos), pero en caso de utilizar éste tipo de áridos, se recomienda la utilización de cementos con menos del 0,6% de óxido de sodio equivalente, además de la adición de puzolanas.

Fisuración en estrella: Se caracteriza por:

- Su forma estrellada
- Aparición (por exudación a través de los capilares) de un gel cristalino
- Hinchamiento de la superficie del hormigón.



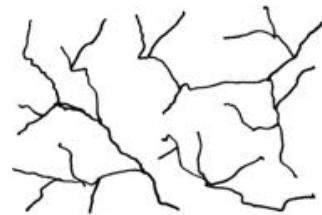
### **2.3.3 Ataque químico por sulfatos.**

Es un proceso parecido al anterior, pero provocado por la reacción de los sulfatos contenidos en el agua de amasado con algunos componentes del cemento (el aluminato tricálcico del cemento Portland).

En ésta reacción se producen unas sales (estringita) que son muy expansivas, y que originan la fisuración y disgregación del hormigón.

Los sulfatos pueden encontrarse también en el agua del propio terreno en contacto con el hormigón, o bien en vertidos de aguas provenientes de redes de saneamiento.

Fisuración de distribución aleatoria: Se caracteriza tanto por su distribución, como por la aparición de depósitos de sales blanquecinas en los bordes de las fisuras.



El **agua de mar** contiene sulfatos, ion magnesio y cloruro sódico entre otros agentes. Cada uno de ellos es agresivo para el hormigón, pero en combinación se producen reacciones que minimizan su efecto:

- Los cloruros rebajan la agresividad de los sulfatos
- El ión magnesio precipita como hidróxido colmatando los poros del hormigón

Solamente, si el contenido de aluminatos del cemento es alto, puede llegarse a una degradación del hormigón por ataque de los sulfatos, por lo que se deberá utilizar cementos apropiados si la pieza de hormigón va a estar en contacto con el agua de mar:

- Cementos de bajo contenido en aluminatos (P-Y)
- Cementos con adiciones puzolánicas y siderúrgicas

#### **2.3.4 Sales amoniacales y magnésicas**

Reaccionan con el hidróxido cálcico de la fase cementicia, produciendo sales cálcicas que precipitan y originan la progresiva descalcificación del cemento.

Todos los cementos son atacables por éste tipo de sales, por lo que si se conoce su existencia en el medio, se deberá proteger al hormigón con recubrimientos impermeables.

#### **2.3.5 Carbonatación**

Aunque se trata de un proceso de alteración química del hormigón debida a la reacción ácida entre el CO<sub>2</sub> del aire ocluido en la red capilar y la cal libre del cemento, se tratará en el capítulo siguiente, puesto que sus efectos sobre el hormigón afectan a su nivel de PH y no a su resistencia, perosin embargo, tiene una gran trascendencia en la corrosión de las armaduras.

### **2.4 LESIONES Y SUS SÍNTOMAS EN LA ARMADURA DE ORIGEN ELECTROQUÍMICO**

Las lesiones originadas por procesos de corrosión del acero de las armaduras, son debidas a:

- Procesos químicos en el hormigón (carbonatación y ataque por cloruros)
- Corrientes eléctricas erráticas

## 2.4.1 El mecanismo de la corrosión

La corrosión electrolítica (la mas frecuente) se produce en la superficie de los metales cuando el medio en el que están (en nuestro caso el hormigón) provoca la formación de una pila electrolítica, donde el ánodo sufre la oxidación del metal, y en el cátodo se depositan productos de reducción de alguna sustancia presente en el medio.

**Efecto de pasivación:** El hormigón constituye un medio perfecto de conservación del acero, pues proporciona a éste una película muy fina (microscópica) de óxido y muy adherente, llamada capa de pasivación, cuyo alto índice de alcalinidad (PH de 12 a 14) impide la corrosión del acero. Cuando el PH de ésta capa desciende por debajo de 9, el acero queda totalmente desprotegido.

Cuando se produce la infiltración a través de fisuras (o a través de los capilares) de algún tipo de agente, se produce la despasivación, que desprotege a la armadura y provoca la corrosión del acero.

Los principales procesos que llegan a destruir la capa de pasivación, son:

- La carbonatación del hormigón, que provoca una corrosión generalizada.
- La presencia de cloruros, que provoca corrosión puntual y localizada.
- La sulfatación del hormigón (muy poco frecuente).

Estos fenómenos únicamente son activos y perjudiciales si se cumple simultáneamente la existencia de una humedad alta (sin llegar a la saturación) y la existencia de oxígeno.

Los ambientes en los que se suelen dar estas condiciones, son en general ambientes de alta humedad relativa, en los que se recomienda realizar una inspección periódica:

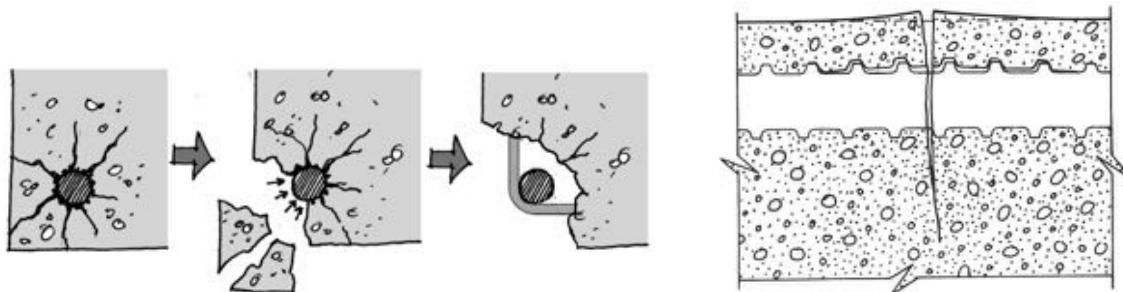
- Estructuras en cámaras sanitarias mal ventiladas o mal drenadas.
- Estructuras afectadas por vertidos de aguas procedentes de saneamientos (roturas de la red) que emanen gases como el SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.
- Estructuras al exterior, expuestas a la lluvia (sobre todo en ambientes costeros)

En las estructuras de H.A. situadas en éstos ambientes, es necesario asegurar unos mínimos recubrimientos de las armaduras, y una baja porosidad del hormigón (aplicar las relaciones agua / cemento mas bajas posibles).

Los efectos de la corrosión son:

- Disminución de la sección útil de las barras de acero (equivale a una disminución de la cuantía de acero y por lo tanto de la resistencia de la sección).

- Disminuye la adherencia de la barras de acero (algo particularmente peligroso en acero pretensado)
- Los óxidos formados pueden ser expansivos (pueden aumentar su volumen de 3 a 7 veces), disgrégando y desconchando el hormigón (*spalling*) y acelerando el proceso de oxidación (llegando incluso a destruir los recubrimientos de las armaduras). Este fenómeno facilita a su vez la entrada de los agentes corrosivos, aumentando progresivamente el proceso de corrosión hasta el colapso total (figura izquierda):



En la figura de la derecha (*J. Calavera*), se observa claramente el proceso de propagación de la oxidación a lo largo de la armadura, desde el punto de entrada del agente corrosivo a través de la fisura. El recubrimiento de hormigón se va separando, produciendo una vía de acceso.

Cuando el hormigón contiene un cierto grado de humedad constante, los productos de oxidación simplemente emigran al exterior por los capilares y fisuras, dando lugar a unas manchas fácilmente reconocibles.

**Intervención:** Cuando se presenta una lesión del hormigón y armaduras debida a corrosión, la intervención deberá ser la siguiente:

- Descubrir y limpiar de óxido las armaduras, tanto las directamente afectadas como las posiblemente afectadas (en las que posiblemente se haya iniciado el proceso), mediante chorro de arena, cepillo, etc. También hay que asegurarse de picar todo el hormigón afectado.
- Comprobar el diámetro de las armaduras, pues si ha mermado mucho, será necesario un refuerzo.
- Realizar una imprimación de película muy fina con zinc-epoxi, tanto en las armaduras como en la superficie fracturada (y ya limpia) del hormigón.
- Reconstrucción del recubrimiento con mortero de calidad y sin retracción.
- En casos de ambientes especialmente agresivos, si no se puede suprimir el origen de dicha agresividad, se hace necesario proteger al elemento estructural desde fuera, aplicando una capa de protección exterior a base de resinas o aceites.

## 2.4.2 Tipos de corrosión.

Podemos clasificar los diferentes tipos de corrosión de las armaduras en:

- 1 *Corrosión generalizada (carbonatación)*
- 2 *Corrosión localizada (por cloruros)*
- 3 *Corrosión bajo tensión*



### a) Corrosión generalizada (carbonatación):

Se produce cuando el medio alcalino que protege al acero (PH de 13 a 14) reduce su PH a 7, debido a la reacción de las sustancias alcalinas del cemento (cal libre) con agentes ácidos externos como son el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y el sulfuroso.

Es el proceso llamado de carbonatación, que no se puede dar en hormigones embebidos en agua (no hay oxígeno) o en hormigones secos (no hay agua).

El proceso de carbonatación será mayor cuanto menos cemento contenga el hormigón, y cuanto más poroso sea. El grado óptimo de humedad ambiental para que se produzca la carbonatación, está entre un 50 y un 70% de humedad relativa.

Como contrapartida, éste proceso produce carbonato cálcico (Ca<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), que puede llegar a colmatar los poros y frenar la propia carbonatación.

En los llamados cementos aluminosos (edificios construidos entre 1950 y 1980), se generaliza un proceso de carbonatación severa debido a un efecto propio de éste material, llamado “conversión del cemento aluminoso”.

### b) Corrosión localizada (cloruros):

Esta corrosión debe al ataque de cloruros, siendo la más agresiva en las estructuras de H.A.

Se caracteriza por el ataque puntual, produciéndose picaduras profundas en la superficie del acero. Las consecuencias son ataques en profundidad, llegando a fracturar la barra de acero.



Microfotografía de ataque por cloruros en una barra corrugada de acero

Los cloruros pueden encontrarse en:

- EL PROPIO HORMIGÓN
- EN LOS ADITIVOS QUE SE AÑADEN AL AGUA
- EN EL AGUA DE AMASADO
- EN EL AMBIENTE EXTERIOR (ZONAS MARÍTIMAS).

De todos los cloruros que incorpora el hormigón, únicamente son peligrosos los que no se combinan y quedan en disolución en la fase acuosa de los poros, aunque los cloruros combinados pueden volver a la disolución (y ser peligrosos) por efecto de procesos como la carbonatación. En ambientes cálidos marinos, se produce un efecto de succión capilar que favorece la penetración rápida a través de los capilares de las sales (cloruros) que existen en suspensión en la humedad del aire.

**c) Corrosión bajo tensión:**

Suele darse en aceros especiales pretensados, produciéndose la rotura de la pieza de forma rápida y progresiva. El pequeño diámetro de los alambres empleados, hace que las pérdidas de sección del acero sean relativamente muy grandes.

Los factores que están relacionados con éste tipo de corrosión, son los siguientes:

- Acero de calidad inadecuada o mal conservado (oxidación superficial)
- Hormigón poroso y de mala calidad (con iones despasivizantes)
- Ambiente especialmente agresivo:
  - Ambiente marino
  - Vapores amoniacales
  - Terrenos yesíferos

**2.4.3 Factores acelerantes de la corrosión**

La oxidación en sí misma (y dependiendo del grado de oxidación) no significa un peligro de la estabilidad y resistencia de la estructura afectada, salvo que se detecte una evolución de la misma. Por ello, una vez localizados los síntomas y clasificado el tipo de oxidación producida, hay que evaluar su evolución en el tiempo para diagnosticar finalmente el daño producido y el riesgo de no intervenir.

Los factores que determinan la velocidad de corrosión son los siguientes:

- El contenido de humedad
- La proporción de cloruros
- La temperatura
- La existencia de macropares galvánicos

El contenido de humedad, es con diferencia el factor más importante.

Si la humedad exterior es constante, se llega a un equilibrio ambiente-hormigón. Si por el contrario la HR exterior oscila, y dado que el hormigón seca muy despacio

pero absorbe humedad muy rápido, únicamente el núcleo de la pieza consigue estar en equilibrio con el exterior. La consecuencia directa de éste fenómeno, es la mayor exposición de las armaduras situadas a poca profundidad, teniendo en cuenta los siguientes:

- En ambientes poco húmedos (secos) no existe suficiente agua que transporte los agentes corrosivos, lo que sumado a la alta resistividad del hormigón, permite asegurar velocidades muy bajas (a veces casi nulas) de oxidación.
- En ambientes muy húmedos (o piezas embebidas en agua), la velocidad de oxidación es muy lenta debido a que el oxígeno primero deberá disolverse en el agua para alcanzar la armadura (el efecto es de ausencia de oxígeno).
- Las velocidades de oxidación mayores se dan en hormigones con altos contenidos de humedad pero sin llegar a saturar sus poros.

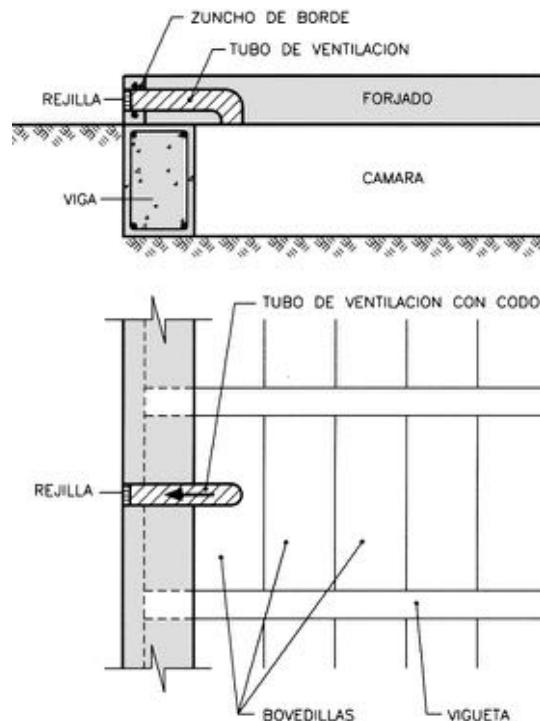
Los parámetros que hay que cuidar para aumentar la durabilidad de las armaduras ante la corrosión, son:

- El contenido mínimo de cemento (cuanto mayor, mejor)
- La relación agua / cemento (cuanto menor, mejor)
- El espesor del recubrimiento (no bajar de los mínimos especificados en la norma)
- La anchura máxima de las fisuras
- La compacidad del hormigón (una mala vibración produce porosidad)

Cuando el ambiente es muy agresivo, todo esto es necesario pero nunca suficiente, por lo que hay que tomar medidas complementarias y específicas como son:

- Protección sobre el acero de las armaduras:
  - Protección catódica
  - Recubrimientos metálicos (galvanizado) en ataque por agua marina o carbonatación
  - Pintura epoxi
- Protección sobre el hormigón:
  - Aditivos inhibidores de corrosión. Cuando existan cloruros añadidos en el agua de amasado o existe carbonatación.
  - Pinturas epoxi, ceras, aplicados al exterior de la pieza de H.A.

De forma complementaria, se debe tener especial cuidado en aquellos elementos de hormigón armado situados en cámaras sanitarias bajo forjados. La falta o insuficiente ventilación provoca índices de humedad que aceleran los procesos de corrosión. Cuando no se pueda establecer una ventilación directa al exterior (cota de terreno exterior alta), se deberá ventilar a través de un tubo de PVC con codo a través del forjado:

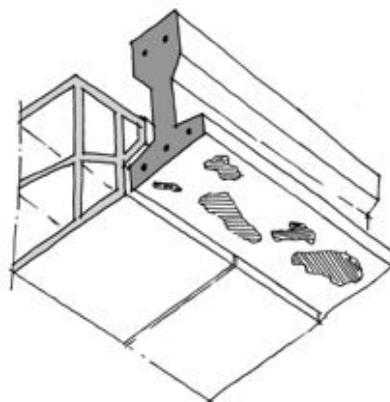
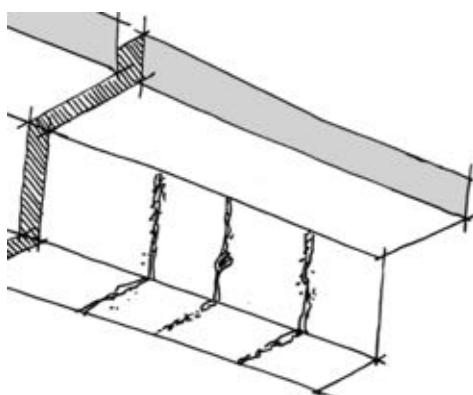


#### 2.4.4 Tipos de fisuración por corrosión

Como síntomas, a veces solo observamos manchas de óxido superficiales, que indican el inicio del proceso, y aconsejan la intervención (mas o menos urgente, dependiendo de la agresividad del medio).

##### a) Manchas de óxido marcando la posición de armaduras:

Indica el inicio mas o menos generalizado de oxidación de armaduras. Estas manchas pueden estar localizadas sobre estribos y armaduras principales.



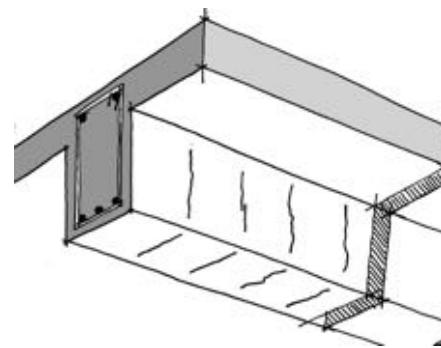
Si las manchas son pequeñas y localizadas, puede tratarse de oxidación por picaduras.

No reviste gravedad, aunque se debe realizar un seguimiento de su evolución.

**b) Fisuración transversal marcando la posición de estribos:**

Son fisuras transversales al eje de viga o vigueta, debidas a la oxidación de los estribos, producida por la falta de recubrimiento o por carbonatación del mismo.

No se deben confundir con fisuras de retracción, las cuales llegan hasta a los laterales de la pieza. Además, la fisuración por oxidación viene acompañada generalmente por manchas de óxido.



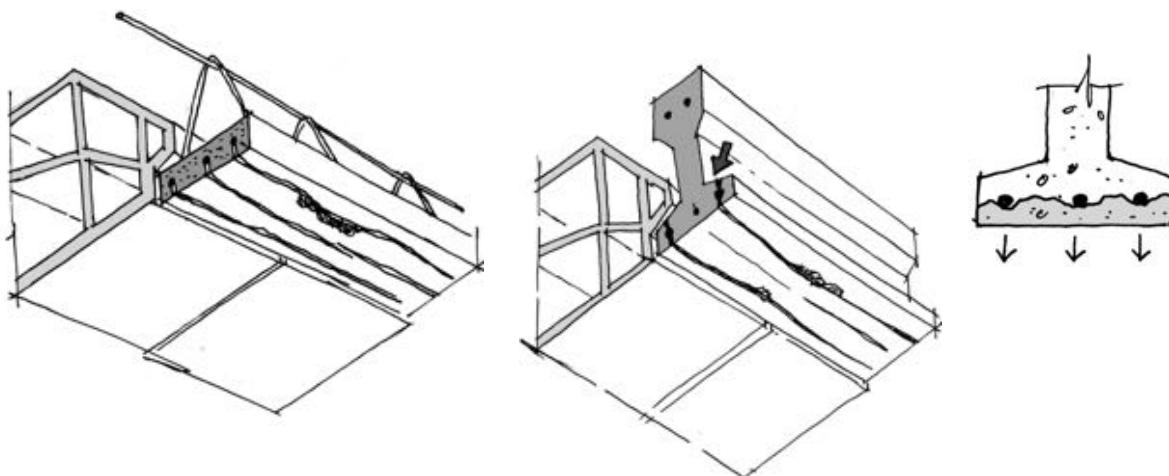
**c) Fisuración longitudinal marcando la posición de la armadura principal: Puede llegar a desprender totalmente el recubrimiento, dejando al aire la armadura. Es una lesión grave, debido a la pérdida de sección de acero y a la pérdida de adherencia de las armaduras.**

En el caso de piezas pretensadas (armaduras de pequeña sección bajo tensión) el daño puede considerarse muy grave.

Esta es la lesión más frecuente en las estructuras de hormigón armado, sobre todo en aquellas con forjados cerámicos (con poco o nulo recubrimiento).

En el caso concreto de forjados, cuando se manifiesta una sola fisura en la cara inferior de la vigueta, es muy probable que se trate de una vigueta armada o cerámica. Por el contrario, si se trata de varias fisuras paralelas, podemos estar ante viguetas pretensadas.

Podemos considerar esta lesiones de carácter grave si detectamos una pérdida de material, o bien la armadura está expuesta.



Como caso extremo podemos encontrar la desaparición total del recubrimiento inferior, debido a la conexión interior de las fisuras (figura siguiente), que indica un daño muy grave.

### ***Evaluación de las fisuras provocadas por corrosión:***

Las fisuras existentes en el hormigón pueden iniciar un proceso de corrosión de las armaduras (por facilitar la penetración de agentes externos corrosivos), por lo que la norma limita su ancho (de abertura) en función del tipo de ambiente al que se exponen:

- Ambiente interior, atmósfera normal 0,3 mm
- Ambiente interior, atmósfera húmeda o agresiva 0,2 mm
- Ambiente exterior (intemperie) 0,2 mm
- Ambiente especialmente agresivo 0,1 mm

Diversos estudios demuestran la baja peligrosidad de aquellas fisuras con anchos por debajo de los 0,4 mm, debido a que los mismos productos de corrosión colmatan y sellan las fisuras.

En estos estudios se determina sin embargo la gran importancia que tienen tanto la calidad del hormigón de recubrimiento de las armaduras como el espesor del mismo (en función del diámetro de las barras).

Para medir la fisura:

- Con lupa o humedeciendo el hormigón si ancho < 0,05 mm (micro fisuras)
- Con fisurómetro o calibre si ancho > 0,05 mm

**COMO CONCLUSION**, y a modo de resumen, se describen a continuación los parámetros básicos que hay que tener en cuenta en la ejecución del hormigón, a efectos de prevenir su corrosión:

- Evitar áridos con impurezas o agua inadecuada.
- El exceso de agua de amasado (frecuente en hormigones bombeados) produce además de una merma de resistencia, una alta porosidad y en consecuencia:
  - Corrosión (acelera la carbonatación)
  - Baja durabilidad
  - Baja resistencia
- Tanto un insuficiente vibrado, como el exceso del mismo, provoca un hormigón no homogéneo, y en consecuencia poroso, facilitando la corrosión posterior.
- El insuficiente recubrimiento de las armaduras, acelera gravemente el proceso de corrosión, y en consecuencia la pérdida de sección de acero y adherencia barra – hormigón.
- Cuidar las barras de armado en esquina de pilares, pues son más propensas a la corrosión debido a que:
  - Sufren ataques por las dos caras
  - Existe acumulación de áridos finos en la esquina
  - Tienen una mayor dificultad de hormigonado

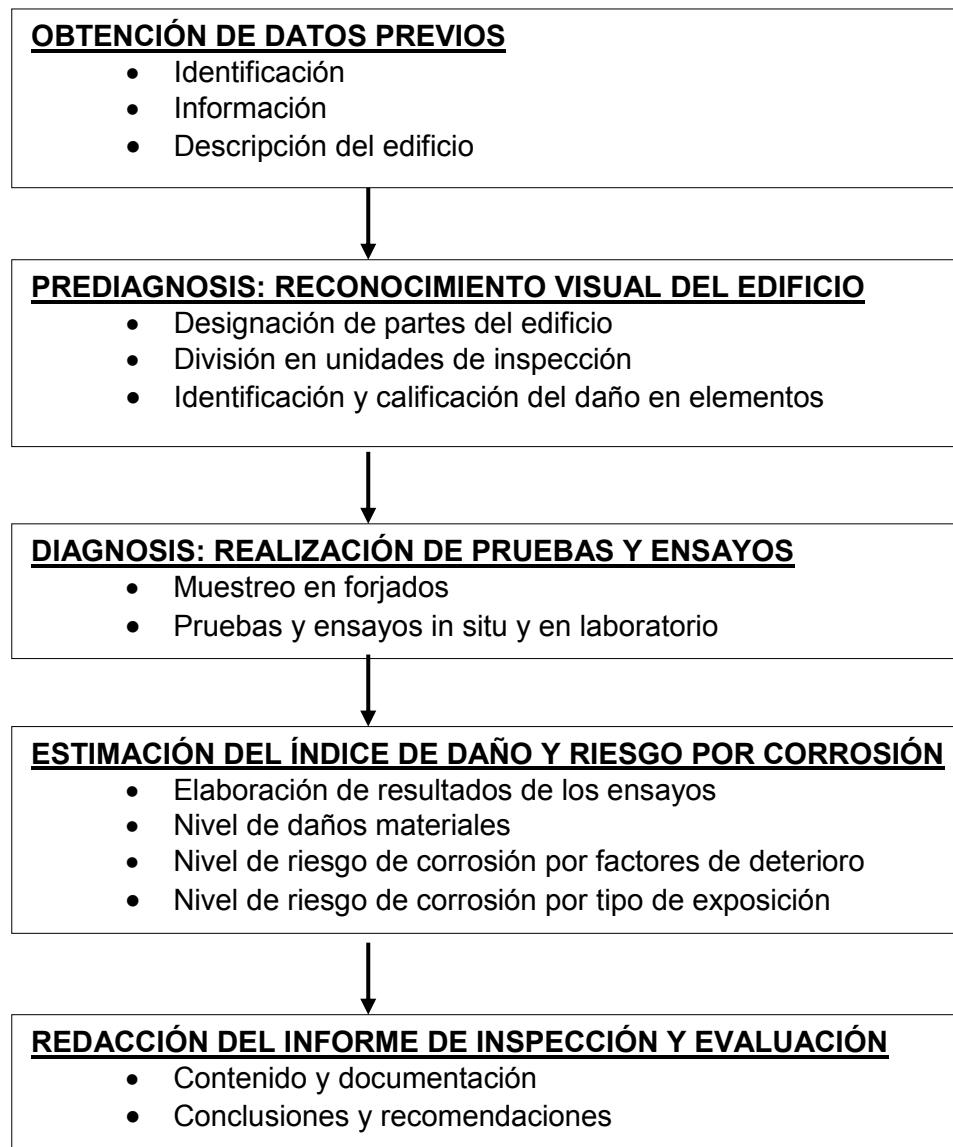
- El hormigón en esquinas es siempre más poroso.
- En ambientes marinos, conectar la masa de la red eléctrica (o pararrayos) a las armaduras, puede acelerar la corrosión.
- Las protecciones a base de enfoscados de dos capas, pinturas de base de resina epoxi o acrílicas, etc, mejoran notablemente el comportamiento del hormigón ante la corrosión.

### 3 INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Como se ha comentado anteriormente, las lesiones de una estructura de hormigón armado pueden manifestarse bien en la propia estructura, o bien (y es lo mas frecuente debido a estar oculta) en el resto de elementos constructivos que apoyan en ella.

Cuando aparece alguno de los síntomas descritos en los apartados anteriores, se hace necesario realizar una programación de trabajo para la inspección y posible reparación de dicha estructura. Los pasos a seguir dependerán de los resultados de cada fase de la inspección y de su posterior evaluación.

En esquema, la inspección de una estructura de H.A. debe comprender las siguientes etapas:



*Los dos últimos bloques (Estimación del índice de daño y Redacción del informe) no se desarrollan en éste capítulo, dado su carácter altamente especializado y su relación directa con el trabajo realizado en el laboratorio.*

### **3.1 OBTENCIÓN DE DATOS PREVIOS**

De forma previa a cualquier diagnosis de la estructura, es absolutamente necesario recabar todos los datos necesarios, tanto para optimizar la búsqueda de lesiones como para su correcto análisis e interpretación de los resultados de los ensayos y pruebas.

Aunque en otras unidades de obra pueda realizarse un estudio de forma localizada y sin tener en cuenta el conjunto del edificio, en la diagnosis de una estructura es fundamental comprender su funcionamiento conjunto y las posibles acciones que el resto de unidades de obra puedan ejercer sobre la estructura.

Por ello, se deberá contar con los planos (actualizados) de la estructura, y los planos de albañilería.

De forma complementaria, es importante conocer datos relativos a la ejecución del edificio (incidencias relacionadas en el libro de órdenes), que puedan arrojar luz sobre síntomas de difícil análisis, así como el informe completo de la OCT y los ensayos realizados sobre los hormigones suministrados en obra.

La inspección previa se realizará sobre dichos planos, en los que a veces será necesarias secciones abatidas sobre las que grafiar y situar las lesiones detectadas.

### **3.2 PREDIAGNOSIS: RECONOCIMIENTO VISUAL DEL EDIFICIO**

Una vez que se han detectado (normalmente por terceros) ciertos síntomas de posibles lesiones, conviene realizar una prediagnosis o inspección preliminar

De forma rápida y económica, podremos obtener un criterio suficiente para valorar la necesidad de realizar un estudio mas profundo (en tiempo y dinero) que es la diagnosis.

Se realiza de forma visual, buscando cualquier indicio de lesión en la estructura para localizar defectos del tipo siguiente:

- Deformaciones excesivas en elementos horizontales
- Fisuraciones o grietas en elementos estructurales
- Cambios de aspecto superficial del hormigón:
  - Rugosidades superficiales
  - Formación de una película superficial
  - Cambio de coloración del hormigón
  - Exfoliaciones
  - Disgregaciones
  - Descantillados
  - Eflorescencias

- Fisuraciones en elementos no estructurales, que puedan ser causados por fallos estructurales.

Con respecto a las fisuras observadas en los propios elementos estructurales, es importante anotar los siguientes datos, para una correcta interpretación posterior:

- Amplitud de la fisura
- Su dirección respecto del elemento estructural
- Su espaciamiento
- Su situación
- Su evolución (si hay testigos)

Los medios necesarios para la prediagnosis son sencillos, y van desde cámara fotográfica con flash, hasta una linterna, maceta y cincel, etc. Conviene que en las fotografías de detalle, aparezca una regleta o decímetro, a efectos de poder tomar posteriormente medidas sobre la fotografía.

Una vez realizada la prediagnosis, y a través de su estudio, podemos estar en condiciones de formular las hipótesis de daños y origen de los mismos, para planificar una diagnosis más profunda, y sobre todo, para tomar las medidas de urgencia necesarias (apeos, refuerzos provisionales, etc)

En éste primer nivel de análisis del estado de la estructura, debemos valorar la importancia de los daños registrados:

- **DAÑO ALTO:** Fallos o lesiones que requieran apuntalamiento inmediato
- **DAÑO MODERADO:** Fallos o lesiones que indiquen una disminución de la seguridad o la durabilidad.
- **DAÑO DESPRECIABLE o BAJO:** No existen fallos o lesiones aparentes, aunque se deben comprobar con revisiones periódicas

Como guía, remitir a los cuadros de identificación y calificación de lesiones en estructuras de hormigón armado en el apartado 2 del presente capítulo.

### 3.3 DIAGNOSIS: REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS

Requiere un plan de actuación preciso y meditado, basado en el informe de la prediagnosis, pues normalmente conlleva un importante gasto de dinero y tiempo.

Básicamente consistirá en recabar datos precisos de las lesiones detectadas (incluyendo métodos agresivos) para asegurarnos de su origen y magnitud, así de su posible evolución y nivel de peligrosidad.

Se utilizarán elementos de diagnosis (en función de los resultados de la prediagnosis) como son fisurómetros, pachómetros, ultrasonidos, esclerómetros,

corrosímetros, etc, y se realizarán pruebas de carga, test de porosidad, de carbonatación, etc.

Por último, hay que planificar el acceso a ciertas zonas, que implica en algunos casos el montaje de medios auxiliares, grúas, etc.

### **3.3.1 Ensayos no destructivos y control del hormigón**

Los sistemas de control de calidad del hormigón se basan en el control del material suministrado y en el control de su puesta en obra:

- Control del hormigón suministrado o fabricado a pie de obra, mediante la rotura a compresión de probetas enmoldadas normalizadas.
- Supervisión y control de las operaciones de su puesta en obra, que van desde el transporte interno, el vertido y vibrado, hasta el proceso de curado y puesta en servicio.

Para realizar un control de las características finales del hormigón puesto en obra, los métodos no destructivos nos proporcionan una idea bastante aproximada de la calidad de la estructura, y tienen gran interés en las siguientes situaciones:

- Estructuras que presentan síntomas de deterioro (fisuras, manchas de óxido, etc)
- Estructuras, que aun no presentando sintomatología alguna, han sufrido algún episodio traumático que haya podido afectarlas, como son terremotos, incendios, heladas, sobrecargas excesivas, etc.
- Estructuras de edificios que hayan sufrido o vayan a sufrir un cambio de uso (frecuente en rehabilitación) que implique un aumento de cargas o acciones no contempladas en las hipótesis de cálculo originales.

En todos éstos casos los ensayos no destructivos pueden aportarnos datos suficientes, o bien indicarnos donde y qué tipo de ensayos destructivos (catas) debemos realizar.

No obstante, se recomienda que la interpretación de los datos obtenidos por los ensayos corra a cargo de técnicos especializados.

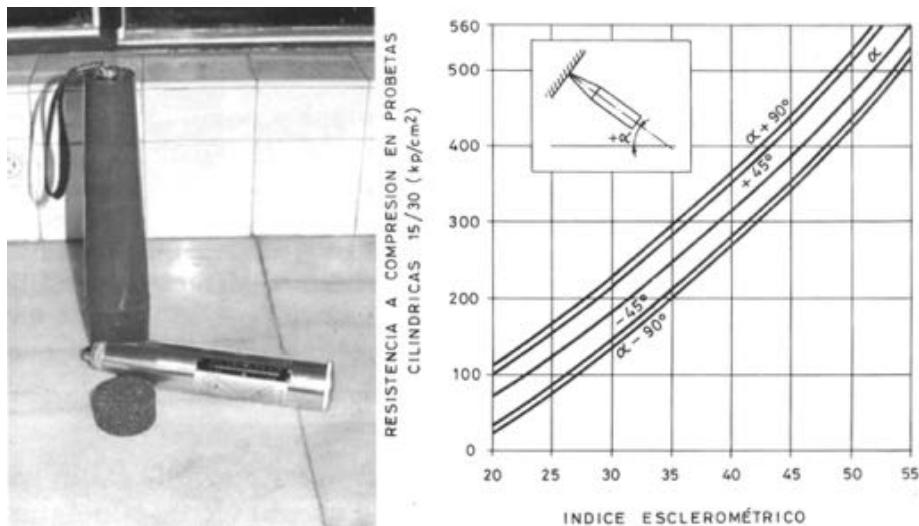
#### **a) Métodos de dureza superficial**

Método esclerométrico: El esclerómetro es un aparato que percute contra la superficie del hormigón a ensayar, reflejando un valor que debidamente interpretado expresa la dureza superficial de dicho hormigón (de una capa de unos 3 o 4 cm de profundidad).

Previamente se marcan los puntos de ensayo, que estarán separados al menos 3cm, sobre la superficie limpia del hormigón.

El valor de muestreo (al menos 10 puntos) se promedia y se introduce en la tabla. Es importante que el esclerómetro se apoye en el hormigón formando Angulo recto con su superficie, y que los puntos ensayados se alejen de imperfecciones, áridos salientes, coqueras, etc.

En el caso de vigas, la superficie a ensayar más representativa del conjunto es la cara lateral (vertical).



El ensayo esclerométrico es recomendable en las siguientes situaciones:

- Estudio de uniformidad de elementos estructurales de hormigón (en términos de dureza superficial).
- Comparación de la calidad de un hormigón con otro de referencia, del cual conocemos su calidad y características por otros medios (normalmente destructivos).
- En la estimación orientativa de la resistencia de hormigones.

Método de indentación: La metodología es similar al anterior, pero el ensayo se realiza con un aparato que percute la superficie del hormigón con una bola de acero (dureza Brinell).

La medida del diámetro de la huella dejada por la bola, mediante las tablas correspondientes, permite obtener el valor de dureza superficial del hormigón ensayado.

### b) Pachómetro

Nos permite detectar elementos metálicos ocultos (armaduras). Los hay desde el más sencillo, que nos informa de la posición y dirección de la barra de armadura,

hasta el más sofisticado, que nos da una lectura del diámetro de la barra y el espesor del recubrimiento.

El aparato consta de un módulo de lectura y control y de varias sondas. Como los datos obtenidos no son de gran precisión, cuando sea necesario se realizarán catas.

### c) Método de ultrasonidos

Mediante un aparato compuesto de un emisor y un receptor, podemos medir la velocidad **V** de propagación de la onda acústica a través del hormigón:

**$V=L/T$**  siendo **L** la distancia entre transductores (emisor → receptor), que en el caso de medida directa debe coincidir con el espesor de la pieza ensayada, y **T** el tiempo que tarda la onda en llegar al receptor.

Hay dos formas de realizar la medición:

- Medición directa: es la más fiable y aconsejada, pues los transductores se colocan en caras enfrentadas de la pieza (por ejemplo en las caras verticales de una viga o pilar)
- Medición indirecta: mucho menos fiable, pero la única opción cuando solo se tiene acceso a una de las caras del elemento (como pasa en los muros de contención). En éste caso, se fija el emisor y se van tomando medidas del receptor en diferentes posiciones, promediando los resultados.

Este método es indicado en las siguientes situaciones:

- Estudios de uniformidad del hormigón, para delimitar zonas de baja calidad a estudiar posteriormente por otros métodos.
- Comparación de la calidad en términos de módulo de elasticidad (tensión / deformación) o resistencia de los hormigones de una estructura.
- Determinación del módulo de elasticidad dinámico (estructuras sometidas a sismo) y módulo de Poissón (deformación transversal / deformación longitudinal).
- Estimación de alteraciones cualitativas del hormigón a lo largo del tiempo.
- Detección de defectos (profundidad de fisuras, coqueras, espesores de capas dañadas, etc)

### d) Métodos electromagnéticos

Mediante una sonda magnética, es posible realizar mediciones sobre la armadura de la pieza de H.A. Las características y limitaciones de éstas sondas son:

- Detectan bien la presencia y dirección de armaduras, cuando éstas están a una profundidad inferior a 12cm.
- Si se conoce el diámetro de las armaduras y su separación es mayor de 10-15cm, es posible estimar su recubrimiento con errores máximos de 63 mm.

### e) Métodos radiactivos

Radiograffías y gammagraffías: permiten impresionar en una placa las armaduras, coqueras e imperfecciones de la pieza de H.A. Para espesores mayores a 13 cm hay que utilizar equipos muy sofisticados (aceleradores lineales).

Radiometría: proceso y utilización similar al anterior, en el que se sustituyen las placas fotográficas por detectores de radiación.

Radioscopia: utiliza la misma fuente de radiación que la gammagrafía, pero la lectura se realiza con una cámara conectada a un monitor. El espesor máximo que permite éste sistema es de un 50% del de la gammagrafía.

Todos éstos métodos son caros, y en manos de empresas especializadas, por lo que únicamente se recomiendan en situaciones en las que sea imperativo conocer el estado real de la pieza de H.A. y sea imposible realizar ensayos destructivos.

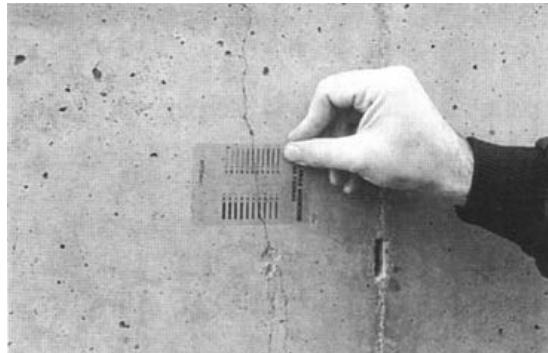
### f) Método de los potenciales electroquímicos

Es un método bastante válido para indicar y acotar las zonas de armaduras corroídas, aunque no proporciona información sobre la velocidad del proceso de oxidación.

Consiste básicamente en la medida de la diferencia de potencial entre dos puntos mediante un voltímetro. Uno de los electrodos se fija a una armadura, y el otro a diversos puntos en la superficie.

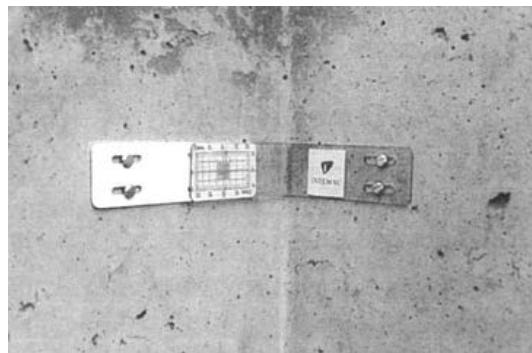
### g) Fisurómetros:

Los cuentahílos, nos permiten medir el ancho de una fisura, con precisiones de 0,1 mm.



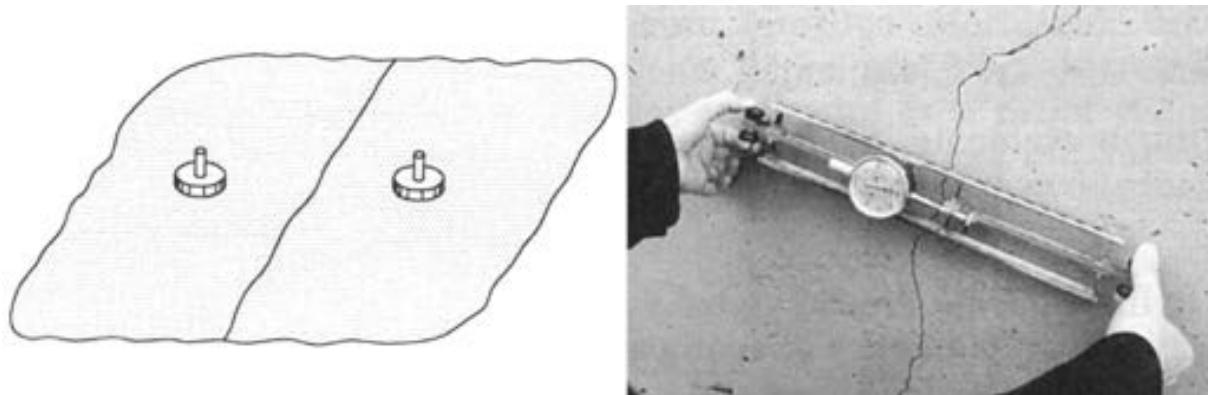
Regla de fisuras

Los fisurómetros de regleta, están formados por dos piezas de plástico unidas por una regleta graduada. Si fijamos cada parte a ambos lados de la fisura, podemos leer la evolución de la misma en la regleta, pero con poca precisión (0,5 mm).



*Regleta empleada por INTEMAC fijada a ambos lados de la fisura, con una rejilla milimetrada.*

El deformómetro, es un aparato de precisión que consta de un extensímetro que se fija por unos tetones a los bordes de la fisura. Cualquier movimiento de ésta queda registrado en un dial, con precisión de hasta 0,001mm. Los tetones quedan fijados a la estructura, lo que permite utilizar un único aparato para la medida de varias fisuras.



Para medir el movimiento de dicha fisura en función del tiempo o la temperatura, utilizaremos los deformómetros, fisurómetros de regleta, etc).

#### **h) Probetas testigo**

Es el sistema mas fiable y exacto para conocer las características del hormigón, pues permite el ensayo en laboratorio (normalmente ensayos a compresión) de la probeta extraída del elemento a diagnosticar.

Los diámetros de las coronas de perforación son varios (50 a 150 mm), aunque los más utilizados son los de 75 y 100 mm.

La probeta extraída se corta y se refrenta, de tal forma que la relación altura / diámetro sea exactamente 2.

### i) Pruebas de carga

Son pruebas muy complejas, que deberán ser realizadas por personal muy especializado.

Básicamente consisten en aplicar una sobrecarga uniforme sobre un forjado (sacos de tierra, balsas de agua, etc), y medir las deformaciones verticales producidas, así como la aparición gradual de fisuras.

Posteriormente se procede a la descarga total, volviendo a medir las deformaciones, para determinar si estas permanecen o no, y evaluar si la estructura ha soportado dicha prueba.

Es un sistema que nos permite comprobar la fiabilidad de un elemento estructural horizontal ante un cierto estado de cargas, cuando se hayan detectado en el mismo defectos que aconsejen su refuerzo o sustitución.

### 3.3.2 Muestreo de forjados

#### a) Catas

Los elementos a observar en las catas realizadas serán:

- Ancho de fisuras y desprendimiento de lajas (*spalling*) por corrosión. Conviene diferenciar fisura en yeso por junta de vigueta y bovedilla o fisura provocada por corrosión. Normalmente hay que picar el guarnecido inferior para cerciorarse.
- Pérdida de sección del armado de vigueta por corrosión
- Importancia de la corrosión
- Existencia de carbonatación del hormigón
- Averiguar si es vigueta de H.A. o pretensada
- Indicar el tipo de exposición ambiental (*ver tabla 1*)
- Contenido en cloruros del hormigón
- Presencia de cemento aluminoso
- Aspecto del hormigón y coloración. Es importante observar la forma de fractura (de presentarse):
  - Áridos intactos: indican una matriz de hormigón de baja calidad
  - Áridos rotos: indican un hormigón de calidad.

**Tabla 1:** Clasificación del tipo de exposición ambiental a que está sometido el hormigón

CLASE DE EXPOSICIÓN UNE-EN-206	DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES DE EXPOSICIÓN	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO DE CORROSIÓN
<b>X0</b>	- Hormigón en masa o armado, en el interior de edificios con una humedad relativa del aire muy baja (HR < 65%)	<b>Despreciable</b>
<b>XC1</b>	- Hormigón armado seco, en el interior de edificios con una humedad relativa del aire baja (solo a veces excede el 65%) - Hormigón armado permanentemente sumergido en agua (sin oxígeno)	
<b>XC2</b>	- Hormigón armado en contacto con elementos húmedos durante mucho tiempo (como cimentaciones)	<b>Bajo</b>
<b>XC3</b>	- Hormigón armado en el interior de edificios con una humedad relativa del aire media-alta (65 – 85 %). P.ej.: forjados de cubierta, forjados sanitarios sin ventilación, recintos húmedos de viviendas insuficientemente ventilados o con humedades producidas por fugas de agua esporádicas de instalaciones o aparatos.	
<b>XC4</b>	- Ciclos de humedad y sequedad. Superficies de hormigón sometidas al contacto con el agua, sin que puedan considerarse dentro de la clase XC2	<b>Moderado</b>
<b>XD3</b>	- Hormigón armado sometido a ciclos de humedad – sequedad: elementos exteriores no protegidos contra la lluvia, elementos sometidos a fugas de agua o filtraciones intermitentes, etc.	
<b>XS1</b>	- Hormigón armado situado en edificios de costa o próximos a ella.	

### b) Estimación del índice de daño y riesgo de corrosión “IC” en forjados

Es importante en base a los resultados de los muestreos de forjados y las pruebas realizadas en ellos, establecer a través de un índice (IC) el nivel de daño real, y actuar en consecuencia:

#### b.1) Nivel de daño de los materiales ( $N_D$ ).

Con los datos obtenidos de la tabla 2, asigno  $N_D$  al valor más alto de los obtenidos.

**Tabla 2:** Clasificación del daño de los materiales:

Parámetros	CALIFICACIÓN			
	DESPRECIABLE	BAJO	MODERADO	ALTO
	1	2	4	8
Ancho de fisuras o desprendimiento en lajas	Sin fisuras	<0,3mm	>0,3mm	Desprendimiento en lajas
Importancia de la corrosión	No existente	Ligera: óxido superficial	Media: óxido en capa fina	Alta: óxido en capa gruesa
Pérdida de sección	*1%	>1% - 5%	>5% - 10%	>10%

#### b.2) Nivel de riesgo de corrosión por factores de deterioro ( $N_R$ ).

Con los datos obtenidos de la tabla 3, asigno  $N_R$  al valor más alto de los obtenidos:

**Tabla 3:** Calificación del riesgo de corrosión por factores de deterioro:

Parámetros	CALIFICACIÓN				
	DESPRECIABLE	BAJO	MODERADO	ALTO	
	1	2	3	6	
Periodo de iniciación por carbonatación	HA	>30 años	<30 – 20 años	<20 – 10 años	<10 años
	HP	>50 años	<50 – 25 años	<25 – 12 años	<12 años
Contenido en cloruros	HA	*0,05%	>0,05% - 0,09%	>0,09% - 0,15%	<0,15%
	HP	*0,03%	>0,03% - 0,06%	>0,06% - 0,10%	>0,10%

HA: hormigón armado

HP: hormigón pretensado

**b.3) Nivel de riesgo de corrosión por clase de exposición ( $N_E$ ).**

Con los datos obtenidos de la *tabla 4*, asingo  $N_E$  al valor más alto de los obtenidos. Si existe cemento aluminoso, el nivel de riesgo mínimo a tener en cuenta es el BAJO, y puede incrementarse en UNO el nivel obtenido en la tabla.

**Tabla 4:** Calificación del riesgo de corrosión por clase de exposición:

Parámetros	CALIFICACIÓN			
	DESPRECIABLE	BAJO	MODERADO	ALTO
	1	3	6	-
Clases de exposición	X0, XC1	XC2, XC3	XC4, XD3, XS1	No se considera

**b.4) Estimación y calificación del Índice de Daño y Riesgo por Corrosión (IC).**

Con los índices obtenidos en las tablas anteriores, podemos estimar el IC:

$$IC = N_D + N_R + N_E$$

... y obtener su calificación correspondiente en la *tabla 5*:

**Tabla 5:** Calificación del Índice de Daño y Riesgo por Corrosión:

IC	3-5	6-10	11-15	16-20
Calificación:	despreciable	Bajo	Moderado	Alto

**b.5) Tipos de actuación en forjados:**

Dependiendo de la calificación del IC obtenida, podemos obtener una orientación del tipo de inspección y periodicidad de la misma a efectuar (*tabla 8*).

**Tabla 8:** Propuesta de actuaciones:

Calificación del IC	Tipo de actuación		Plazo de actuación
<b>Despreciable</b>	Inspección y Evaluación Preliminar	1	> 10 años
<b>Bajo</b>	Inspección y Evaluación Preliminar	1	< 10 años
<b>Moderado</b>	Inspección y Evaluación Complementaria	2	a corto plazo
<b>Alto</b>	Inspección y Evaluación Complementaria	2	inmediato

Como conclusiones, diremos que:

- Un índice despreciable o bajo propone una actuación de inspección periódica (tipo de actuación 1)
- Un índice moderado o alto, propone una actuación de profundización de la inspección (tipo de actuación 2), mediante una evaluación estructural complementaria.
- En aquellos elementos donde, después de la inspección visual, se prevea un apuntalamiento o refuerzo inmediato (tipo de actuación 3), esta tabla no es de aplicación, al tratarse de una actuación de urgencia.

## ANEXO 1: Guía para la inspección y control global de la ejecución de una estructura de hormigón armado.

Extraído del *Curso patología de estructuras de hormigón*, Pedro Galindo García (Escuela Edificación – C.O.A.A.T.M)

Se incluye aquí de forma íntegra, una guía que puede resultar de interés en la prevención de patología de estructuras de HA, puesto que recorre todos los hitos que intervienen en su ejecución, y que permite al técnico aplicar los conocimientos y técnicas reflejadas en éste curso siguiendo un orden estricto.

En cada hito viene reflejado el posible daño ocasionado (de realizarse de forma incorrecta o cometer errores) así como los campos a los que afecta.

Según los errores debidos a malas disposiciones constructivas (derivadas de soluciones de proyecto incorrectas o bien de una incorrecta ejecución), podemos clasificar el nivel de daños que pueden llegar a provocar según la importancia de los mismos:

- C:** Daños críticos: daños que pueden afectar a la seguridad y/o a la estabilidad de la estructura
- P:** Daños principales: son daños que afectan únicamente a la funcionalidad del edificio
- S:** Daños secundarios: son daños que afectan al aspecto de la estructura o a otros elementos no estructurales.

ETAPA 1: PREVIO AL HORMIGONADO				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
<b>OPERACIÓN 1.1 COMPROBACIÓN DE DOCUMENTACIÓN</b>				
1.1.1 EXISTENCIA ESPECIFICACIONES	N.P		OBRA EN GENERAL	PROCESO
1.1.2 EXISTENCIA DE TODOS LOS PLANOS	P		“	“
1.1.3 COMPROBACIÓN NIVEL DEFINICIÓN	D		“	“
1.1.4 PLAN DE OBRA. ETAPAS	P.D		“	“
1.1.5 PROGRAMA Y REGLAS DE CONTROL	P		“	“
1.1.6 CRITERIOS DE RECEPCIÓN	N.P		“	ECONOMÍA

OPERACIÓN 1.2 COMPROBACIÓN DE MEDIOS				
1.2.1 ALMACENAMIENTO Y ACOPIOS: “ CEMENTO “ ÁRIDOS “ ARMADURAS - FERRALLA	D		BAJA DE RESISTENCIA	SEGURIDAD
			CUANTÍA / ADHERENCIA	
1.2.2 CENTRAL HORMIGONADO: “ AMASADORA. HORMIGONERA “ BASCULAS PARA DOSIFICACIÓN “ MEDIDAS DE VOLUMEN	D		CALIDAD HORMIGÓN	SEGURIDAD
1.2.3 ELEMENTOS TRANSPORTE EN OBRA	D		DISGREGACIÓN	ECONOMÍA
1.2.4 MEDIOS DE VERTIDO	D		DISGREGACIÓN / RENDIMIENTO	“
1.2.5 MEDIOS DE COMPACTACIÓN	D		DISGREGACIÓN	DURABILIDAD
1.2.6 MEDIOS PROTECCIÓN Y CURADO	D		BAJA RESISTENCIA	SEGURIDAD
1.2.7 MEDIOS DE CONTROL	D			FIABILIDAD RECEPCIÓN

OPERACIÓN 1.3 REPLANTEO				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
1.3.1 GENERAL EN EL TERRENO	P	P	REVISIÓN DE PROYECTO	PROCESO
1.3.2 ARRANQUE ELEMENTOS VERTICALES EN ARRANQUE CIMENTACIÓN EN CADA PLANTA: PLOMOS	P	P	DISTRIBUCIÓN	CONCEPTO FUNCIONALIDAD
1.3.3 PLANOS HORIZONTALES VIGAS, CAPITELES, NERVIOS FORJADOS UNIDIRECCIONALES	P	P	DISTRIBUCIÓN	CONCEPTO
1.3.4 PASOS DE CONDUCTOS VENTILACIÓN VERTICAL SANEAMIENTO CALEFACC / FONTA / ELECT AIRE ACONDICIONADO	P	P	MERMA COMPORTAMIENTO	SEGURIDAD COMPORTAMIENTO
1.3.5 AJUSTE A PREFABRICADOS	P	P	INVALIDEZ PREFABRICADO	ECONOMÍA

OPERACIÓN 1.4 CIMBRAS Y SOPORTE DE ENCOFRADOS				
1.4.1 CRITERIOS ESTABILIDAD GENERAL		C	RUINA	SEGURIDAD
1.4.2 INDEFORMABILIDAD		S	DEFORMAC / FISURACIÓN	ASPECTO
1.4.3 ORGANIZACIÓN CONSTRUCTIVA PROCESO. nº DE PLANTAS		S	TIEMPOS / RENDIMIENTO	ECONOMÍA
1.4.4 CARACTERÍSTICAS RESISTENTES: GENERALES DEL CONJUNTO DE CADA ELEMENTO		P/C	RUINA	SEGURIDAD
1.4.5 PREVISIÓN DESCIMBRADO: PROCESO PARCIAL. ELEMENTOS DEL CONJUNTO		S	TIEMPOS / RENDIMIENTO	ECONOMÍA
1.4.6 RESISTENCIA Y RIGIDEZ ANTE: PESO PROPIO HORMIGÓN FRESCO CARGAS DE MONTAJE ACCIONES HORIZONTALES		C	HUNDIMIENTO / RUINA	SEGURIDAD

OPERACIÓN 1.5 ENCOFRADOS. MOLDES				
1.5.1 IDONEIDAD DEL MATERIAL: TIPO. CAMBIO VOLUMÉTRICO, ETC		S	RENDIMIENTO	ECONOMÍA
1.5.2 RESISTENCIA CARGAS. EMPUJES		C	HUNDIMIENTO / RUINA	SEGURIDAD
1.5.3 RIGIDEZ ANTE COMPACTACIÓN		P	DEFORMACIONES	ASPECTO
1.5.4 ESTANQUEIDAD		S	PERDIDAS MATERIAL	ASPECTO
1.5.5 DIMENSIONES. TOLERANCIAS		P/S	FISURACIÓN / DEFORMACIÓN	SEGURIDAD / ASPECTO
1.5.6 PLOMOS. ALINEACIONES. NIVELES		P/S	DEFORMACIONES	SEGURIDAD / ASPECTO
1.5.7 LIMPIEZA SUPERF. DESMOLDEANTE		S	ACABADOS SUPERF.	ASPECTO
1.5.8 HUMECTACIÓN		S	ALTERACIÓN FRAGUADO	ECONOMÍA
1.5.9 LLENADO		S	TIEMPO / RENDIMIENTO	"
1.5.10 PREVISIÓN. DESMOLDEO		S	"	"

OPERACIÓN 1.6 CORTE Y DOBLADO DE ARMADURAS				
1.6.1 DOCUM. BÁSICA. PLANOS DESPIESES		S	RENDIMIENTO / PROCESO	ECONOMÍA
1.6.2 COMPROBACIÓN CARACTERÍSTICAS CALIBRES. CUANTIAS. LONGITUDES		C	COMPORTAM. MECÁNICO	SEGURIDAD
1.6.3 JUEGOS DE MANDRILES		S	RENDIMIENTO	ECONOMÍA
1.6.4 TEMPERATURA DE DOBLADO		P	COMPORTAM. MECÁNICO	SEGURIDAD
1.6.5 ENDEREZAMIENTO BARRAS		P	"	"

OPERACIÓN 1.7 EMPALME DE ARMADURAS				
1.7.1 SITUACIÓN EMPALME. TÉCNICA		P	COMPORTM. MECÁNICO	SEGURIDAD
1.7.2 LONGITUDES		P	"	"
1.7.3 GRUPOS DE BARRAS		P	"	"
1.7.4 SEPARACIONES. DISTANCIAS PARAMENTOS. ENTRE SI		S	FISURACIÓN / ADHERENCIA	"

OPERACIÓN 1.8 COLOCACIÓN				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
1.8.1 COMPROB. ESTADO SUPERFICIES		P	ADHERENCIA	SEGURIDAD
1.8.2 POSICIONAMIENTO. DISTANCIAS		S	COMPORT. MECÁNICO	"
1.8.3 RIGIDEZ CONJUNTO/ COMPONENTES		S	TIEMPOS / PROCESO	ECONOMÍA
1.8.4 INMOVILIDAD DURANTE VERTIDO		P	FISURAS. DESPLAZAMIENTO	SEGURIDAD
1.8.5 COMPROBACIÓN DE: ORGANIZACIÓN Y CUANTÍAS ANCLAJES EMPALMES SOLDADURAS Y ATADOS		C P P P	RUINA COMPORT. MECÁNICO " "	SEGURIDAD " " "

OPERACIÓN 1.9 PREVISIÓN DE JUNTAS				
		S	TIEMPOS / RENDIMIENTO	FUNCIONALIDAD
1.9.1 ESTABLECIMIENTO CRITERIOS POSICIÓN. PROCEDIMIENTO		S	TIEMPOS / RENDIMIENTO	FUNCIONALIDAD
1.9.2 SECUENCIAS CONSTRUCTIVAS		S	"	"
1.9.3 PLANIFICACIÓN TAJOS		S	"	"

OPERACIÓN 1.10 PREVISIÓN HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO				
		S	TIEMPOS / RENDIMIENTOS	FUNCIONALIDAD
1.10.1 ESTABLECIMIENTO CRITERIOS ANTE BAJA DE TEMPERATURA		S	TIEMPOS / RENDIMIENTOS	FUNCIONALIDAD
1.10.2 PREVISIÓN DE MEDIOS ADITIVOS. SU CONTROL PROTECCIONES		S	"	"

OPERACIÓN 1.11 PREVISIÓN DE HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO				
		S	TIEMPOS / RENDIMIENTO	FUNCIONALIDAD
1.11.1 ESTABLECIMIENTO CRITERIOS ANTE SUBIDA DE TEMPERATURA		S	"	"
1.11.2 PREVISIÓN DE MEDIOS PROTECCIONES		S	"	"

OPERACIÓN 1.12 PREVISIÓN DE HORMIGONADO BAJO LLUVIA				
		S	TIEMPOS / RENDIMIENTO	FUNCIONALIDAD
1.12.1 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS		S	"	"
1.12.2 PREVISIÓN DE MEDIOS		S	"	"

ETAPA 2: DURANTE EL HORMIGONADO				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
OPERACIÓN 2.1 FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN				
2.1.1 PROYECTO DE DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICO PESADA. SIST SEMIAUTOMÁTICO		P	PROCESO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.1.2 PREAMASADO. ESPECIFICACIONES RESISTENCIA DOSIFICACIÓN		P	PROCESO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA AMASADORA. TIPO. TIEMPO		P	ALTERA PROPIEDADES HORM	FUNCIONALIDAD
2.1.4 RECEPCIÓN DEL HORMIGÓN COMPROB. DATOS. ALBARAN CONSISTENCIA TOMA PROBETAS		P	FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.1.5 CARACT. MEDIOS TRANSPORTE		P	PROCESO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.1.6 ASPECTO: FALSO FRAGUADO SEPARACIÓN POR TAMAÑOS		S	FIABILIDAD	"

OPERACIÓN 2.2 TRANSPORTE INTERIOR				
		P	DISGREGACIÓN	SEGURIDAD
2.2.1 MEDIOS		P	DISGREGACIÓN	SEGURIDAD
2.2.2 TIEMPOS		S	PROCESO / RENDIMIENTO	ECONOMÍA

OPERACIÓN 2.3 COLOCACIÓN				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
2.3.1 ESTABLECIMIENTO CRITERIOS SENTIDO. ALTURA. CAÍDA LIBRE		S	RENDIMIENTO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.3.2 MEDIOS Y PROCEDIMIENTOS		S	"	"

OPERACIÓN 2.4 COMPACTACIÓN				
		S	RENDIMIENTO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.4.1 ESTABLECIM. CRITERIOS Y MEDIOS		S	RENDIMIENTO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.4.2 VIBRACIÓN TIPO VIBRADOR TIPO DE PIEZA TÉCNICA TIEMPO		P	BAJA RESIST / DURABILIDAD	SEGURIDAD
2.4.3 ZONAS DIFÍCIL ACCESO		P	RECUBRIMIENTOS	FUNCIONAL / ASPECTO

OPERACIÓN 2.5 JUNTAS				
		S	RENDIMIENTO / FIABILIDAD	FUNCIONALIDAD
2.5.1 ORGANIZACIÓN DE JUNTA. TÉCNICA		P	ADHERENCIA	FUNCIONAL / SEGURID
2.5.2 CONTROL DE CEMENTOS		P	"	"
2.5.3 LIMPIEZA. TRATAMIENTOS		P	"	"

OPERACIÓN 2.6 HORMIGONADO BAJO FRÍO-CALOR-LLUVIA				
		C	DESCOMPOSICIÓN MASA	SEGURIDAD
2.6.1 CONTROL DE TEMPERATURAS		C	"	"
2.6.2 ACTUACIÓN S/ TEMP AGUA. ÁRIDOS		C	"	"
2.6.3 CANTIDAD AGUA INICIAL		C	"	"
2.6.4 LIMPIEZA DE ENCOFRADOS		P	DESCOMPOSICIÓN SUPERFIC	SEGURIDAD / ASPECTO
2.6.5 LIMPIEZA DE ARMADURAS		C	ADHERENCIA	SEGURIDAD
2.6.6 PROTECCIÓN DE LA MASA DURANTE EL FRAGUADO		C	DESCOMPOSICIÓN MASA	"
2.6.7 CONTROL PARALIZ. ENDURECIMIENT		P	RETARDO RESISTENCIA FINAL	"

OPERACIÓN 2.7 CURADO				
		P/C	ALTERACIÓN RESISTENCIA	SEGURIDAD
2.7.1 PROTECCIONES: TÉCNICAS Y TIPOS		P/C	"	"
2.7.2 MANTENIMIENTO HUMEDAD		P/C	"	"
2.7.3 CONTROL DEL ENTORNO		P	"	"
2.7.4 TÉCNICAS ESPECIALES		P	"	"

ETAPA 3: POSTERIOR AL HORMIGONADO				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
OPERACIÓN 3.1 DESCIMBRADO				
3.1.1 COMPROBACIÓN DE TIEMPOS E INFLUENCIA DE TEMPERATURAS		C	ROTURAS / HUNDIMIENTO	SEGURIDAD
3.1.2 INFORMACIÓN RESULTADOS PROBETAS. PROB. DE INFORMACIÓN		P/C	DEFORMACIÓN / ROTURAS	FUNCIONAL / SEGURID
3.1.3 PLAZOS PREVISTOS PARA CADA ELEMENTO		P/C	DEFORMACIÓN / ROTURAS	"
3.1.4 CRITERIOS PARA DESCIMBRAR ENTRESACADO		P	PROCESO	ECONOMÍA

OPERACIÓN 3.2 DESENCOFRADO Y DESMOLDEO				
		P	DEFORMACIÓN / ROTURAS	FUNCIONAL / SEGURID
3.2.1 COMPROBACIÓN DE TIEMPOS		P	DEFORMACIÓN / ROTURAS	FUNCIONAL / SEGURID
3.2.2 SECUENCIA Y PROCESO ELEMENTOS CIERRE (COSTEROS) ELEMENTOS SOPORTE (FONDOS)		P/C	ROTURAS	SEGURIDAD

OPERACIÓN 3.3 COMPROBACIÓN DIMENSIONAL				
	FUENTE	NIVEL DAÑO	DAÑO OCASIONADO	AFFECTA
3.3.1 COMPROB. POSICION (REPLANT)		P	DISTRIBUCIONES	FUNCIONALIDAD
3.3.2 COMPROBACIÓN DIMENSIONES -SECCIONES.CUELGUES.ESPESORES		P/C	DEFORM / ROTURAS / DISTRIB	FUNCIONALID / SEGUIR
3.3.3 TOLERANCIAS EN DEFORMACIONES -FLECHAS.CONTRAFLECH.ALABEO -PLOMOS.COMBAS		P	COMPATIBILIDAD RESTO	ASPECTO / FUNCIONALI
3.3.4 ACABADOS		S	PENETRACIONES	ASPECTO

OPERACIÓN 3.4 PREVISIONES ACCIONES MECÁNICAS				
		C	BAJA RESISTENCIA	SEGURIDAD
3.4.1 OBTENCIÓN fast		C	GENERAL	ECONOMÍA
3.4.2 ACEPTACION O RECHAZO		C	"	SEGURIDAD
3.4.3 COMPROBACIÓN COMPORTAMIENTO		C	"	"
3.4.4 ENSAYOS DE INFORMACIÓN		C	"	"

OPERACIÓN 3.5 REPARACIÓN DE DEFECTOS				
		S	ASPECTO	ECONOMÍA
3.5.1 DEFECTOS DE ACABADO -POROS.COQUERAS.SANGRADOS -ARISTAS.GOLPES.FALTA MATERIA		S	ASPECTO	ECONOMÍA
3.5.2 DEFECTOS DE PROTECCIÓN -FISURAS NO MECÁNICAS -RECUBRIM. ARMAD. SECUNDARIA		P	FUNCIONALIDAD	"
3.5.3 DEFECTOS DE FORMA -DIMENSIONAL. POSICIONAL		P/S	ASPECTO / FUNCIONALID	"
3.5.4 DEFECTOS MECÁNICOS		C	SEGURIDAD	SEGURID / ECONOMÍA

## BIBLIOGRAFÍA

A continuación se listan una serie de referencias bibliográficas de interés sobre el tema tratado en éste capítulo. Se indica en cada una el título, autor y editorial:

**Patología de la edificación: El lenguaje de las grietas**

Serrano Alcudia, Francisco  
Fundación Escuela de la Edificación, 1999

**Problemas, dudas y soluciones durante el proyecto y ejecución de la edificación**

Muñoz Hidalgo, Manuel y otros  
Sevilla 2001

**Diagnosis y causas en patología de la edificación**

Muñoz Hidalgo, Manuel  
Sevilla, 1994

**Conceptos y patología en la edificación**

Muñoz Hidalgo, Manuel  
Sevilla

**Prevención y soluciones en patología estructural de la edificación**

Muñoz Hidalgo, Manuel  
Sevilla

**Patología de las construcciones de hormigón armado: enseñanzas extraídas de la práctica**

Blevot, Jean  
Editores Técnicos Asociados, 1977

**Guía para la inspección y evaluación preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes**

Instituto Valenciano de la Edificación, D.L. 2002

**Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado**

Bellmunt, Rafael  
C.O. de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Cataluña, 2000

**Lesiones en el hormigón: reparación, protección**

Grunau, Edvard B.  
CEAC, 1988

**Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación: unidireccionales y sin vigas – hormigón, metálicos y mixtos**

Calavera Ruiz, José  
Instituto Técnico de Materiales de Construcciones, D.L.2002

**Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomos 1 y 2**  
Calavera Ruiz, José  
INTEMAC, 1996

**Recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales**  
Asociación Nacional de Fabricantes con Sello CIETAN, 1991

**Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas**  
Monjo Carrió, Juan  
Munilla-Lería, D.L. 2001

**Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales - tomo 3**  
(Master de rehabilitación arquitectónica de la ETSAM)  
Autores varios  
Munilla-Lería 1998

**Lesiones en los edificios: síntomas, causas, reparación**  
Varios  
CEAC, 1981-83

**Reparación y refuerzo de estructuras de hormigón. Guía FIP de buenas prácticas**  
Grupo Español del Hormigón, 1994

**Prontuario BETEC: Productos especiales para la construcción**  
BETEC, 2001

**Curso de patología de estructuras de hormigón**  
Varios  
Fundación Escuela de la Edificación, 1988

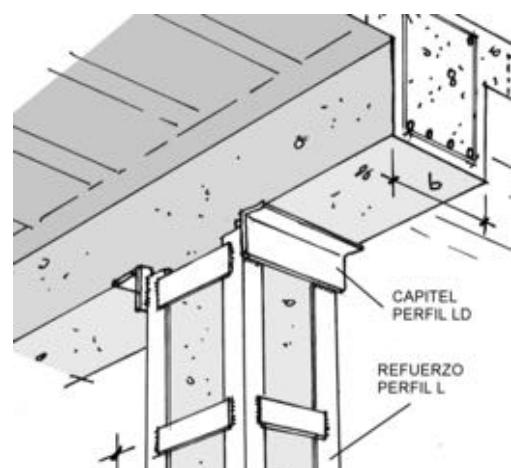
**Curso de ejecución, control de calidad y patología del hormigón armado**  
Varios  
C.O. de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid, 1995

**Patología y terapéutica del hormigón armado**  
M. Fernández Cánovas

**Reparación y refuerzo de estructuras de hormigón**  
(Guía FIP de buena práctica)  
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

**Curso sobre durabilidad y reparación de estructuras de hormigón**  
CEDEX. Madrid, 1998

**Lesiones en el hormigón. Reparación, Protección**  
Edvard B. Grunau  
Ed CEAC, 1986

**TOMO 2****CAPITULO II****REFUERZOS Y REPARACIONES EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN**

**CAPITULO II****REFUERZOS Y REPARACIONES EN LAS  
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO**

Jaime Santa Cruz Astorqui

*Indice:*

1. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO .....	87
2. ACTUACIONES DE EMERGENCIA .....	90
3. PROTECCION Y PREVENCIÓN .....	92
3.1 Protección	
3.2 Seguimiento en servicio	
4. REPARACIONES .....	94
4.1 Preparación de la superficie	
4.2 Reparación de fisuras	
4.3 Protección frente a la corrosión de armaduras	
4.4 Reposición del hormigón	
5. REFUERZOS .....	101
5.1 Interfase de unión	
5.2 Refuerzos con armaduras pasivas	
5.3 Refuerzos con pletinas de acero adheridas con resina epoxi	
5.4 Refuerzos con laminados compuestos	
5.5 Refuerzos en pilares de hormigón armado	
5.6 Refuerzos en vigas de hormigón armado	
6. SUSTITUCIONES .....	122
BIBLIOGRAFÍA .....	124

Una vez realizada la inspección de una estructura de hormigón que presenta daños, se deberá proyectar la intervención precisa para devolver a dicha estructura las características que exige la normativa para su correcto funcionamiento y para asegurar su durabilidad.

Este capítulo trata de exponer de forma clara y resumida, las diferentes operaciones a las que un técnico puede enfrentarse en cualquier obra de edificación en éste tipo de intervenciones. Al tratarse de un tema sumamente delicado debido a la magnitud de sus implicaciones, aquí se tratará únicamente de exponer las diferentes técnicas y sus particularidades, dejando para el especialista el dimensionado y caracterización final de las soluciones proyectadas y aconsejando la consulta técnica a las empresas especializadas, salvo en aquellos casos que por la simplicidad del problema y su repercusión, puedan resolverse directamente por el técnico director de obra.

## 1. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Como ya se ha dicho, una vez realizado el estudio de diagnosis de la estructura, e identificadas claramente las lesiones para después tipificarlas, se hace necesario realizar un análisis etiológico que determine las causas que provocaron tales lesiones (ver cap. II).

Posteriormente, y en base a éste análisis, se confeccionará un proyecto de intervención cuyo objetivo sea la consolidación de la estructura y su reparación (o su adecuación a un nuevo uso).

Todas las técnicas que intervienen en los procesos de reparación y refuerzo, se basan en dos premisas:

- Reconstruir el elemento de H.A. deteriorado para asegurar unas condiciones mínimas de funcionamiento.
- Reforzar (si es el caso) dicho elemento para mejorar sus prestaciones

Existen varias formas de intervenir en elementos estructurales, aunque lo más frecuente es la combinación de varias de ellas en un mismo edificio:

- **Actuaciones de emergencia**
  - Desalojo
  - Apuntalamiento

- **Protección y prevención**
  - Limpieza
  - Protección
  - Seguimiento en servicio
- **Reparación**
  - Reconstrucción de a geometría
  - Reparación de fisuras
  - Protección de las armaduras
- **Refuerzos** en pilares, vigas y losas
  - Con armaduras pasivas (recrcidos de H.A.)
  - Con pletinas de acero y resina epoxi
  - Con angulares
  - Con laminados de composites
- **Sustituciones**
  - Sustituciones funcionales
  - Sustituciones físicas

Dependiendo del estado de la estructura (hormigón y armadura), y de la evaluación de su capacidad mecánica ante los nuevos estados de carga, se tomará la decisión de reparar, reforzar o bien sustituir el elemento afectado. Normalmente los criterios de actuación son los siguientes:

***Desalojo y apuntalamiento:***

Solo es necesario el desalojo, cuando a juicio del técnico la estructura presenta claros síntomas de lesiones graves que indiquen un posible colapso.

El apuntalamiento en éstos casos es imperativo antes de cualquier intervención (incluso de la inspección). De cualquier forma, el apuntalamiento de la estructura es un paso previo a cualquier intervención, con el objeto de descargar el elemento a intervenir y operar sobre él con el mayor nivel de seguridad.

***Protección y prevención:***

En aquellos casos en los que se evidencien lesiones de carácter leve, y que a juicio del técnico no influyan en la capacidad mecánica de la estructura, se procederá a las labores de protección, con el objeto de paralizar la posible progresión de la lesión.

***Reparación:***

Si la estructura se encuentra dañada, y presenta uno o varios síntomas en un nivel medio o grave, entonces se impone la reparación, con el objeto de restituir la capacidad mecánica del elemento original.

Las reparaciones se efectúan en estructuras en las que el técnico constata que, una vez reparada la lesión, el elemento reparado soportará perfectamente las cargas de servicio.

Normalmente, las lesiones que aconsejan la reparación, son:

- Oxidación de la armadura (sin merma de sección aparente)

- Degradación del hormigón de revestimiento (carbonatación, erosión, etc)
- Fisuración superficial, normalmente debida a efectos reológicos.

**Refuerzos:**

Sin embargo, en el caso de presentarse lesiones que, en base a una diagnosis, evidencien una insuficiencia de sección de hormigón y/o una falta de sección útil de armadura debido a oxidación, ejecución y/o cálculo incorrecto, aumento de la carga, etc, entonces se hace necesario el refuerzo para obtener la geometría y cuantía de acero necesarios para asegurar un correcto funcionamiento del elemento estructural.

En definitiva, se trata de incorporar nuevos elementos a la estructura que colaboren con los dañados.

**Sustituciones:**

Podemos entender que es el caso de un refuerzo en situaciones críticas, en las que constatamos que la estructura existente es incapaz de asumir ningún porcentaje de carga, o bien, que el coste de ejecución (o la dificultad) del refuerzo supera el coste derivado de una sustitución.

En realidad, la sustitución de un elemento estructural es en muchos casos mas sencilla que el refuerzo, salvo por el sistema de apeo que deberá asegurar una estabilidad plena del conjunto una vez realizada la demolición del elemento a sustituir.

## 2. ACTUACIONES DE EMERGENCIA

En aquellos casos en que determinemos un riesgo de colapso de la estructura (o de parte de ella), se hace necesario el apuntalamiento urgente de la misma, y en función de la inmediatez de dicho riesgo, el desalojo inmediato del edificio. Como ejemplo, recordaremos las fisuras en pilares provocadas por el fallo del hormigón ante una excesiva compresión.

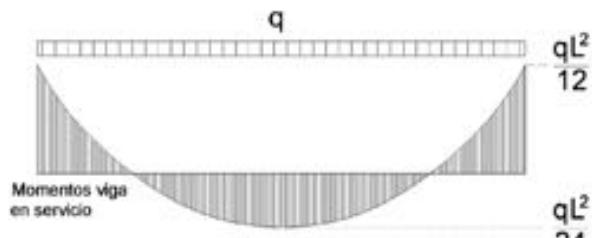


*Apeo de estructura: el apeo mediante sopandas permite descargar a la viga del peso de los forjados, permitiendo efectuar la reparación de aquella.*

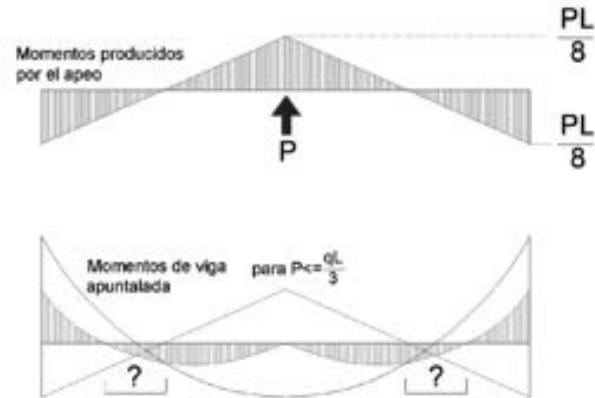
El estudio de apuntalamiento debe ser tal que:

- No afecte a otros elementos estructurales que puedan sufrir daños. Es decir, el apeo debe transmitir la totalidad de las cargas hasta el terreno, o bien hasta algún elemento estructural que permita hacerlo con suficiente grado de seguridad.
- La distribución y colocación de los apeos deberá permitir el tránsito de operarios y máquinas para la intervención posterior, así como permitir realizar las labores de reparación/refuerzo en el elemento dañado. En la reparación de vigas, el apeo directo por su cara inferior puede obstaculizar cualquier operación posterior.
- Los elementos de apeo deben estar calculados en función de las cargas que deben soportar.

- El orden de colocación y puesta en carga será del centro a los apoyos en elementos horizontales y desde la planta inferior hacia arriba. Hay que poner especial cuidado en la presión de apuntalamiento, con el objeto de no deformar excesivamente la pieza (caso de vigas y forjados) e introducir solicitudes de diferente signo, que podrían provocar roturas (ver figura):



Esquema de momentos de viga en servicio



Esquema de momentos de viga apuntalada

### 3. PROTECCION Y PREVENCIÓN

En aquellos casos en que podamos determinar que no existe un riesgo inminente, e incluso que la estructura no está comprometida pero que se hace necesaria una observación periódica para evaluar posibles evoluciones de lesiones (fisuras, corrosiones, etc), entonces podemos actuar de la forma siguiente:

#### 3.1 PROTECCIÓN

Normalmente se recurre a la aplicación de capas de protección del hormigón que presenta indicios de corrosión o pequeñas fisuras, a efectos de detener el proceso e impedir la futura penetración de agentes corrosivos, o bien después de una reparación y/o refuerzo, para proteger al hormigón de los agentes que provocaron la lesión reparada.

Los diferentes sistemas son los siguientes:

**Hidrofugación e Impregnaciones:** La hidrofugación del hormigón se consigue con la aplicación de finas películas de líquidos a base de siliconas (silano o siloxanos), que impiden la penetración del agua en la red capilar. Este sistema no impide tal penetración en caso de una corriente de agua o agua en reposo (no se trata de un sellado). Las impregnaciones son sistemas que impiden la penetración del agua y las soluciones en el hormigón, sin impedir la difusión del vapor interno. Se trata de sistemas que impiden el proceso de absorción capilar del agua en el hormigón

- Soluciones orgánicas de silicio: silicatos, silanos, siloxanos, resinas de silicio
- Resinas: polimetacrilatos (PMMA) de baja viscosidad y resinas epoxi
- Aceite de linaza: de poca durabilidad

**Pinturas** : Se forma una película cerrada adherida al hormigón. En caso de ser necesario, se deben utilizar pinturas de poro abierto que permitan cierta difusión, puesto que en caso contrario, podrían producirse ampollas y desconchones. Para obtener un efecto de sellado, habrá que aplicar un espesor suficiente de pintura.

**Productos de sellado:** Proporcionan una segura barrera ante el paso de los líquidos, e incluso impiden la salida del agua interna en forma de vapor. En productos sellantes a base de disolventes, hay que tener en cuenta que la evaporación del disolvente deja poros, que permiten cierta difusión al vapor. Este efecto no tienen lugar en sellantes sin disolventes:

- Resina epoxi (EP)
- Resina de poliuretano (PU)
- Resinas de polimetilmetacrilato (PMMA)
- Resinas de poliéster insaturadas (UP)

**Revestimientos:** Su función, es además, la de proteger el hormigón ante efectos mecánicos. Su espesor es mayor que el los productos sellantes (0,3 a 1 mm en

revestimientos delgados, y > 1mm en revestimientos gruesos). Suele aplicarse para eliminar irregularidades y zonas débiles en la superficie.

### **3.2 SEGUIMIENTO EN SERVICIO**

En algunos casos en los que no se evidencien lesiones o bien éstas son de muy poca importancia, la metodología a aplicar es la de un seguimiento periódico de aquellos puntos en donde se hayan detectado dichas lesiones, para evaluar su evolución. Normalmente basta con una inspección visual, pero puede ser aconsejable en cierto tipo de fisuras, la colocación de testigos o fisurómetros para evaluar el su desarrollo y crecimiento.

## 4. REPARACIONES

Básicamente podemos diferenciar los siguientes procedimientos según se trate de un deterioro del hormigón, de fisuras o bien de corrosión de la armadura:

- *Reparación de la superficie*
- *Reparación de fisuras del hormigón*
- *Reparación de las armaduras corroídas*
- *Reparación de juntas*

### 4.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

En cualquier proceso de reparación (o de refuerzo) del hormigón, es fundamental asegurarse de una perfecta preparación de la superficie sobre la que se aplicará el material de reparación o de refuerzo, y la utilización (en su caso) de adhesivos o puentes de unión entre el hormigón viejo y el nuevo:

#### 4.1.1 Saneado y limpieza.

La superficie del hormigón existente ha de ser convenientemente preparada para asegurar una perfecta adherencia entre éste y el hormigón de reparación. Para ello se picará el hormigón en mal estado y se limpiará mediante uno de los siguientes sistemas:

- Arena proyectada: muy indicado para provocar rugosidad en la superficie, pero produce gran cantidad de polvo.
- Chorro de agua (10 a 40 MPa de presión). No se produce polvo. Se eliminan las partículas sueltas, el hormigón con escamas y las capas de vegetación
- Chorro de agua de alta presión (40 a 120 MPa): De mucha mayor penetración en caso de fisuras, tiene el inconveniente de producir coqueras.
- Proyección de vapor de agua: puede añadirse un producto limpiador. No se elimina el hormigón, simplemente se limpia su superficie.

Cuando se pretenda aplicar resinas como adhesivo o puente de unión, la superficie de hormigón deberá...

- Ser plana y regular.
- Estar seca (humedad menor del 4%)
- Asegurar una resistencia mínima (aprox. 2 MPa en ensayo de arrancamiento)
- Estar limpia de polvo, pinturas, aceite, partículas sueltas, etc (con los métodos arriba señalados).

#### 4.1.2 Adhesivos y puentes de unión

Una vez preparada la superficie del hormigón existente, se deben aplicar productos que garanticen una perfecta unión con el material de reparación:

Pasta de cemento: con baja relación A/C, aplicada con brocha

Mortero de cemento: de alta o baja viscosidad, arena y cemento a partes iguales mezclados con agua.

Sistemas de adhesivos en base cemento modificado con plásticos: el producto plástico se mezcla en el agua de amasado de la pasta de cemento o el mortero. Suelen ser dispersiones libres de plastificantes con copolímeros propioni-vinílicos, o bien dispersiones de resinas acrílicas. Este tipo de aditivos se utilizan para mejorar la resistencia de la unión, la trabajabilidad y la capacidad de retención de agua (y consecuentemente bajar la relación A/C).

Resinas de agentes emulsionables: es una combinación de resina epoxi emulsionable en agua, una resina de poliamida endurecible y un material de relleno (que puede llegar al 50% en peso).

#### 4.2 REPARACIÓN DE FISURAS

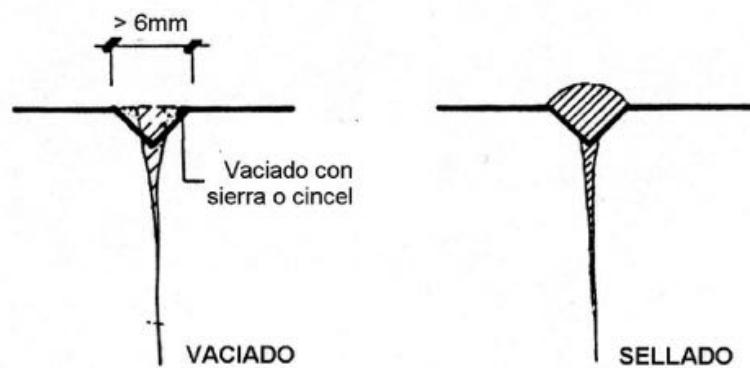
En aquellos casos en que se detecten fisuras o grietas que aunque importantes no comprometan la estabilidad de la estructura, la intervención aconsejada es la de llenar o inyectar con morteros a base de resinas, para recuperar las características originales de la sección de hormigón y evitar la penetración de agentes externos (corrosión). Los materiales aconsejados para éste tipo de reparación, son:

- Resina epoxi (EP): son polímeros termoestables de
  - alta resistencia mecánica
  - alta resistencia química
  - alta resistencia a la abrasión
  - muy buena adherencia al acero y al hormigón
  - buena durabilidad
- Resina de poliuretano (PU)
- Resina acrílica (PMMA)
  - Baja adherencia al acero
  - Baja resistencia ante los álcalis
- Resina de poliéster sin saturar (UP)
  - Baja adherencia al acero
  - No resisten los álcalis del cemento
  - Sufren retracción de curado
- Poliuretanos:
  - Resistencias mecánicas buenas
  - No presenta buena resistencia a los álcalis y ácidos

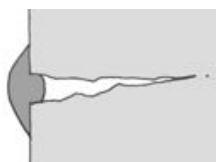
### Proceso de inyección de las resinas:

- Perforación de los agujeros de inyección y limpieza por soplado de los agujeros y fisuras
- Instalación de los inyectores
- Taponamiento de la superficie en el área de la superficie que va a ser inyectada
- Mezcla del material de inyección
- Inyección de la fisura

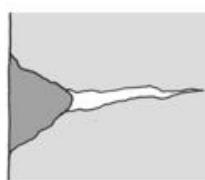
#### **4.2.1 Reparación y sellado de una fisura superficial mediante resina epoxi:**



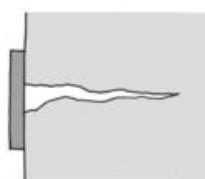
En las siguientes figuras se esquematiza el sellado de una fisura mediante:



Sellado superficial con masilla epoxi



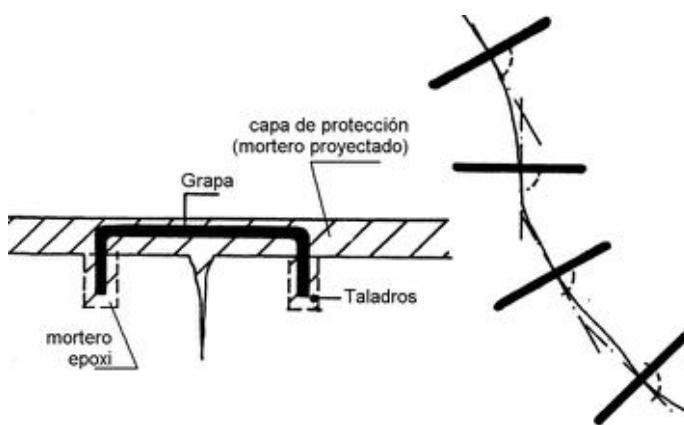
Cajeado previo y posterior sellado con masilla epoxi



Sellado con banda de fibra de vidrio o carbono, adherido y emplastecido con resina epoxi

#### **4.2.2 Sistema de cosido de fisuras mediante grapas de acero**

Este sistema refuerza la capacidad a tracción del hormigón en la zona fisurada, pero se hace necesario sellar previamente dicha fisura para asegurar su estanqueidad:



Es importante subsanar el problema que originó la fisura. En caso contrario, corremos el riesgo de trasladar la fisura a otra zona de la pieza afectada.

#### **4.2.3 Reparación de fisuras debidas a la retracción hidráulica**

Como métodos generales, se proponen los siguientes:

En soleras:

- Realizar juntas con sierra de disco
- Picar solera antigua y hormigonar nueva solera con mallazo  $\varnothing 6$  a 20x20

En losas:

- Picar la fisura y llenar con lechada o mortero de resina epoxi fluido.
- Picar zona afectada hasta mallazo reparto. Reforzar la malla antigua con otra malla. Aplicar resina epoxi para facilitar adherencia. Hormigonar con hormigón de las mismas resistencias y baja retracción.

### **4.3 PROTECCION FRENTE A LA CORROSION DE LAS ARMADURAS**

En aquellos casos en los que se constate un proceso de corrosión en la armadura, se deberá analizar el grado y extensión de deterioro del hormigón de recubrimiento (carbonatación, cloruros, etc), pues habrá que eliminarlo para dejar al descubierto la totalidad de la superficie corroída o en proceso de corrosión.

Una vez descubierta la armadura, se deberá eliminar la capa de óxido con chorro de arena, cepillos de alambre, etc. Si la capa de óxido es superficial, bastará con su eliminación y posterior protección, pero en caso contrario, será necesario sustituir o reforzar la armadura deteriorada (ver capítulo de refuerzos).

*Restauración de la capa de protección:* una vez limpia la armadura, puede aplicarse una nueva protección mediante uno de los siguientes sistemas:

**Mortero de cemento:** se utiliza un mortero de cemento modificado con plástico, y su eficacia es equivalente a la del recubrimiento original, basado en la pasivación de la armadura por medio alcalino proporcionado por el cemento.

Su aplicación se realiza en capas sucesivas de 5 mm de espesor. Tales morteros deberán aditivarse con plastificantes para incrementar su densidad y trabajabilidad. Cuando no puedan conseguirse los espesores mínimos marcados en la normativa (EHE), se deberá aplicar una pintura protectora a la armadura y también una protección superficial al hormigón (selladores, pinturas, etc).

Es muy recomendable la aplicación de un puente de unión en la superficie del hormigón antiguo, para una perfecta adherencia con el hormigón/mortero de protección.

**Mortero de resina epoxi:** Es un sistema bastante más caro, pero de mejores prestaciones, suele utilizarse cuando los espesores de protección son inferiores a los establecidos en la normativa, y cuando exista cierta dificultad de aplicación del mortero. Su aplicación es en pequeñas capas.

Hay que tener cuidado con la humedad del hormigón, así como las bajas temperaturas, pues podrían impedir la adherencia con el hormigón y la completa polimerización de la resina (su endurecimiento).

Antes de aplicar la capa de protección de mortero de resina, se deberá aplicar a las armaduras una capa de resina epoxi con productos inhibidores de la corrosión. Posteriormente, y con ésta capa todavía fresca, se puede espolvorear con arena de cuarzo para mejorar la adherencia del mortero de resina de protección.

Como ejemplo de producto aplicable, el Sika TOP 110 EPOCEM es un revestimiento anticorrosión y también capa de adherencia para armaduras de hormigón, a base de cemento y resinas epoxi. Puede proyectarse. Sus aplicaciones específicas son:

- Revestimiento anticorrosión de armaduras en reparaciones de hormigón.
- Protección preventiva de armaduras en secciones delgadas.
- Capa de adherencia en superficie de hormigón o mortero.
- Unión de hormigón fresco a hormigón endurecido.

#### 4.4 REPOSICIÓN DEL HORMIGÓN

La reposición de hormigón es frecuente tanto en reparaciones puntuales por corrosión de armaduras y disgregación del hormigón, como (y sobre todo) en los refuerzos, pues en ambos casos se hace necesario sanear el hormigón deteriorado (normalmente el recubrimiento de las armaduras) y restituir la geometría inicial de la pieza. La reposición puede efectuarse mediante alguno de los siguientes materiales:

**Resinas:** Es el sistema más caro, pero el que ofrece mayores prestaciones. Hay que tener en cuenta su mayor coeficiente de dilatación térmica (hasta 10 veces mayor que el del hormigón). Ofrecen altas resistencia iniciales, corto tiempo de curado y altas resistencias a ataques químicos.

**Mortero de cemento modificado con plásticos:** son morteros de cemento u hormigones con adición de plásticos (en un 5 % o mas, en peso de cemento) que se incorporan disueltos en el agua de amasado en forma de polvo o emulsión. Esta adición mejora las prestaciones finales del mortero: resistencias mecánicas iniciales

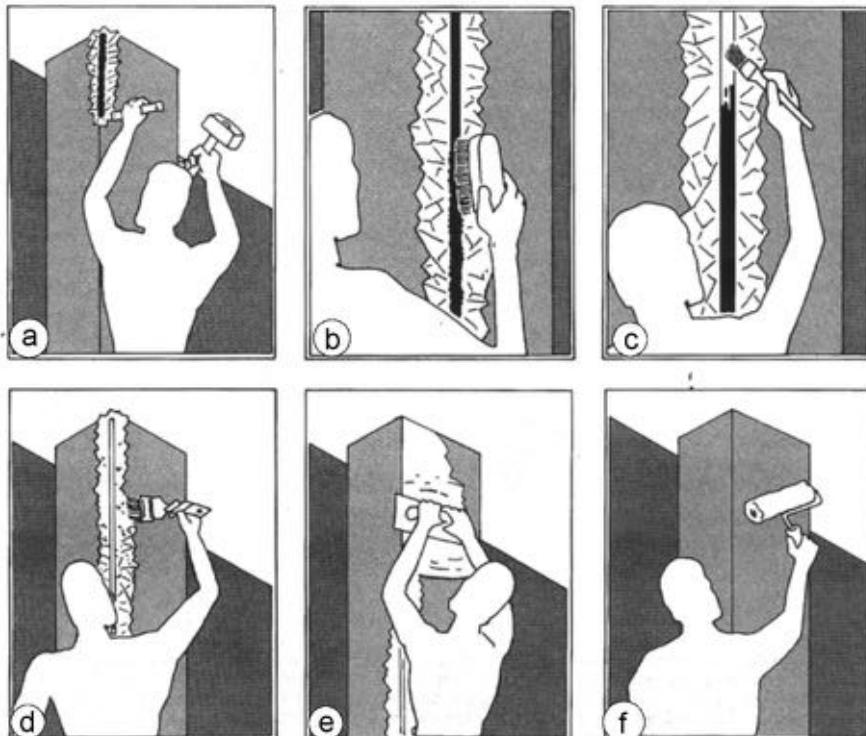
y finales, trabajabilidad, ausencia de retracción, etc. Los plásticos de adición pueden ser:

- Resinas acrílicas
- Butadieno copolimerizado
- Propionato de vinilo copolimerizado
- Propionato de polivinilo
- Estirol butadieno
- Resina epoxi

En cualquier caso, se debe garantizar una suficiente resistencia a los álcalis a fin de evitar su saponificación.

**Hormigón y mortero de cemento:** este sistema es más aconsejable cuando el espesor de la capa a reponer es mayor. El tamaño máximo del árido no debe sobrepasar la tercera parte del espesor a llenar. Es conveniente la utilización de plastificantes para mejorar la trabajabilidad y para reducir la relación A/C (y reducir la retracción plástica)

En la figura siguiente se describe la ejecución de una reparación y reconstrucción de una esquina de un pilar de H.A., deteriorada por oxidación de la armadura longitudinal:



Pasos a seguir en una reparación de una estructura de H.A.

- a) Picado del hormigón de recubrimiento y en general de la zona deteriorada hasta descubrir el hormigón sano.
- b) Cepillado y limpieza de la superficie saneada de hormigón y de la armadura (óxido existente)

- c) Protección de la armadura (pasivación).
- d) Aplicación de un puente de unión.
- e) Aplicación manual de un mortero de reparación.
- f) Protección superficial del hormigón exterior.



*Ejemplo de reparación de pilar en esquina: zona superior saneada; zona inferior reparada.*

## 5. REFUERZOS

Cuando la simple reparación no es suficiente, pues la pieza reparada es insuficiente desde el punto de vista de su resistencia mecánica, entonces se hace necesario reforzar la estructura mediante uno de los siguientes sistemas:

- Reemplazando el material pobre o deteriorado, mediante un material (hormigón y/o acero) de mejor calidad.
- Añadiendo material que colabore con el existente en su funcionamiento estructural.
- Redistribuyendo las solicitudes mediante deformaciones impuestas al sistema estructural.

Los condicionantes principales de todo refuerzo deben ser la compatibilidad plena y la continuidad estructural con el material existente.

Los refuerzos se diseñarán y dimensionarán según las necesidades concretas de cada elemento estructural, en función de su estado y el grado de solicitud. Por ello, el refuerzo podrá asumir un porcentaje determinado de la carga total, en función de su diseño y de su puesta en carga. Así, podemos diferenciar:

- Los refuerzos que únicamente soportan las sobrecargas
- Los refuerzos que soportan sobrecargas y parte de las cargas propias

En el último caso, si el refuerzo se diseña para soportar la totalidad del peso propio, estaremos hablando en realidad de una sustitución funcional.

En la práctica, todos los refuerzos pueden resolverse mediante uno (o una combinación) de los siguientes sistemas constructivos:

- Estructuras metálicas colaborantes
- Estructuras de hormigón armado colaborantes
- Estructuras pre/post tensadas colaborantes
- Armaduras o fibras de carbono encoladas (epoxi) a la superficie de la pieza

### 5.1 INTERFASE DE UNIÓN

La interfase de unión entre el hormigón nuevo (de refuerzo) y el existente, es uno de los puntos clave en todo refuerzo. Se debe asegurar una transmisión perfecta y continua de todos los esfuerzos entre hormigones (básicamente de compresión y tangenciales). Para una correcta ejecución y elección del material, se debe tener en cuenta:

- Las variaciones dimensionales producidas por el calor de hidratación, sobre todo cuando el refuerzo es de gran volumen.

- Los efectos reológicos en la hidratación del hormigón de refuerzo.
- La insuficiente adherencia por suciedad, falta de porosidad y degradación de la superficie del hormigón viejo.

En definitiva, habrá que asegurar estos términos con la utilización de hormigones de:

- Baja fluencia y retracción
- Baja relación A/C
- Módulo de elasticidad similar al del material existente.

Actualmente, las casas comerciales especializadas (Sika, Bettor, etc) ofrecen productos en base de resinas denominados puentes de unión, que aseguran el perfecto comportamiento de esta interfase. Es importante reseñar que éstos adhesivos tienen un *tiempo abierto*, es decir, que durante las 6 primeras horas (aprox) todavía no han endurecido y mantienen la capacidad de pegar el material de refuerzo. Por ello, no se deberá aplicar dicho material una vez endurecido, pues el puente de unión se comportaría como separador de ambos hormigones.

En la actualidad, casi todos los refuerzos se realizan mediante hormigón armado (refuerzo con armaduras), mediante pletinas de acero o mediante laminados de fibra de carbono.

## 5.2 REFUERZOS CON ARMADURAS PASIVAS

Básicamente consisten en añadir más armadura a la existente, con el objeto de aumentar la cuantía mecánica de acero o bien restituir la merma de armadura debida a la corrosión.

Una vez descargado el elemento, se debe eliminar el recubrimiento de las armaduras a reforzar (o bien practicar rozas) para proceder a solapar la armadura de refuerzo y restituir el recubrimiento con hormigón nuevo. La continuidad de las armaduras puede realizarse mediante:

- Una suficiente longitud de solape con la antigua
- Anclajes en forma de patilla introducidos en el hormigón con resinas epoxi.
- Empalmes por soldadura con la armadura existente (cuidado con el calor producido).

## 5.3 REFUERZOS CON PLETINAS DE ACERO ADHERIDAS CON RESINA EPOXI

Es una técnica mucho más sencilla y en algunos sentidos más efectiva. Como inconvenientes están su mayor coste (por las resinas) y la necesidad de proteger ante el fuego dichas resinas.

Básicamente consiste en aumentar la capacidad resistente de la sección ante las solicitudes de tracción, mediante el aumento de la cuantía de acero añadiendo

pletinas de acero. Tiene la gran ventaja sobre el sistema anterior de ser menos traumático y más sencillo, pero sobre todo, el brazo de palanca obtenido es mayor, aumentando la efectividad del refuerzo.

En este sistema hay que tener especial cuidado en:

- *El ancho del refuerzo*: no debe sobrepasar los 200 mm. En caso contrario, puede fallar el adhesivo.
- *El espesor de la capa de adhesivo*: cuanto mayor sea, mayor riesgo de desplazamiento entre pletina y hormigón. Normalmente debe estar entre 0,5 a 5,0 mm.
- *La superficie del acero*: para asegurar una buena adhesión de la resina. Puede tratarse con chorro de arena, previo lavado de aceites y grasas. Es importante después del lavado, aplicar protectores ante corrosión, que además refuerzan la adhesión, no estando indicadas las imprimaciones de cinc ni el galvanizado en caliente.
- *La superficie del hormigón*: debe limpiarse y tratarse como se ha explicado en el punto anterior (cepillado, chorro de arena, etc).

#### 5.4 REFUERZOS CON LAMINADOS COMPUESTOS (“COMPOSITES”)

Este sistema es conceptualmente idéntico al anterior, con la ventaja de utilizar un material flexible y de muy fácil aplicación.

Los laminados utilizados (composites) se componen de dos fases:

Las fibras (o refuerzo) que se encargan de la resistencia mecánica. Pueden ser:

- De carbono (alto módulo elástico, resistencia mecánica y fatiga)
- De vidrio (resistencias medias. Debe utilizarse ensimaje resistente a los álcalis –fibra de vidrio AR-).
- De aramida o KEVLAR (muy alta resistencia. Utilizada en cables).

La matriz, que da monolitismo al conjunto y protege a la fibra de los ataques químicos, de la abrasión, etc. Puede estar compuesta de polímeros termoestables o termoplásticos, pero siempre debe ser compatible con la fibra utilizada.

El composite mas utilizado en refuerzos de hormigón es el laminado CFRP, formado por una matriz de resina epoxi reforzada con fibra de carbono.

El laminado CFRP se fabrica por extrusión en láminas de 250 a 500 m, con mas del 60% de fibra en volumen. Sus características principales son:

- Color: negro
- Dimensiones: 50 mm x 1,2 mm (ancho x espesor)

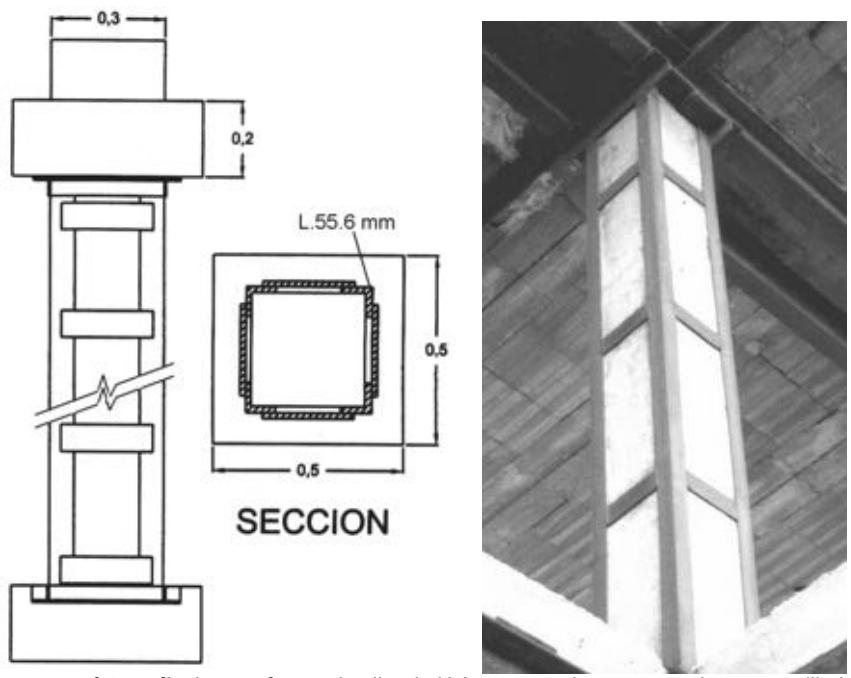
- Densidad: 1,6 k/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Young: 150.000 MPa
- Resistencia a tracción: 2.400 MPa
- Alargamiento en rotura: 1,4 %
- No presenta periodo plástico (son perfectamente elásticas y totalmente frágiles).

A continuación se describen algunos sistemas de refuerzo, según el elemento estructural a reforzar:

## 5.5 REFUERZOS EN PILARES DE HORMIGÓN ARMADO

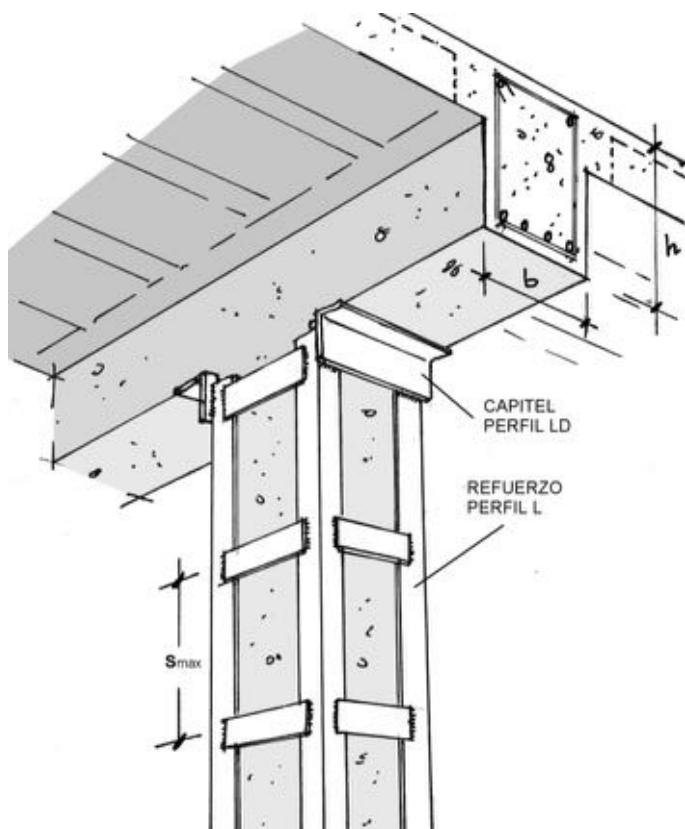
**5.5.1 Refuerzo con angulares empresillados:** Es sin duda el sistema más sencillo de ejecución, y con un mayor control de la capacidad mecánica del refuerzo. Consiste en “abrazar” con una caja de angulares el pilar existente, de tal forma que puedo transmitir una parte o la totalidad de la carga a través del refuerzo. Las presillas tienen como objeto reducir la longitud de pandeo de los angulares. Si se aplican resinas epoxi entre los angulares y el hormigón, las tensiones de compresión del pilar pueden transmitirse al refuerzo por rozamiento además de por el efecto de zunchado conseguido.

Para la unión del nuevo capitel con el nudo superior, se debe adherir la placa metálica con resina epoxi :

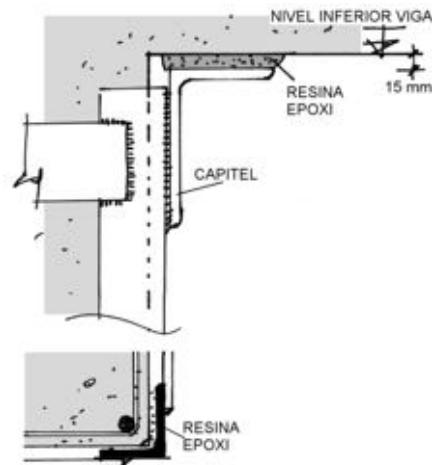


Esquema y fotografía de un refuerzo de pilar de H.A. con angulares en esquina empresillados

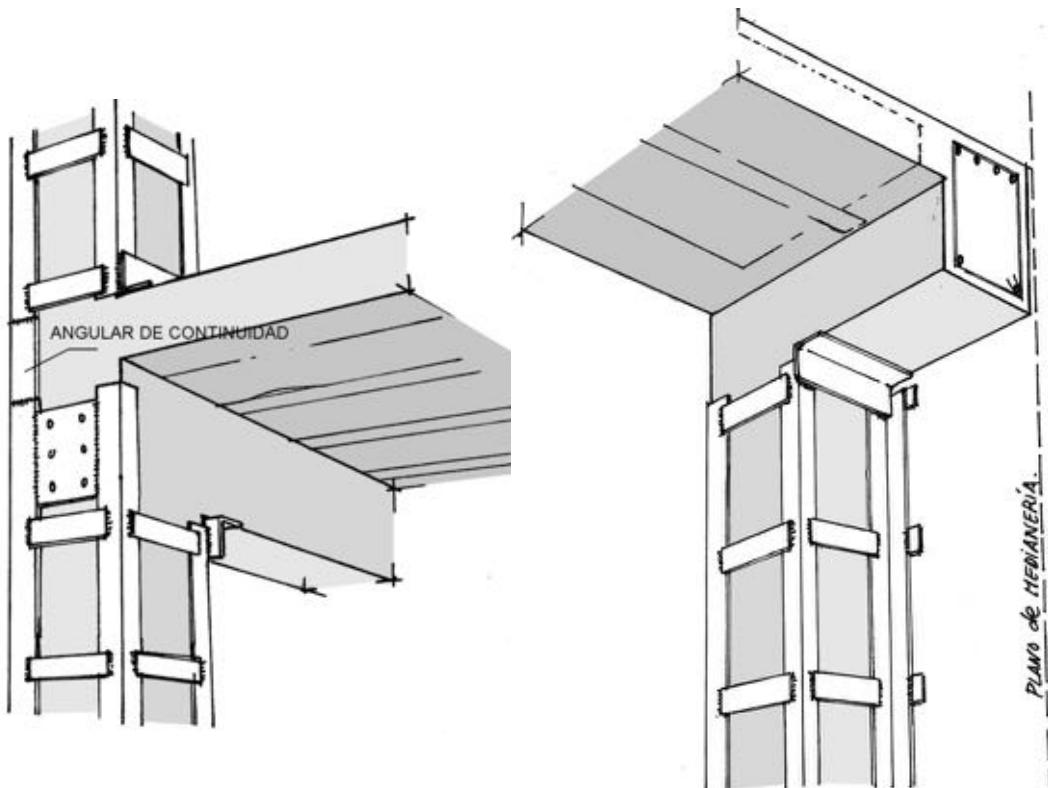
En la siguiente figura se muestra un sistema de unión del refuerzo del pilar y la viga de hormigón, mediante un capitel de acero. Como se ve en el detalle, se hace necesario la utilización de morteros de resinas expansivos para asegurar un perfecto contacto y la puesta en carga del refuerzo:



Refuerzo en viga intermedia



Detalle de unión de capitel a estructura

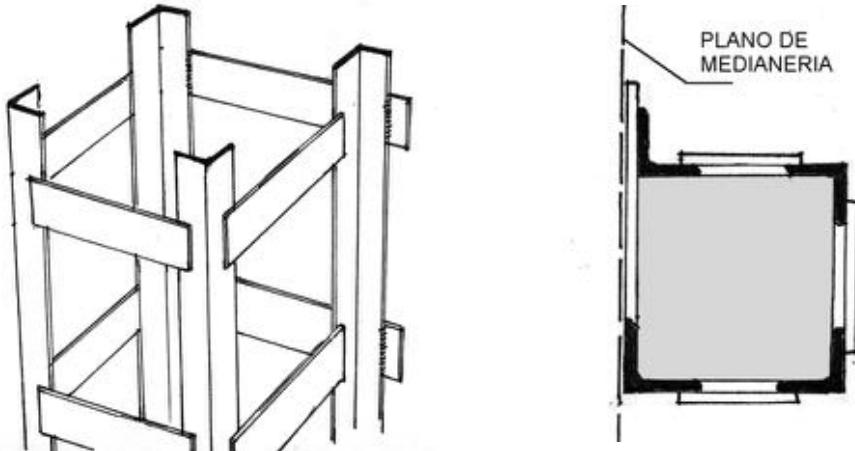


Refuerzo en pilar de esquina en fachada (izqda: vista desde la fachada - dcha: vista desde el interior)

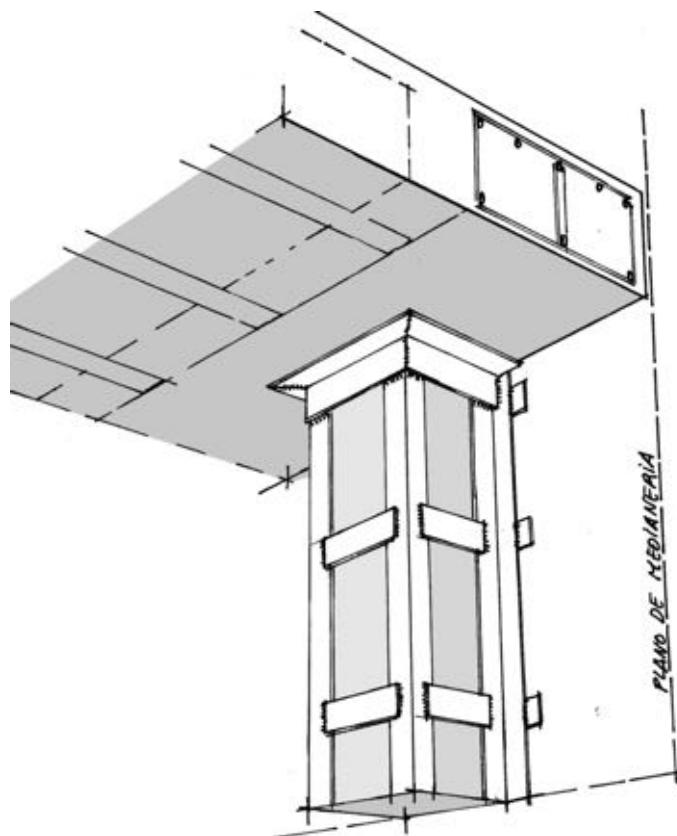
Sin embargo, como se ve en la figura anterior, tal solución se complica en pilares de medianería o de fachada, al no tener ninguna viga que permita el apoyo del refuerzo. En tales casos se optará por colocar en fachada un angular de continuidad con el

refuerzo del pilar superior, y todo ello soldado a una placa de acero convenientemente anclada al pilar y adherida con resina epoxi.

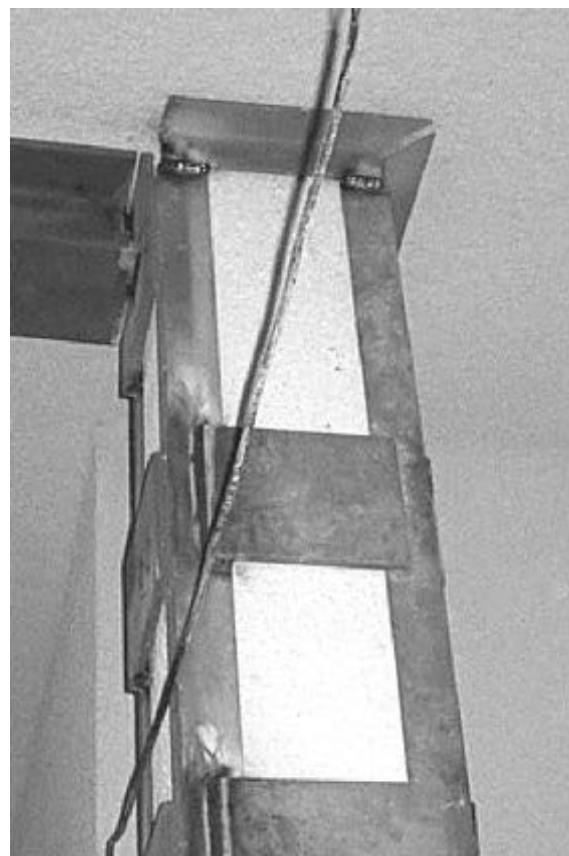
En el caso de pilar de medianería, no se puede proceder a la soldadura de las presillas del refuerzo en el plano de medianera, por lo que se introducirán previamente soldadas en el espacio entre pilar y fábrica de medianera (espacio de junta). Además, dichas presillas deben sobresalir para permitir su soldadura posterior:



En el caso de estructuras de vigas planas de H.A., la unión superior del refuerzo es mas sencilla, utilizándose para ello un capitel perimetral formado con angulares, que se retacará con mortero de resinas:



Refuerzo de pilar de medianería: caso de viga plana

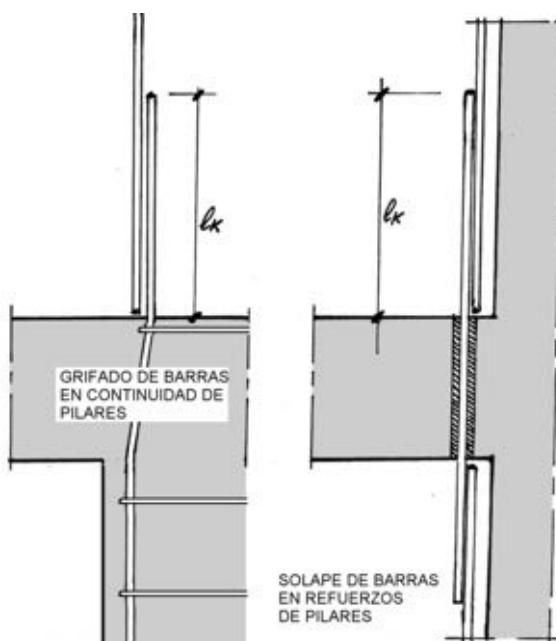


*Ejemplos de refuerzos de pilares mediante angulares empresillados*

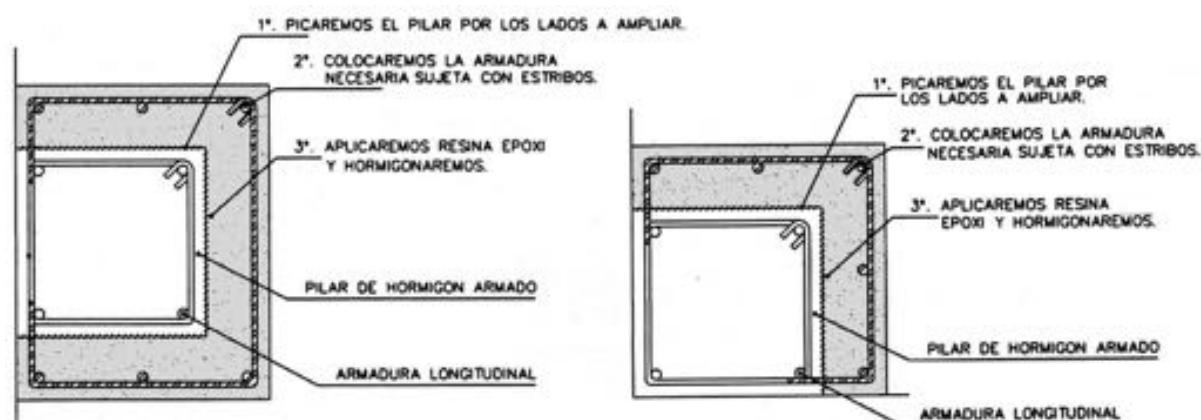
**5.5.2 Refuerzos con hormigón armado:** Este sistema es más complicado debido sobre todo a la dificultad que entraña el vertido de hormigón. Aun así, es el que proporciona mayor protección al pilar dañado (o insuficiente) y permite obtener un comportamiento más homogéneo del conjunto pilar-refuerzo. El gran inconveniente es el aumento considerable de sección, que habrá que valorar en cuanto a la disminución de superficie útil producida.

En cuanto a la continuidad de la armadura entre diferentes tramos de pilares, se hace necesario perforar el forjado (o capitel) en el perímetro del pilar, a efectos de pasar los redondos de solape. Dichas perforaciones se llenarán de resina epoxi antes de comenzar con la puesta en obra del refuerzo.

Como alternativa, se puede prescindir de dar continuidad a la armadura de refuerzo entre plantas, pero en éste caso, el refuerzo es local de cada tramo de pilar, actuando de forma combinada por fricción y por efecto de zunchado (efecto de Poisson):

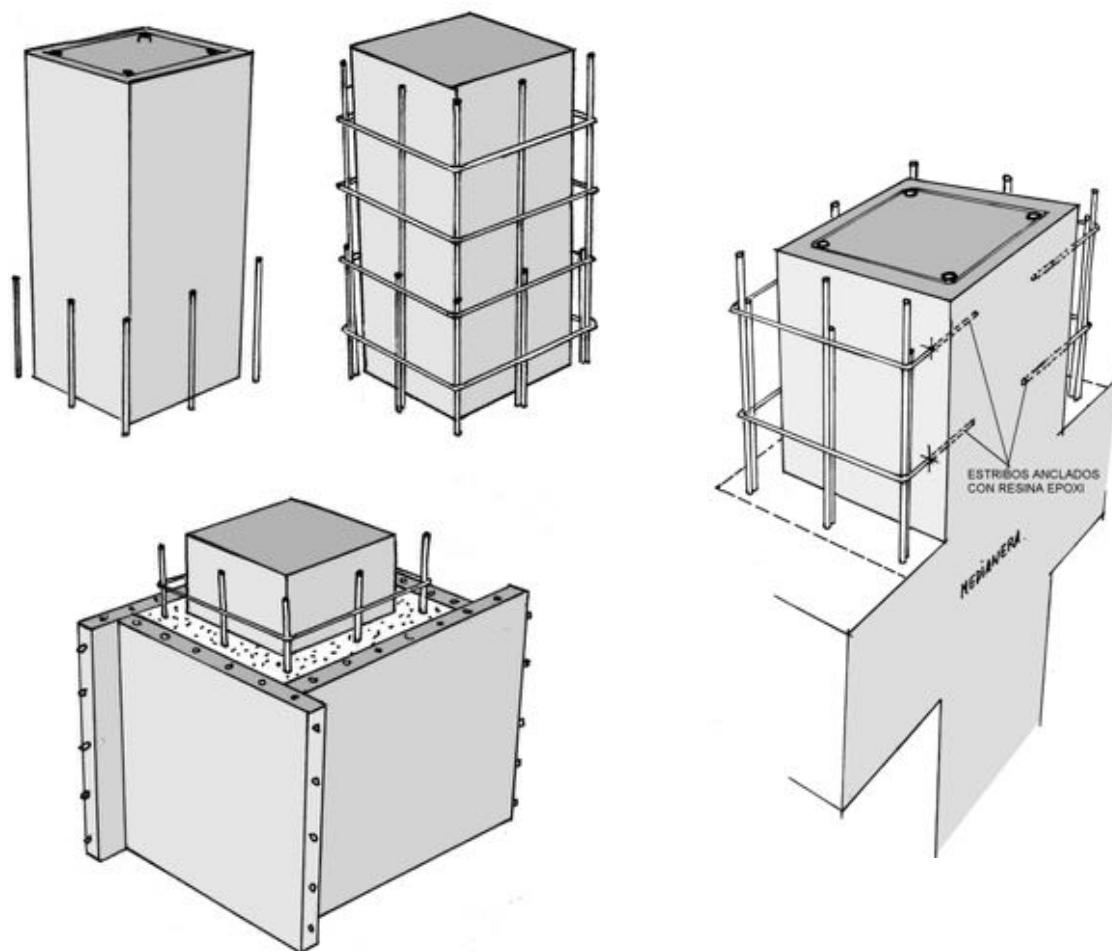


Previamente al encofrado, se procederá a apuntalar la estructura (forjados y/o vigas) para descargar al pilar de las cargas superiores, y posteriormente se picarán y rasparán las caras que se pretenden aumentar. También es recomendable matar o biselar las esquinas. En los casos de pilares de esquina o medianería, y para la conexión de la nueva armadura, se realizarán perforaciones (régolas), en las cuales se introducirán con resina epoxi los nuevos estribos:



El proceso de ejecución es, en esquema, como sigue:

- Apuntalamiento
- Preparación de la superficie del pilar.
- Perforación y colocación de la armadura pasante de solape (continuidad).
- Colocación de la armadura del refuerzo.
- Conexión de los nuevos estribos al pilar (en caso de pilares de medianería)
- Encofrado y vertido del hormigón (puede hacerse en varias fases o tongadas), siendo la última mediante bombeo y por vertido desde el forjado superior a través de perforación. El espesor del refuerzo deberá ser siempre mayor de 50 mm.

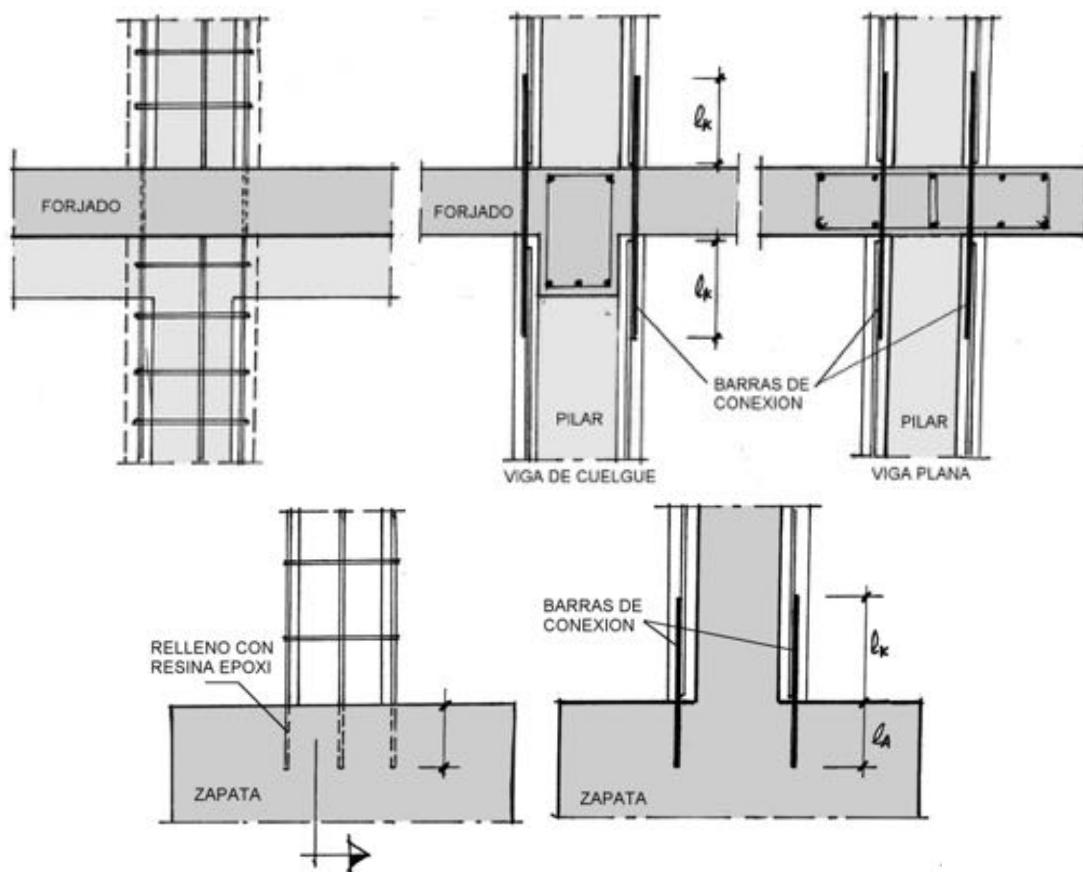


*Esquema del proceso de refuerzo en pilares con forro de hormigón armado*

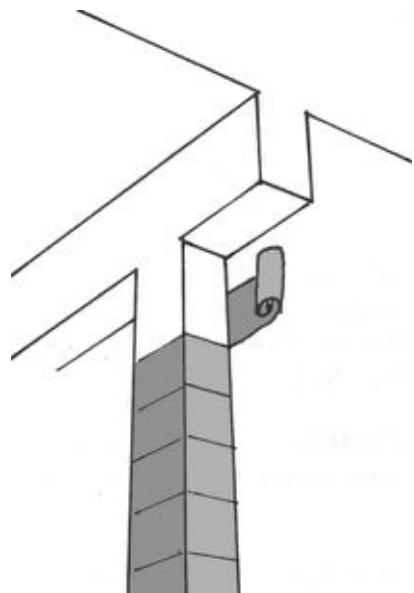


*Anclaje de las nuevas armaduras de refuerzo en la zapata mediante resina epoxi*

A continuación se muestran algunos detalles de colocación del refuerzo y de las armaduras de continuidad en los casos de viga de cuelgue, viga plana y apoyo del refuerzo en zapata:



### 5.5.3 Refuerzos con laminados de fibra de carbono.



En algunos casos no es posible aumentar la sección del pilar. El refuerzo mediante laminados CFRP es muy versátil y mejora notablemente la resistencia del pilar a compresión por efecto de zunchado (efecto de Poisson) y la resistencia a flexión y cortante. Obviamente, es un sistema de mayor coste pero más efectivo. Al ser un refuerzo que no está pensado para absorber esfuerzos de compresión directos (salvo lo explicado antes), no es conveniente utilizarlo en los casos en los que se necesite un aumento considerable de resistencia a compresión del pilar.

Como precaución, hay que indicar que se hace necesario proteger el pilar ante el fuego.

## 5.6 REFUERZOS EN VIGAS DE H.A.

En el caso de éste tipo de refuerzos, el concepto de *puesta en carga* es absolutamente determinante para el reparto de cargas que se desee absorber por el

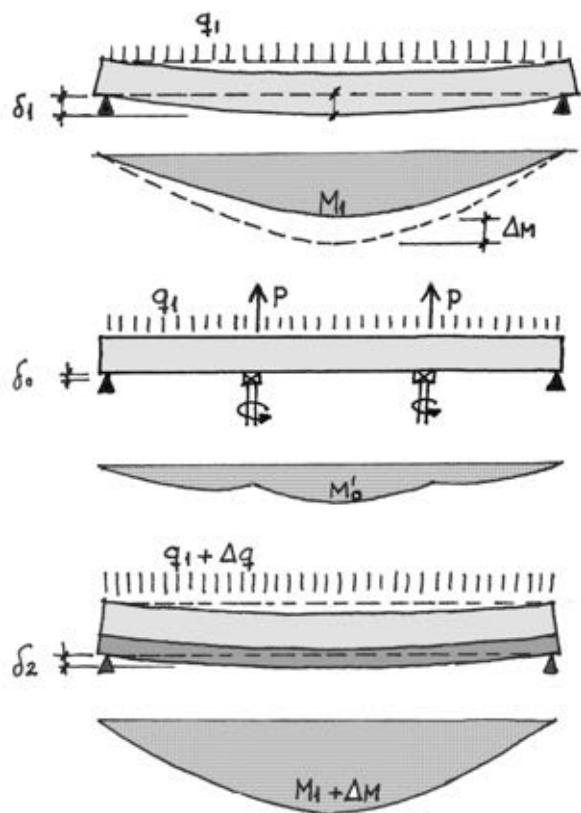
refuerzo y por la viga existente. En la mayor parte de las situaciones, no se pueden admitir deformaciones excesivas de la estructura existente durante el proceso de refuerzo, deformaciones que por otra parte son necesarias para que dicho refuerzo entre en carga. Por ello, se ha de apear el sistema por dos motivos:

Asegurar la estructura antes de la intervención (mas si es de tipo destructivo)

Eliminar las cargas provenientes del forjado sobre la viga.

Reducir la flecha de la viga, en una cuantía equivalente a la flecha de servicio estimada para el refuerzo.

Este último punto puede solucionarse también mediante el empleo de morteros expansivos en el contacto viga-refuerzo, o también mediante el empleo de gatos hidráulicos después de la colocación del refuerzo y antes de su apoyo definitivo en sus extremos.



En la figura se muestra el esquema de puesta en carga de un refuerzo, previo apuntalamiento de la viga para compensar la flecha.

En una viga apoyada-apoyada, el sistema viga-refuerzo, depende (en cuanto a su deformación de la suma de rigideces, de tal forma que la proporción de carga que absorberá la viga y el refuerzo, será proporcional a su rigidez:

$$(q_v / R_v) = (q_R / R_R)$$

Siendo:

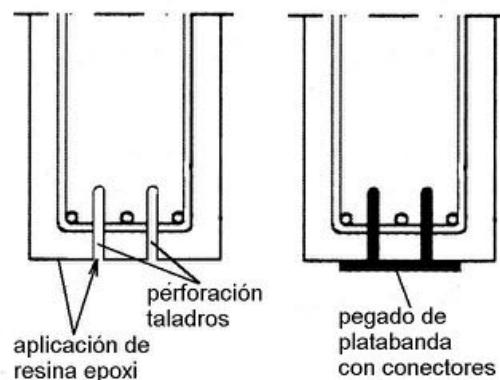
$q_v$ ,  $q_R$  las cargas que asumen la viga y el refuerzo respectivamente

$R_v$ ,  $R_R$  las rigideces respectivas

$$q_v + q_R = q_1 + \Delta q$$

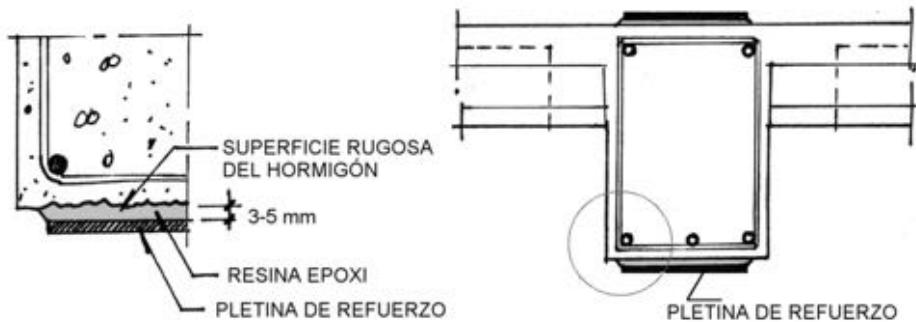
### 5.6.1 Refuerzo con pletinas o platabandas de acero

Se trata de aumentar la cuantía mecánica de acero en la cara inferior (debido a su corrosión o a su insuficiencia), adhiriendo una platabanda e acero mediante resina epoxi y unos conectores que aseguren la transmisión de esfuerzos rasantes entre hormigón y acero.

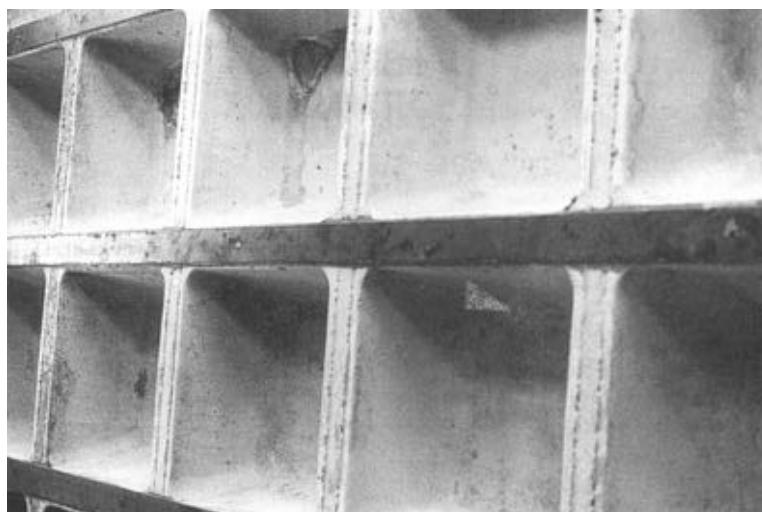


En muchos casos, no se hace necesario el empleo de conectores, pues la adherencia acero-resina-hormigón proporciona una alta resistencia ante tales solicitudes tangenciales.

Previamente se deberá limpiar (cepillo o chorro de arena) la superficie del hormigón a unir, asegurando la ausencia de suciedad y provocando la mayor rugosidad posible en el hormigón:



Posteriormente se aplica la resina con rodillo o brocha en una capa regular y fina, para seguidamente colocar las platabandas, asegurando una cierta presión durante el endurecimiento de la resina (mediante puntales y sopanda).



Pegado de pletinas de acero de refuerzo en cara inferior de nervios de forjado, mediante resinas epoxi

### 5.6.2 Refuerzo con perfiles de acero laminado

Es el caso más sencillo de ejecución, que consiste básicamente en “puentear” total o parcialmente las cargas provenientes de los forjados en nuevos perfiles metálicos, que a su vez apoyarán en capiteles de acero fijados a los pilares. Es conveniente asegurar un perfecto asiento entre perfiles y forjado, mediante mortero de cemento expansivo:

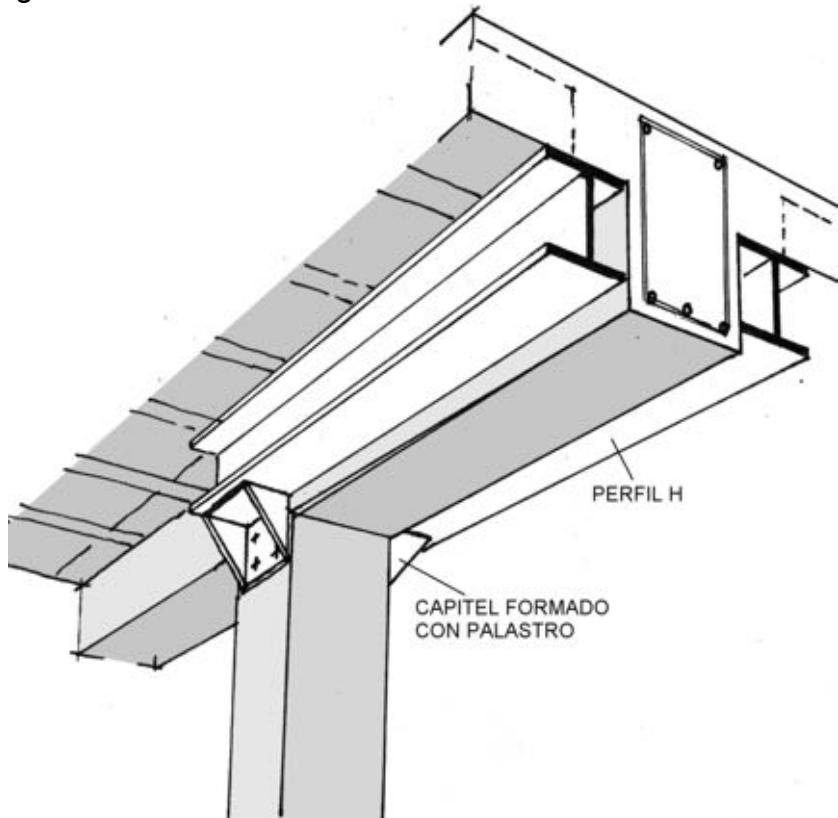
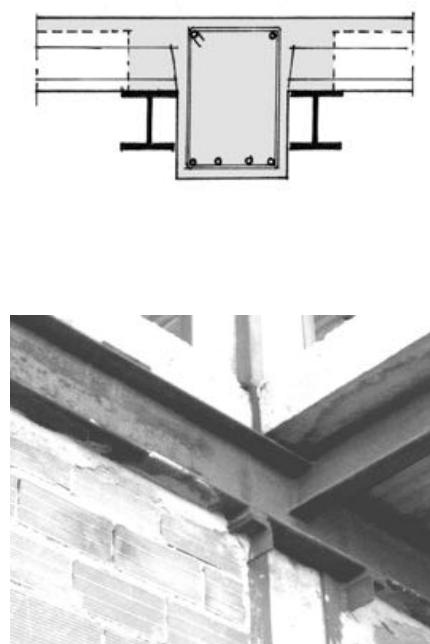
→ La figura siguiente muestra una solución de refuerzo en viga de cuelgue, mediante la colocación de dos perfiles en H o IPN (dependiendo del cuelgue de viga existente).

Este sistema permite el apeo de la viga existente en su cara inferior, aplicando presión para reducir la flecha en la medida de lo posible, lo que permitirá que el refuerzo entre en carga una vez realizado el desapuntalamiento.

Este sistema es aconsejable en aquellos casos en los que la viga existente solo sea capaz de soportar un pequeño porcentaje de la carga de servicio.

Para asegurar un perfecto apoyo del forjado en el refuerzo, se hace necesario aplicar una capa de mortero ligeramente expansivo entre ellos. Esto permitirá, además, la mejor puesta en carga del refuerzo.

Sección por refuerzo:

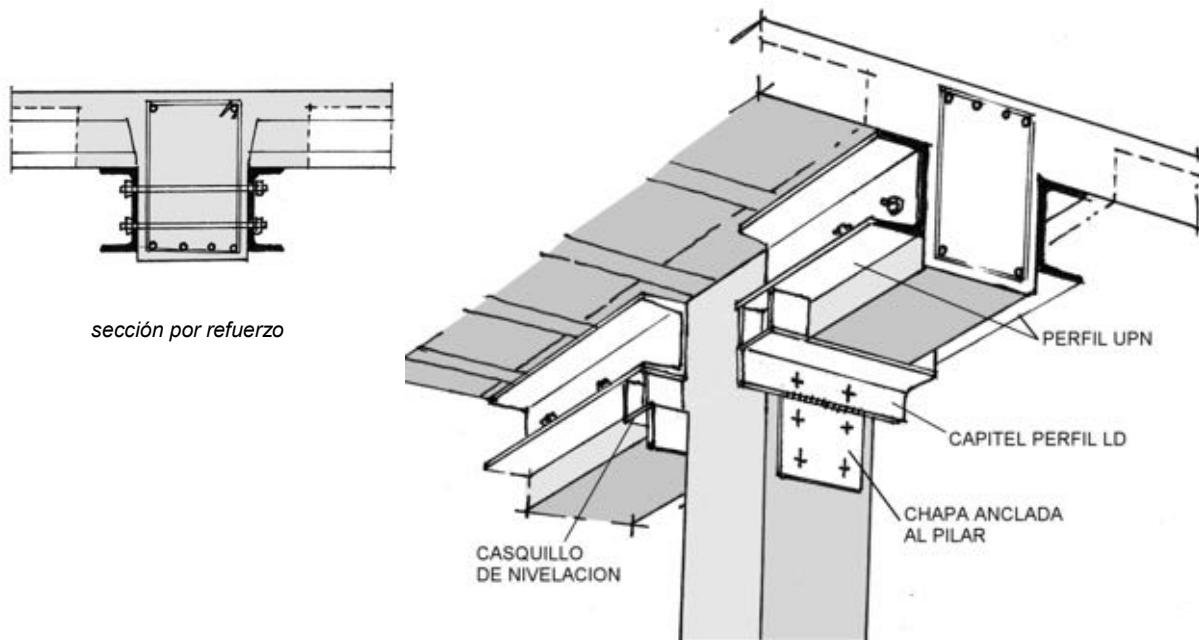


Como se puede apreciar en la figura, el apoyo del refuerzo en el pilar existente se realiza mediante soldadura en unos capiteles formados de palastro, sujetos al pilar mediante anclajes químicos y recibidos con resina epoxi.

→ En la siguiente figura se muestra una solución alternativa a la anterior, utilizando perfiles UPN cosidos a la viga de H.A. mediante conectores roscados. Este sistema

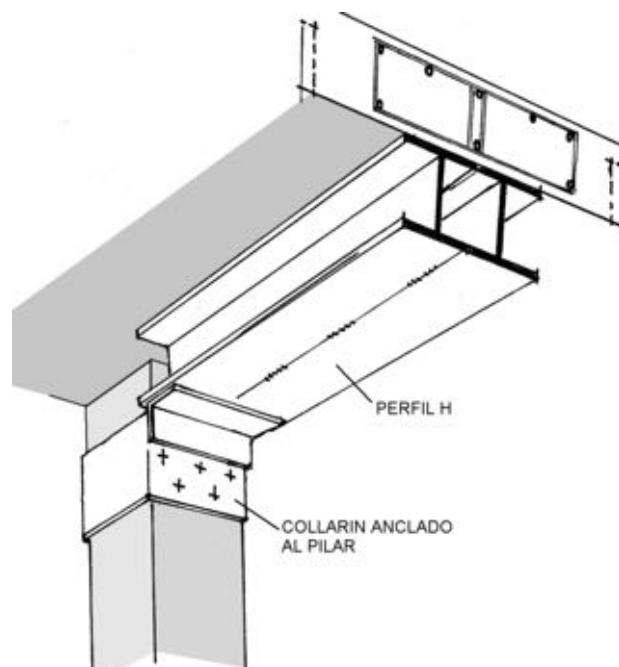
está más indicado en aquellos casos en los que interese reforzar la viga y no puentear el forjado. En definitiva, se utilizará en el caso de que el refuerzo necesario sea de menor cuantía que en el caso anterior.

Esta técnica permite la aplicación de una capa de resina epoxi para asegurar la colaboración entre refuerzo y viga.



En éste caso, el apoyo del refuerzo en el pilar existente se puede realizar mediante un capitel frontal anclado con resina epoxi y unos casquillos de prolongación y nivelación.

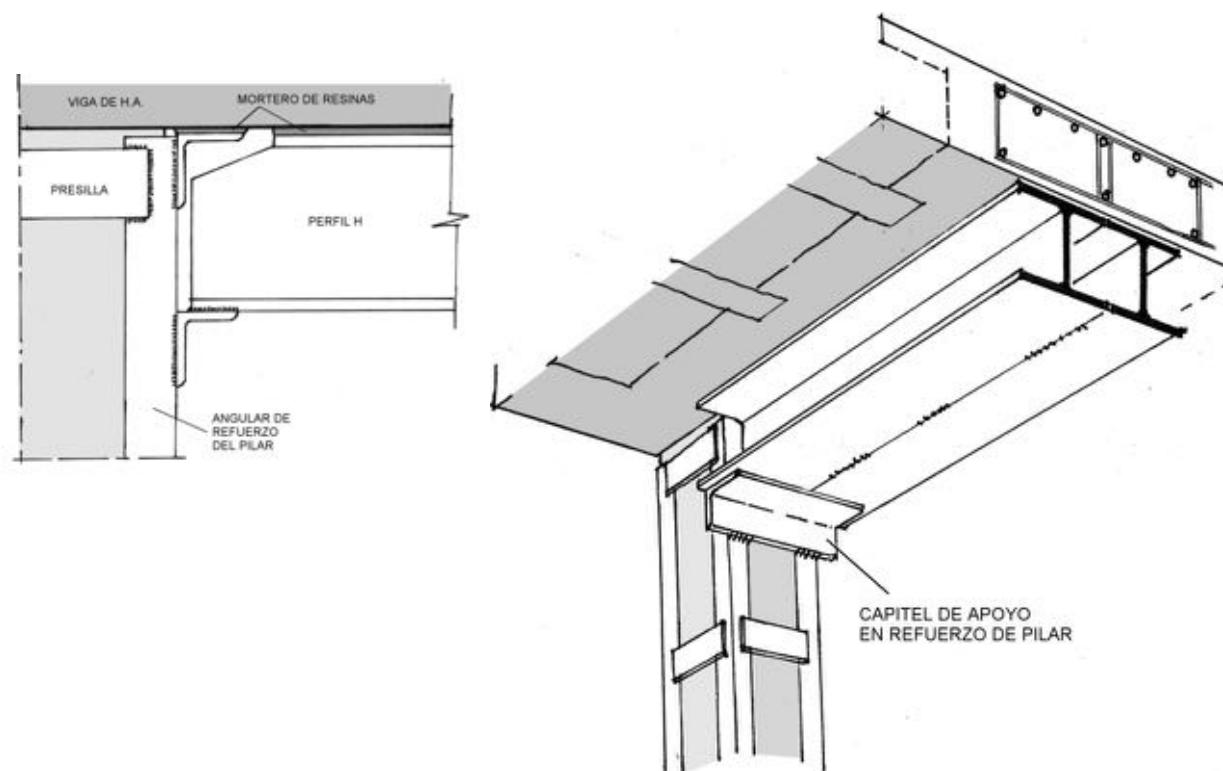
→ En el caso de tratarse de una viga plana, el proceso se simplifica pues en ciertos casos, es suficiente con un solo perfil. Sin embargo, y dada la mayor deformación que normalmente se encuentra en las vigas planas, habrá que tener especial cuidado en "acuñar" convenientemente mediante morteros de resinas entre refuerzo y viga de H.A.



En éste caso, se muestra otro sistema de apoyo del refuerzo en el pilar mediante un collarín anclado a éste, que sirve de base para soldar un casquillo o capitel de apoyo.

→ En la figura siguiente, se muestra el

sistema de apoyo del refuerzo metálico en el caso de pilares con refuerzo metálico. En éstos casos, basta con un casquillo o capitel soldado al refuerzo, que servirá tanto de elemento de apoyo como de nivelación:

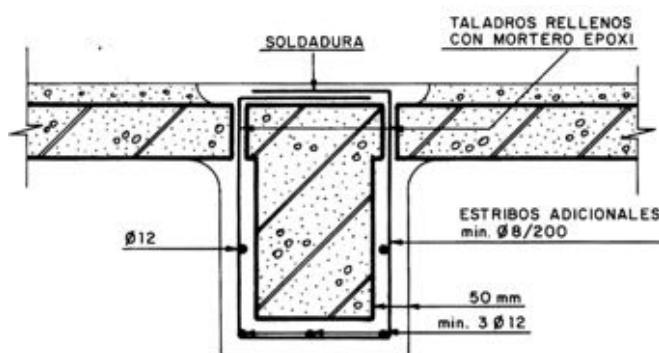


Cualquier sistema de refuerzo mediante perfiles metálicos, obliga a asegurar su protección ante la corrosión (protección de minio) y ante el fuego (barnices intumescentes o revestimiento de fábrica o yeso laminado).

### 5.6.3 Refuerzos con hormigón armado

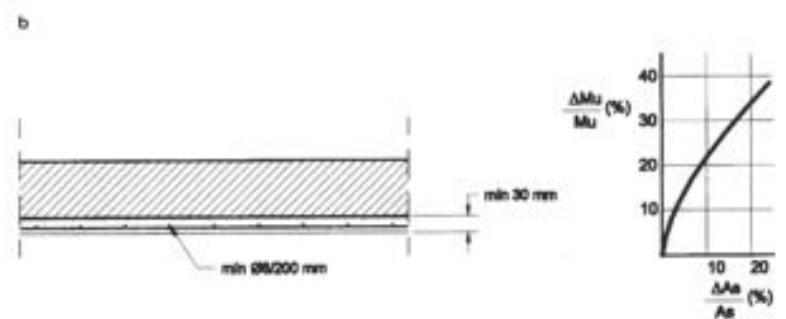
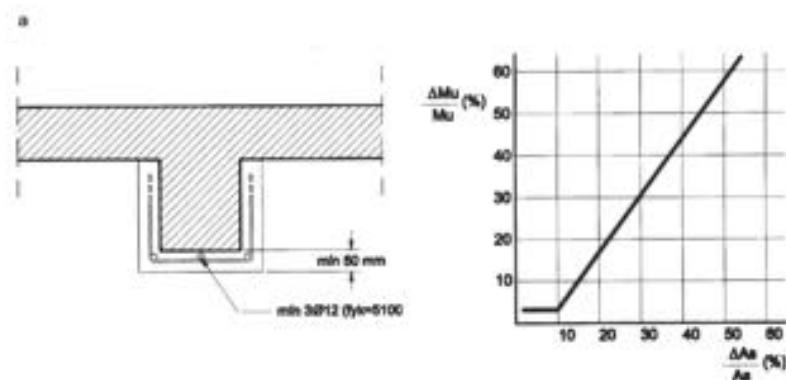
Es el sistema mas complejo, pero que ofrece un mayor grado de monolitismo del conjunto, y una mayor protección de la pieza reforzada.

La dificultad estriba en el vertido del hormigón, que obliga a perforar el forjado superior (entre viguetas) o bien a inyectar el mortero de reparación a través de manguitos colocados en el encofrado lateral (esto únicamente en vigas de cuelgue).



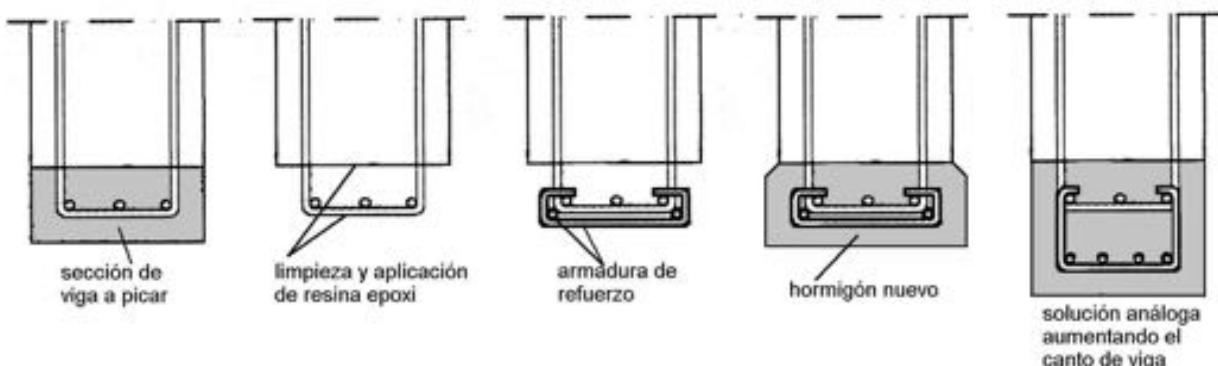
Refuerzo de viga, combinado a flexión y cortante

Para que el refuerzo trabaje de forma solidaria a la viga existente, se hace necesario realizar taladros en los que se introducirá los nuevos estribos, rellenando posteriormente con resina epoxi.



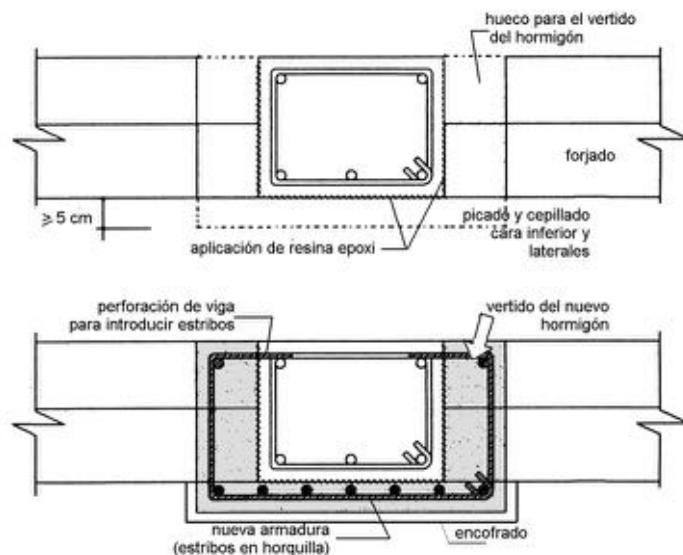
Porcentajes mínimos de armadura adicional y espesores mínimos de las capas de refuerzo en vigas

En el caso siguiente, procedemos a sustituir la parte inferior de la viga (normalmente dañada) por una sección nueva. Es recomendable en aquellos casos en los que se combina la falta de cuantía mecánica a tracción, con un deterioro del hormigón, bien por fisuración, bien por corrosión de la armadura:

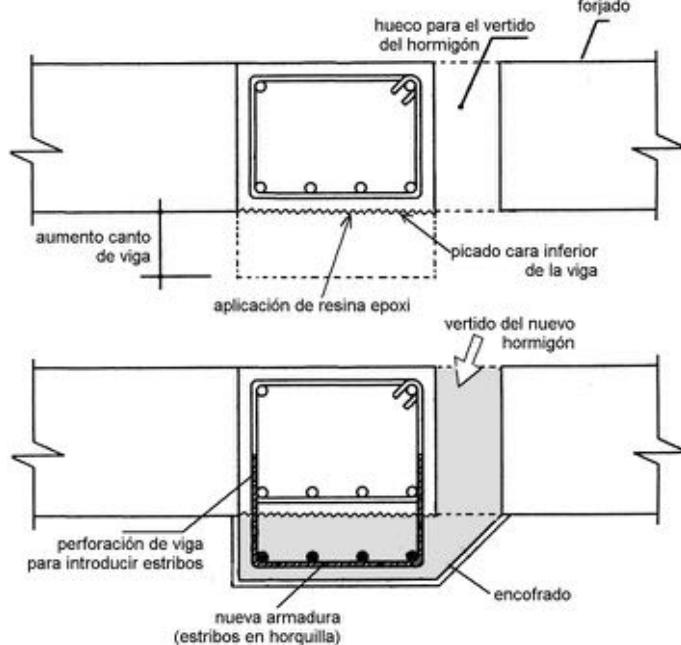


Es fundamental para conseguir buenos resultados, que la superficie limpia del hormigón y del armado antiguos, se imprima con resina epoxi en una capa fina, mediante un *puente de unión*.

En el caso de necesitar reforzar vigas planas de H.A. (ver figuras siguientes), el proceso es análogo, salvo que se precisa de la perforación del forjado desde la cara superior (entre viguetas) para realizar el hormigonado de la nueva armadura. A su vez, y dependiendo de si el refuerzo implica un aumento de canto o bien de ancho de viga, se proponen las siguientes técnicas:



Refuerzo de viga plana con aumento del ancho, y con un aumento reducido del canto

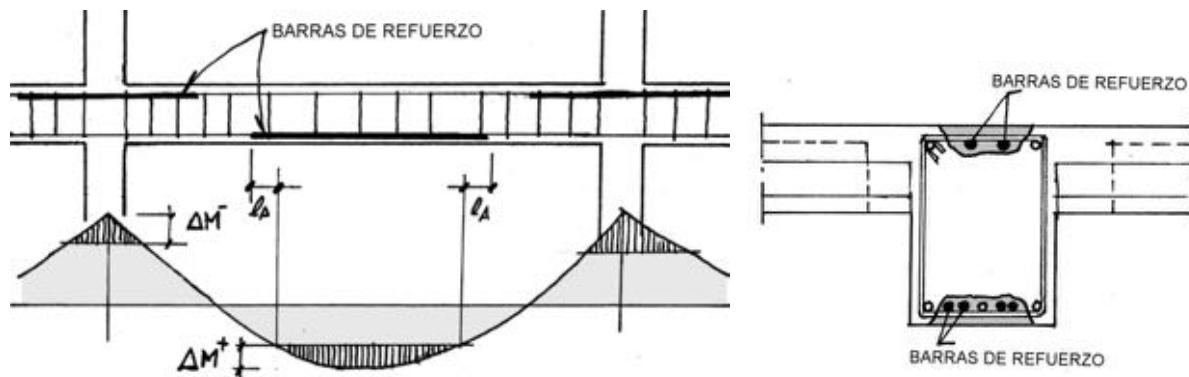


Refuerzo de viga plana con aumento del canto (mayor inercia)

Sin embargo, con frecuencia no es necesario aumentar la sección de viga, por lo que el refuerzo es únicamente de la armadura longitudinal inferior (tracciones en momentos positivos). Para ello puede picarse el hormigón circundante para poder alojar la nueva armadura, y posteriormente, se rellenará con mortero de retracción controlada (o ligeramente expansivo). En otras ocasiones, el refuerzo necesario

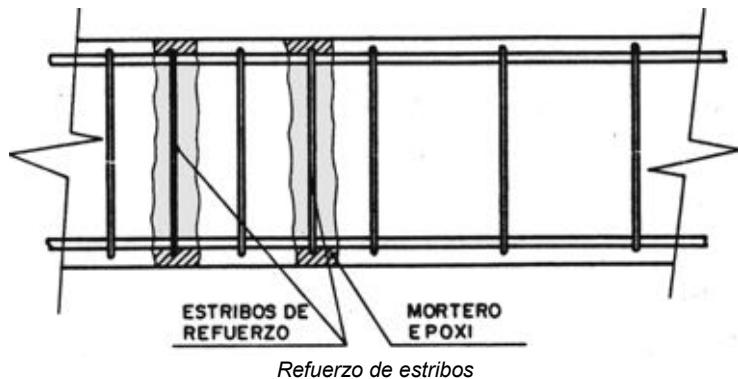
únicamente afecta a la armadura transversal (cercos) bien debido a su corrosión o bien a su insuficiencia ante esfuerzos de cortante o momentos torsores: En tal caso, puede optarse por la introducción de nuevos estribos alojados en surcos que previamente se abrirán en el perímetro de la viga. Finalmente, se rellenará con mortero de resinas, ligeramente expansivo.

La figura siguiente muestra el esquema de refuerzo en una viga de H.A. continua, en la que se ha evaluado la capacidad mecánica real de la viga y las solicitudes que se producen con la carga de servicio. Se observa un incremento de momento que hay que absorberlo con un refuerzo de armadura longitudinal:



El refuerzo inferior (vano de la viga) es relativamente sencillo, pero el superior obliga a realizar perforaciones en la base del pilar para dar continuidad a la armadura de negativos de refuerzo. Esta operación puede no ser necesaria en vigas planas, en las que la armadura puede pasar por fuera del pilar. En cualquier caso, dichas perforaciones deberán ser rellenadas con resina epoxi inyectada.

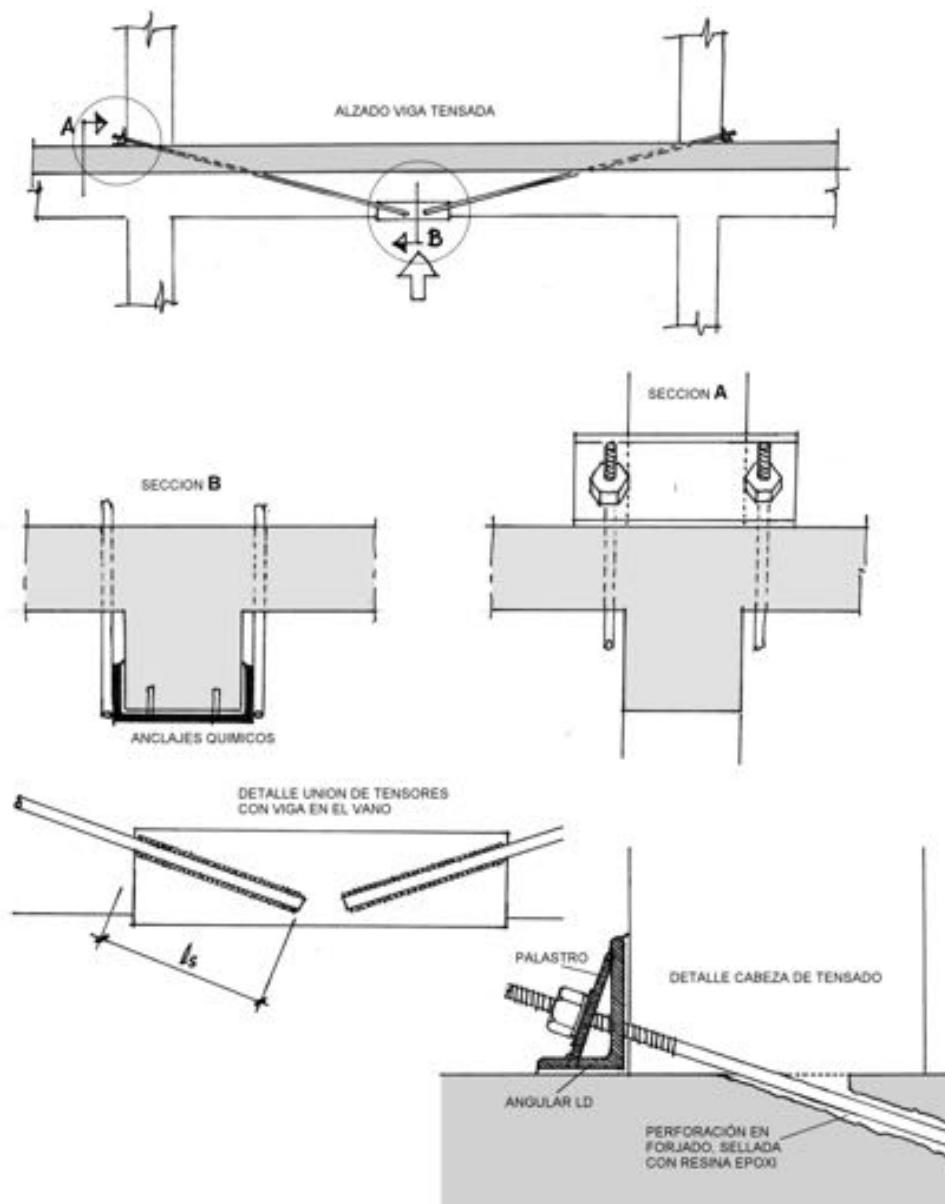
En otros casos, bien por corrosión o por cuantía insuficiente, se hace necesario reforzar la armadura transversal (estribos). Para ello se seguirá el mismo procedimiento:



#### 5.6.4 Refuerzos por pretensado

Puede ser una solución rápida y eficaz cuando la viga presente síntomas de excesiva deformación.

El sistema propuesto consiste en reforzar la viga mediante cables tensados que formarán una cercha colaborando con la cabeza de compresión de la viga:



La puesta en obra del refuerzo es, en esquema, como sigue:

- Apeo de la viga por su cara inferior mediante puentes, recuperando el máximo de flecha posible (gatos).
- Perforación de los pasos de los tensores a través del forjado. Habrá que tener especial cuidado con las coincidencias con las viguetas, para lo cual se recomienda el apeo de éstas.
- Colocación de la cabeza de tensado en la base de los pilares y del collarín de unión de tensores en el vano de la viga. Estos elementos se recibirán con resina epoxi e irán sujetos mediante anclajes químicos.
- Introducción de los tensores y fijación de sus extremos.
- Tensado. Facilita éste proceso el calentamiento previo de los tensores mediante soplete, por la dilatación de las barras producida.
- Relleno de los conductos de paso mediante resina epoxi.
- Retirada de los apeos (puesta en carga).

### 5.6.5 Refuerzos con laminado de fibra de carbono

Este sistema, más utilizado en obra civil, tiene como inconvenientes su elevado precio y la necesidad de una protección total ante el fuego, debido al comportamiento de la resina epoxi ante el mismo.

Sin embargo (como ya se indicó en el refuerzo de pilares), las ventajas son claras: gran versatilidad, facilidad de ejecución, adaptabilidad a casi cualquier geometría, etc, pero sobre todo, en un sistema que no aumenta la sección de la viga.

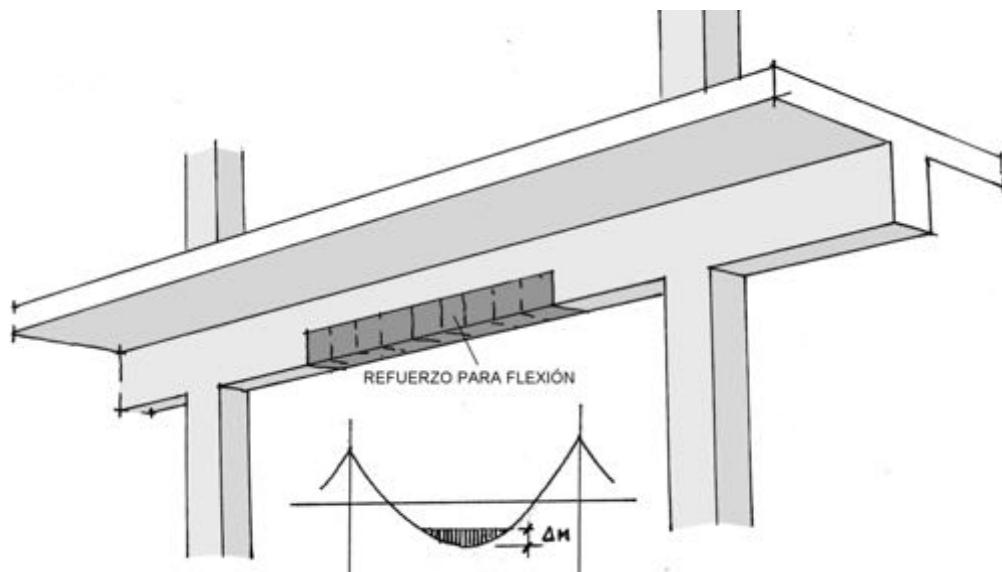
*Básicamente, existen dos sistemas:*

Laminados de composite: formados por laminados de fibras de carbono en matriz de resina epoxi., que se aplican mediante adhesivos específicos a las caras de la estructura, que previamente han sido limpiadas. Previamente se ha de regularizar y sellar la superficie mediante resina epoxi.

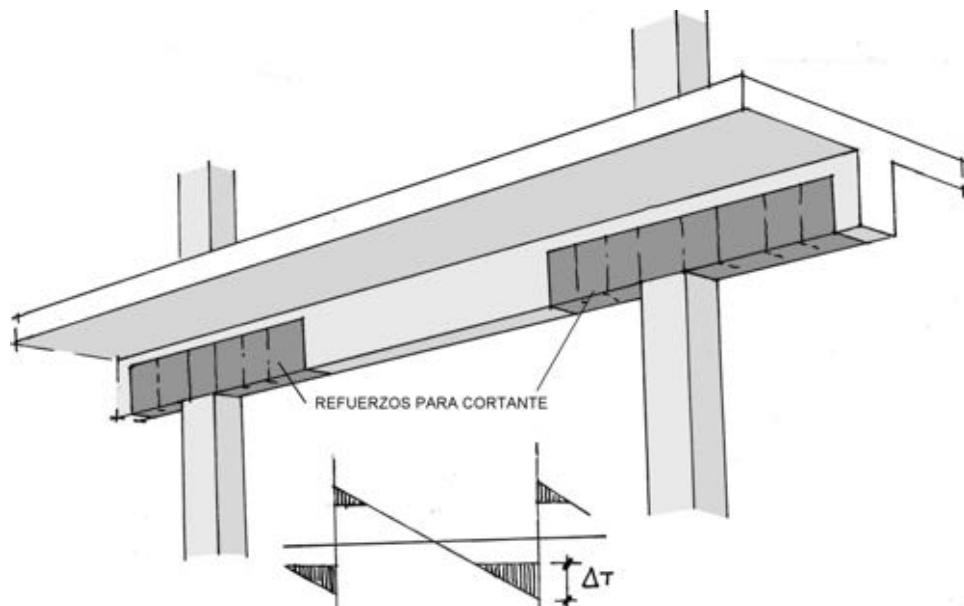
Tejidos de fibra de carbono: Consiste en mallas de tejido bidireccional, que se aplican sobre una capa previa de resina, y sobre las que se remata con una segunda capa de terminación y protección.

En los sistemas, se suministra el material en rollos que permiten aplicar como vendas el refuerzo en tantas capas como sea necesario en función de la magnitud del refuerzo.

Este sistema permite aplicar el refuerzo en aquellas zonas fisuradas, o bien en aquellas zonas donde sea realmente necesario en función del tipo de solicitud que se desee reforzar:



En la figura anterior, se propone una aplicación en la cara inferior de la viga, en su tramo central, a efectos de reforzar la capacidad de la misma ante un incremento de momentos positivos.



En este otro caso, se han aplicado refuerzos en las zonas cercanas a los apoyos, debido a una insuficiencia de la viga ante los esfuerzos cortantes (por oxidación de estribos o bien por una insuficiencia de cuantía de acero, o bien por un aumento de la carga de servicio).

## 6. SUSTITUCIONES

En el caso en que el elemento estructural esté tan dañado que sea inviable su reparación y/o refuerzo, optaremos por su sustitución por otro nuevo. Podemos diferenciar dos tipo de sustitución estructural:

**Sustitución física:** Básicamente consiste en apear la estructura que descansa sobre el elemento a sustituir para proceder a su demolición. Posteriormente, se procede a la construcción del elemento sustituto.

Hay que tener especial cuidado en el proceso de puesta en carga, para no provocar deformaciones al resto de la estructura.

**Sustitución funcional:** Consiste en la sustitución física de un elemento estructural, pero sin demoler el elemento dañado (el cual queda simplemente inutilizado). Es una operación mas sencilla, pero que obliga a invadir espacios útiles para la ubicación de los nuevos elementos estructurales.

No se trata de un refuerzo, aunque los sistemas constructivos utilizados son casi idénticos (sobre todo en los refuerzos funcionales), pues en una sustitución, el nuevo elemento asume la totalidad de las cargas sin colaborar con el elemento dañado.

A continuación se muestra un ejemplo de sustitución funcional integral de los pilares y vigas en una estructura de hormigón armado, mediante perfiles de acero. En los pilares se opta por reforzar en esquinas con angulares empresillados para reducir la longitud de pandeo, adheridos al pilar de hormigón mediante resinas. En vigas se resuelve la sustitución mediante perfiles IPE bajo las mismas, y soldadas al capitel metálico del nuevo pilar. El proceso de puesta en carga de la nueva estructura se soluciona mediante gatos o bien con el retacado mediante morteros expansivos.



Esta técnica puede adaptarse tanto a una sustitución funcional de la estructura, como a un refuerzo puntual o global.

*Ejemplo de sustitución funcional de una estructura de H.A. mediante perifería de acero laminado*



*Sustitución de un pórtico de fachada: posteriormente a la ejecución del nuevo pórtico, se demuele el existente y se produce la puesta en carga*

## BIBLIOGRAFÍA

A continuación se listan una serie de referencias bibliográficas de interés sobre el tema tratado en éste capítulo. Se indica en cada una el título, autor y editorial:

***Patología de la edificación: El lenguaje de las grietas***

Serrano Alcudia, Francisco  
Fundación Escuela de la Edificación, 1999

***Problemas, dudas y soluciones durante el proyecto y ejecución de la edificación***

Muñoz Hidalgo, Manuel y otros  
Sevilla 2001

***Diagnóstis y causas en patología de la edificación***

Muñoz Hidalgo, Manuel  
Sevilla, 1994

***Conceptos y patología en la edificación***

Muñoz Hidalgo, Manuel  
Sevilla

***Prevención y soluciones en patología estructural de la edificación***

Muñoz Hidalgo, Manuel  
Sevilla

***Patología de las construcciones de hormigón armado: enseñanzas extraídas de la práctica***

Blevot, Jean  
Editores Técnicos Asociados, 1977

***Guía para la inspección y evaluación preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes***

Instituto Valenciano de la Edificación, D.L. 2002

***Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado***

Bellmunt, Rafael  
C.O. de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Cataluña, 2000

***Lesiones en el hormigón: reparación, protección***

Grunau, Edvard B.  
CEAC, 1988

***Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación: unidireccionales y sin vigas – hormigón, metálicos y mixtos***

Calavera Ruiz, José  
Instituto Técnico de Materiales de Construcciones, D.L.2002

***Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomos 1 y 2***

Calavera Ruiz, José  
INTEMAC, 1996

**Recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales**  
Asociación Nacional de Fabricantes con Sello CIETAN, 1991

**Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas**  
Monjo Carrión, Juan  
Munilla-Lería, D.L. 2001

**Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales - tomo 3**  
(Master de rehabilitación arquitectónica de la ETSAM)  
Autores varios  
Munilla-Lería 1998

**Lesiones en los edificios: síntomas, causas, reparación**  
Varios  
CEAC, 1981-83

**Reparación y refuerzo de estructuras de hormigón. Guía FIP de buenas prácticas**  
Grupo Español del Hormigón, 1994

**Prontuario BETEC: Productos especiales para la construcción**  
BETEC, 2001

**Curso de patología de estructuras de hormigón**  
Varios  
Fundación Escuela de la Edificación, 1988

**Curso de ejecución, control de calidad y patología del hormigón armado**  
Varios  
C.O. de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid, 1995

**Patología y terapéutica del hormigón armado**  
M. Fernández Cánovas

**Reparación y refuerzo de estructuras de hormigón**  
(Guía FIP de buena práctica)  
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

**Curso sobre durabilidad y reparación de estructuras de hormigón**  
CEDEX. Madrid, 1998

**Lesiones en el hormigón. Reparación, Protección**  
Edvard B. Grunau  
Ed CEAC, 1986

**TOMO 2**

**CAPITULO III**



**PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA Y SUS REPARACIONES**

## CAPITULO III

# PATOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA Y SUS REPARACIONES

Fernando López Rodríguez

*Indice:*

1. DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS LESIONES MÁS FRECUENTES EN LAS ESTRUCTURAS DE MADERA DE LOS EDIFICIOS.....	129
1.1 Introducción.	
1.2 Componentes básicos de la madera.	
1.3 Anillos de crecimiento.	
1.4 Alitura y durámen.	
1.5 Humedad y temperatura.	
1.6 Agentes que atacan la madera.	
1.6.1 Hongos	
1.6.2 Insectos	
1.6.3 Agentes atmosféricos	
1.6.4 El fuego	
1.7 Localización de las lesiones.	
1.7.1 Según las zonas del edificio	
1.7.2 Según el elemento estructural	
2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE REPARACIÓN Y SUSTITUCIÓN .....	150
2.1 Actuaciones previas.	
2.2 Reparación de pies derechos.	
2.2.1 Sustitución completa por otro de madera	
2.2.2 Sustitución completa por soporte metálico	
2.2.3 Sustitución parcial por prótesis de madera	
2.2.4 Sustitución parcial mediante técnica Beta	
2.2.5 Sustitución parcial por fábrica de ladrillo	
2.2.6 Refuerzos metálicos	
2.3 Reparación de muros de entramado.	
2.3.1 Refuerzo con angulares	
2.3.2 Refuerzo con perfiles UPN abrazando el pié	
2.3.3 Refuerzo con perfiles UPN y aletas exteriores	
2.3.4 Placas y vigas para apoyo de forjado	
2.3.5 Placas y vigas cargadero	

2.4	Reparación de forjado.	
2.4.1	Sustitución completa de vigas	
2.4.2	Sustitución parcial de vigas	
2.4.3	Prolongación del apoyo de la viga, disminuyendo la luz libre	
2.4.4	Prolongación del apoyo con elementos metálicos	
2.4.5	Reparación de zonas de forjado y esquinas con perfiles metálicos	
2.4.6	Refuerzos metálicos en vigas y nudos	
2.4.7	Refuerzo mediante tensor inferior	
2.4.8	Refuerzos con tira fondos	
2.4.9	Refuerzos con perfiles y pasadores	
2.4.10	Refuerzos con perfiles adosados	
2.4.11	Atirantados	
2.4.12	Recuperación de la flecha	
2.4.13	Nuevo forjado	
2.5	Reparación de cubierta.	
2.5.1	Sustitución de pares completos	
2.5.2	Reparación de nudos de conexión, par-tirante	
2.5.3	Sustitución parcial de par por técnica Beta	
2.5.4	Sustitución parcial de canecillo	
3.	Bibliografía .....	177

## 1 DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS LESIONES MÁS FRECUENTES EN LAS ESTRUCTURAS DE MADERA DE LOS EDIFICIOS.

### 1.1. INTRODUCCION

Antes de intervenir en un edificio que tiene una estructura de entramado de madera conviene tener unos conocimientos previos sobre aquellos aspectos que pueden influir en la aparición de los problemas de patología, que suelen encontrarse posteriormente.

Veamos cuáles son esos aspectos:

- Componentes básicos de la madera.
- Anillos de crecimiento.
- Albura y durámen.
- Humedad y temperatura.

### 1.2. COMPONENTES BÁSICOS DE LA MADERA

Dos de los componentes básicos de la madera son la celulosa y la lignina. La celulosa, que se utiliza para la producción de papel, tiene color blanco y la lignina tiene color marrón. El color que adquiere la madera cuando es atacada por los hongos dependerá del tipo de hongo y de esos componentes de la madera que se han citado.

La madera tiene una gran propiedad y es que la relación existente entre su resistencia a la tracción, flexión y compresión, en relación con su densidad, alcanza uno de los máximos valores entre los materiales conocidos por el hombre. J.E. Gord en "The men science of strong materials" dice que, a igualdad de peso, la resistencia, a la tracción en la madera es de 4 a 5 veces la del acero común.

### 1.3. ANILLOS DE CRECIMIENTO

Cuando se corta el tronco de un árbol, perpendicularmente al mismo, se puede apreciar que existen los anillos de crecimiento. El crecimiento que se produce en primavera es grande y se refleja en un anillo más ancho y de color claro. El crecimiento que se produce en verano es mucho menor y se refleja en un anillo más estrecho de color oscuro.

La madera del anillo de primavera es además más blanda y la del anillo de verano más dura. Esto influirá, si se produce el ataque de insectos xilófagos en la preferencia generalizada de estos por la madera más blanda.

## 1.4. ALBURA Y DURÁMEN

En el corte perpendicular al tronco de un árbol se puede comprobar también que, generalmente, la zona exterior más próxima a la corteza es blanda y es de un color más claro y se denomina albura, mientras que la zona central es más dura, de un color más oscuro y se denomina durámen.

Se comprobará después que los insectos xilófagos atacarán casi siempre la albura respetando el durámen.

## 1.5. HUMEDAD Y TEMPERATURA

Existen dos condiciones necesarias para que una madera sea atacada por hongos o por insectos xilófagos. Esas condiciones son una temperatura y una humedad altas. Deben darse, generalmente, las dos condiciones de forma simultánea para que se favorezca el ataque.

Esto puede servirnos a la hora de investigar en un edificio y localizar la posible patología existente.

Debe iniciarse esta investigación en las zonas donde puede haber fugas de agua, es decir, en el entorno de los locales húmedos, aseos y cocinas, así como en las proximidades de las bajantes. También será más fácil encontrar problemas de patología en las zonas más próximas a focos de calor, por lo tanto lo lógico es estudiar primero las zonas del edificio orientadas al sur.

- Cuando el grado de humedad de la madera llega al 22% se dice que la madera está comercialmente seca.
- Si la madera se seca al aire su grado de humedad estará entre un 13% y un 17%. Si se quiere rebajar este porcentaje es necesario proceder a un secado artificial llegándose al 8% de la humedad.
- Los contenidos de humedad más convenientes en las maderas de construcción son los siguientes:

<u>Situación</u>	<u>Grado de humedad</u>
<i>Para maderas al exterior .....</i>	<i>del 13% al 22%</i>
<i>Maderas al exterior protegidas bajo techo...</i>	<i>del 13% al 18%</i>
<i>Maderas al interior .....</i>	<i>del 10% al 15%</i>
<i>Maderas en locales con calefacción .....</i>	<i>del 8% al 10%</i>

## 1.6. AGENTES QUE ATACAN LA MADERA

Hay bastantes posibilidades de que la madera sea atacada por diferentes agentes bióticos o abióticos pero los que debemos tener en cuenta, porque afectan más a lo que podemos encontrar en un edificio que se pretende rehabilitar, son los siguientes:

- Hongos
- Insectos
- Agentes Atmosféricos
- El fuego

### **1.6.1. Hongos**

Los hongos son microorganismos que pertenecen al reino vegetal. La humedad óptima para que se desarrollen está entre el 35% y el 50%. El límite inferior está entre un 18% y 20% y el superior al 175%.

Por otra parte los hongos necesitan una temperatura comprendida entre 20° y 30° C para su desarrollo óptimo. Cesan su actividad por debajo de los 3° C y por encima de los 45° C aunque las esporas pueden soportar con facilidad los 100° C.

Los hongos que atacan a la madera se denominan hongos xilófagos dividiéndose estos en hongos cromógenos (aquellos que modifican el aspecto de la madera) y hongos de pudrición (aquellos que modifican notablemente las propiedades mecánicas y físicas de la madera).

Los hongos cromógenos se alimentan de sustancias de reserva que existen en las células de la albura. La aparición más frecuente producida se conoce con el nombre de azulado, que tiene técnicamente poca importancia pero estéticamente produce grandes repercusiones económicas.

Una madera con azulado puede admitirse en la obra si se va a utilizar como elemento resistente, por ejemplo para realizar un apeo. Sin embargo, se si va a utilizar como material decorativo, con un acabado barnizado debe desecharse de inmediato porque se producirá una reacción entre el barniz y el hongo llenándose de ampollas de barniz desprendido de la superficie de la madera.

Los hongos de pudrición son capaces de destruir los componentes básicos elementales del esqueleto leñoso de la madera.

Existen, fundamentalmente, dos tipos de pudrición: pudrición blanca y pudrición parda o cúbica.

En la pudrición blanca el ataque de los hongos se realiza, únicamente, sobre la lignina, dejando tras su ataque un complejo de celulosa más o menos blanquecino.

La pudrición parda actúa de manera contraria a la pudrición blanca descomponiendo todos los elementos de la pared celular. La madera atacada presenta un color marrón oscuro tendiendo a agrietarse inicialmente de forma longitudinal, luego de forma transversal y después en la tercera dimensión, pudiéndose desprender con cierta facilidad trozos en forma de cubos o paralelepípedos. Cuando el proceso de pudrición está avanzado, al tocar la madera ésta se convierte en un polvo fino.

### 1.6.2. Insectos

Existen numerosos insectos que destruyen la madera. De entre ellos sólo vamos a referirnos a aquellos con los que existe una mayor probabilidad de que aparezcan en la estructura de madera de un edificio antiguo que se pretende rehabilitar. Estos son los siguientes:

- Carcoma pequeña (Anobium punctatum)
- Carcoma grande (Hylotrupes bajulus).
- Polilla del parquet (Lyctus).
- Termitas. Hormigas blancas (Reticulitermes lucifugus)

Antes de pasar directamente a cada uno de ellos conviene analizar una serie de aspectos que deben tenerse en cuenta al inspeccionar una estructura de entramado de madera. Estos aspectos son:

- a) Desde la puesta de huevos hasta la aparición del insecto adulto existe una fase intermedia que es la de larva. La larva es quien realmente se come la madera. Cuando ya se ha formado el insecto adulto este sale al exterior y para ello debe perforar la superficie. Es entonces cuando se puede comprobar claramente que la madera ha sido atacada.
- b) La puesta de huevos puede hacerse en diversos lugares, algunos insectos lo hacen en las fendas o grietas de la madera, otros aprovechan las perforaciones existentes que pertenecen a generaciones anteriores, otros directamente sobre la superficie de la madera y, en algunos casos, el insecto realiza una perforación e introduce los huevos a bastante profundidad.
- c) Las larvas de los insectos atacan la parte de la madera que más les gusta. Unas se comen la albura y dejan el durámen, otras se comen los anillos de crecimiento de primavera que tienen la madera más blanda quedando ésta, tras el ataque, con varias laminillas paralelas como un milhojas. Por último, algunos insectos se comen toda la madera, dejando sólo una lámina superficial que les protege del exterior.
- d) El tipo de excremento puede caracterizar a los insectos. Unos son de forma cilíndrica, otros esférica y otros producen una mezcla de los excrementos con el serrín de la madera que se llama “serrín de turba”.
- e) Cada insecto tiene su madera preferida. A unos les gustan las frondosas, a otros las coníferas, a veces prefieren el roble.
- f) El plazo que tarda en completarse una generación desde la puesta de huevos hasta la aparición del insecto adulto es muy variable. Dependerá, sobre todo, de que las condiciones de humedad y temperatura sean más o menos favorables. Según la especie puede variar entre uno y diez años. Para la polilla del parquet suele ser de un año.

- g) Las galerías que las larvas producen en el interior de la madera pueden ser regulares y paralelas entre sí, irregulares o no existir en el caso de que el insecto se haya comido toda la madera.

Veamos ahora los cuatro insectos, cuya aparición puede ser más frecuente y sus principales características:

→ Carcoma pequeña:

- Ataca casi todas las maderas, aunque sean viejas y secas, excepto el durámen de roble y algunas maderas tropicales.
- La hembra coloca sus huevos en fisuras o perforaciones de la madera o en los orificios causados por generaciones precedentes.
- Las larvas no perforan la superficie.
- El insecto adulto (imago) sale por una perforación de un tamaño de 1 a 1,5 mms.
- El plazo de una generación es muy variable, de 8 meses a 3 años, según las condiciones.
- Temperatura óptima 22° C.
- El adulto tiene de 2 a 5 mm. de longitud, color negruzco y cuerpo cubierto por una fina pelusilla amarilla.
- Excrementos cilíndricos.

→ Carcoma grande

- Es el insecto más peligroso para la madera seca.
- Ataca exclusivamente las coníferas.
- El insecto adulto se emancipa en verano, volando en días calurosos.
- La hembra coloca sus huevos (de 200 a 400) en grandes grupos en las grietas de la madera.
- La sección que produce la larva en la galería es de forma elíptica.
- El plazo de una generación vería de 2 a 10 años.
- Para que se produzca el ataque es necesario que la madera contenga mucha humedad.
- Los adultos son negros, con pequeñas escamas blanquecinas que tienden a desaparecer en los individuos viejos.

→ Polilla del parquet

- Descomponen completamente la madera respetando sólo una capa muy fina.
- Ataca la albura.
- Necesita muy poca humedad.
- Las maderas que contengan menos del 1,5% de almidón no son atacadas.
- La hembra coloca los huevos en número entre 20 y 70 en la superficie de la madera.
- El plazo de una generación es, aproximadamente, de un año.
- Los adultos son coleópteros pequeños de 4 a 8 mm. de longitud muy planos y con antenas terminadas en maza.

→ Termitas. Hormigas blancas

- Hacen un nido habitado por muchos millares de individuos en el terreno, el cual se va prolongando indefinidamente.
- Cuando se abren zonas atacadas aparecen obreros y soldados en abundancia que se ocultan rápidamente (huyen de la luz). De ahí proviene su nombre científico: reticulitermes lucifugus.
- Su aspecto es parecido a las hormigas, se les llama también hormigas blancas.
- Pueden destruir completamente el maderamen de una casa quedando sólo una capa protectora superficial de 1 ó 2 mm.
- Sólo resisten su ataque el enebro y el tejo.
- También producen daños en bibliotecas, archivos, etc, necesitando varios años para su total destrucción.
- Dependen del calor y de la humedad. Temperatura óptima 30° C. No hay actividad por debajo de 2° C. Necesita entre un 95% y un 100% de humedad ambiental óptima. Al 80% de humedad resisten un mes, al 50% de humedad sólo unos días.

**1.6.3. Agentes atmosféricos**

Los principales agentes atmosféricos que atacan la madera colocada al exterior son el sol y la lluvia.

La madera es capaz de absorber con rapidez el agua de lluvia produciéndose entonces una diferencia de humedad entre el interior y el exterior de la pieza de madera, lo que puede ocasionar la aparición de fendas (grietas) y alabeos.

Los rayos infrarrojos y ultravioletas del sol, actúan sobre la madera que cambiará de color, siendo éste, inicialmente, marrón y después gris produciendo también fendas.

Una muestra de una de esas fendas o grietas aparece en la fotografía nº 1. Una fenda puede llegar a partir de la viga en dos.



Foto nº 1

#### 1.6.4. El fuego

La lignina y la celulosa de la madera se componen de oxígeno, hidrógeno y carbono y esto es lo que le convierte en material combustible aunque tarda en arder.

Cuando no hay llama hacen falta 400° C en la superficie de la madera para que empiece a arder y cuando la hay se necesitan 300° C.

Si se produce un incendio y la madera empieza a quemarse se pone en marcha, automáticamente, un mecanismo de defensa que consiste en la aparición en la zona expuesta al fuego de una capa carbonizada que va aumentando de espesor cuanto más dure el incendio.

Hay que tener en cuenta que una madera, cuanta mayor superficie tenga en contacto con el aire más rápidamente se quemará. Una tabla tiene poco volumen y mucha superficie exterior. La tabla arderá más rápidamente. Una madera con fendas aumenta su superficie exterior y se quemará antes que otra de la misma escuadría sin fendas.

### 1.7. LOCALIZACIÓN DE LAS LESIONES

Se pueden localizar las lesiones de la estructura de entramado de madera según las zonas del edificio o según el elemento estructural en que se encuentren.

#### 1.7.1. Según las zonas del edificio

Por lo que ya se ha dicho, los ataques se producirán si existe la proporción de humedad necesaria. Por lo tanto se encontrarán cerca de lugares húmedos, y estos son los cuartos de baño, cocinas, bajantes y desagües de la red de saneamiento, cubiertas y sótanos.

En cuanto a la temperatura, factor también necesario para el inicio de un ataque, deberán investigarse las zonas más calientes, es decir las fachadas orientadas al sur o las proximidades a otros focos de calor.

#### 1.7.2. Según el elemento estructural

Dentro de una estructura de entramado de madera, cuatro son los elementos principales que la constituyen: los pies derechos, los muros de entramado, forjados y cubierta.

##### → Comprobación de pies derechos

Para comprobar el estado en que se encuentran los pies derechos de un edificio debe seguirse este procedimiento:

- a) Planta Baja. Apoyo sobre las bases de piedra.
- b) Resto de plantas. Revisión zona inferior.

- c) Determinar zonas de riesgo. Locales húmedos y bajantes.
  - d) Situar ataques de pudrición.
  - e) Situar ataques de insectos xilófagos.
- a) Debe iniciarse la inspección de los pies derechos por aquellos situados en la planta inferior por varias razones: Una es que suelen existir humedades que provienen del terreno, ya sea por un nivel freático alto o rotura de la red de saneamiento. Otra por detectar si ha existido un ataque de termitas ya que estas, que tienen sus nidos en el terreno, elaboran unas galerías subterráneas mezclando la arcilla con un líquido que ellas mismas segregan. Como las termitas, al llegar a las bases de piedra de los pies derechos no pueden atravesarlos, continúan realizando sobre ellas sus galerías. La aparición de restos de éstas sobre los dados de piedra señala la presencia en el edificio de las termitas.

Una muestra del estado habitual en el que puede encontrarse la base de un pie derecho de la planta inferior puede comprobarse en la fotografía nº 2.



Foto nº 2



Foto nº 3

- b) En el resto de las plantas, generalmente las lesiones de los pies derechos se encuentran en su zona inferior. En este caso la causa primaria, que es la humedad, proviene de las fugas que hayan podido producirse en las tuberías de suministro de agua y en los desagües. Véase la foto nº 3.
- c) Para determinar la situación de las zonas de riesgo hay que revisar, como se ha dicho en el punto anterior, los locales húmedos, cocinas y baños y las proximidades de las bajantes. Véase la foto nº 4.



Foto nº 4

- d) Una vez localizados los puntos donde se han producido los ataques de pudrición deben señalarse estos en los planos de planta del edificio.
- e) Igualmente, cuando se hayan localizado los ataques de insectos xilófagos, esto también deben señalarse en los planos de planta del edificio.

Así podremos tener una visión general de cuales son las zonas del edificio que se encuentran en mal estado y ello servirá para poder adoptar las soluciones necesarias de sustitución o reparación.

#### → Comprobación de entramado de muros

Para comprobar el estado en que se encuentran los muros de entramado de madera, hay que tener en cuenta que la posición de las distintas piezas que lo componen puede ser muy variada y compleja. No debe caerse en el error de suponer que todos los entramados son similares o muy parecidos. Esto puede causar, durante la obra, sorpresas desagradables.

El dibujo nº 1 refleja distintas posibilidades de composición del entramado de un muro. Se indican asimismo los nombres habituales de cada una de las piezas de madera. Conviene comprobar que debajo de un pié derecho no siempre existe otro en la planta inferior.

Una muestra de las diferentes posibilidades que existen de estructuras de entramado de madera se puede apreciar en las fotografías números 5,6,7,8 y 9.

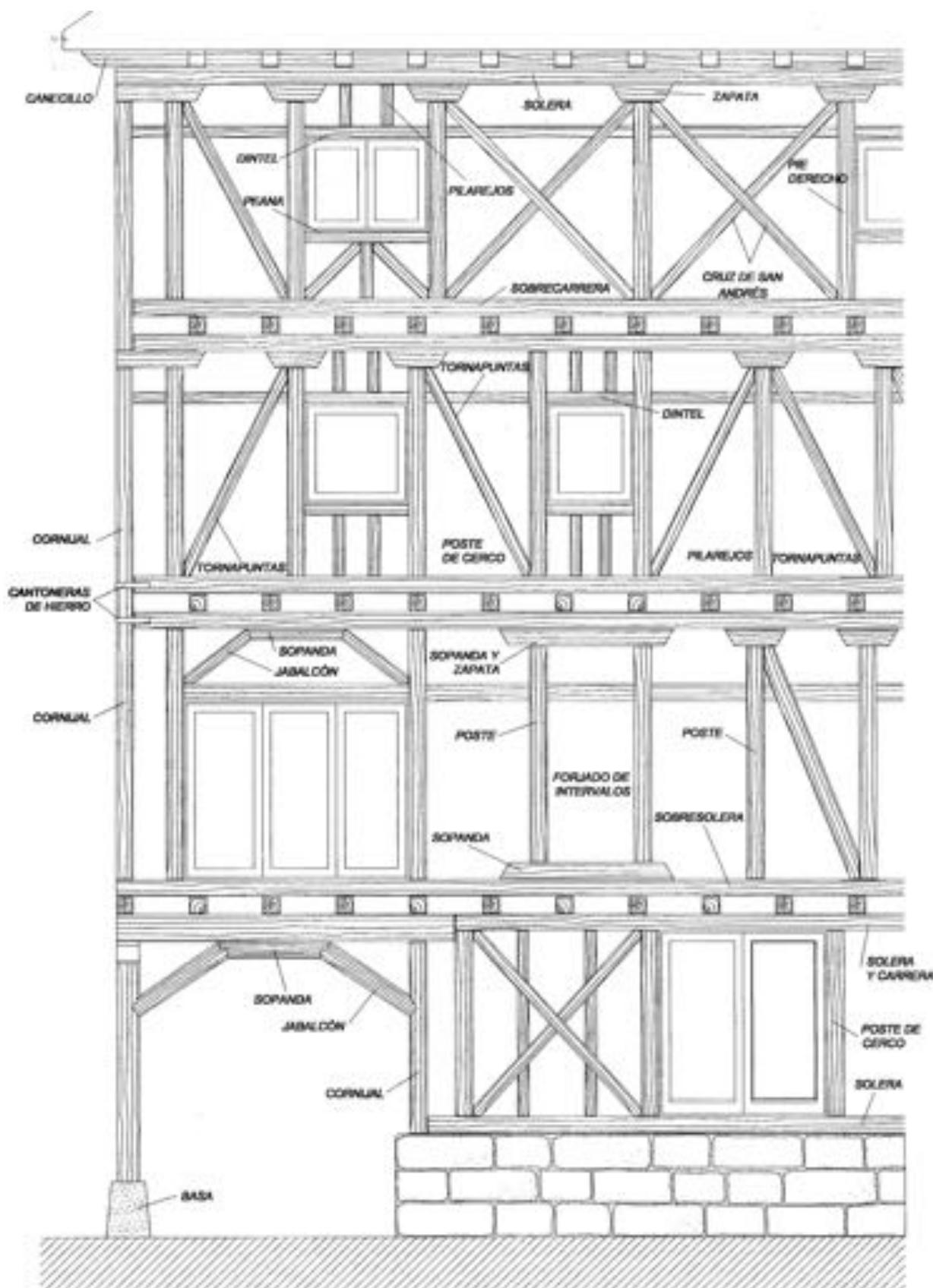
*Dibujo nº 1: Piezas de muro de entramado*



Foto nº 5



Foto nº 6



Foto nº 7



Foto nº 8



Foto nº 9

Como consejo, para su mejor conocimiento, debe seguirse el siguiente procedimiento:

- a) Localizar la posición de los pies derechos dentro de los muros picando el revestimiento. Medir esquadrías.
  - b) Medir distancias entre pies derechos y hasta medianerías en todas las plantas.
  - c) Estudiar la posición de las vigas, zapatas y otros refuerzos superiores.
  - d) Dibujar el esquema del muro de entramado completo y comprobar si hay desplazamientos en los pies derechos.
  - e) Situar ataques de pudrición.
  - f) Situar ataques de insectos xilófagos.
- a) Es necesario localizar la posición de los pies derechos dentro de los muros. Para ello hay que picar el revestimiento y, a veces, parte de la fábrica. Véase la foto nº 10.



Foto nº 10



Foto nº 11

En muchas ocasiones la existencia de una grieta vertical está señalando la posición del pie derecho como puede verse en la fotografía nº 11.

Además de los pies derechos deben localizarse todas las piezas inclinadas que puedan existir, tales como tornapuntas o cruces de San Andrés. A veces los pies derechos están cortados y son los tornapuntas quienes soportan realmente la estructura.

Por eso conviene analizar bien la composición del muro porque puede ocurrir que se haya proyectado abrir un hueco en un cuartel (espacio situado entre dos pies derechos contiguos y las carreras superior e inferior) y al ejecutar esta operación se corte un tornapuntas que forma parte de la estructura portante del muro.

También debe medirse la escuadría de cada una de las piezas localizadas. Aunque lo normal es que las piezas de las plantas inferiores, sobre todo los pies derechos, sean de escuadría mayor que los superiores, no siempre es así y a veces la escuadría se mantiene en toda la altura del edificio.

- b)** Cuando se estudia un muro de entramado debe medirse la posición que ocupan los pies derechos en todas las plantas. Si se toma una medianería como origen y a partir de ella se sitúan todas las piezas, se tendrá un fiel reflejo de la estructura del muro.
- c)** También deben localizarse otras piezas del muro tales como las zapatas y las carreras y, en su caso, las sobrecarreras si existieran. Véase la foto nº 12.



Foto nº 12

- d)** Con todos los datos anteriores debe dibujarse un alzado completo del muro en toda su altura. Una vez dibujado se comprobará si hay desplazamiento en los pies derechos entre una planta y otra para adoptar las medidas de refuerzo necesarias.
- e)** Localizadas las piezas, podrá situarse sobre planos, de alzado de los muros la existencia de los ataques de pudrición.
- f)** También podrá señalarse, sobre dichos planos, si existieran los ataques de insectos xilófagos

Con esta visión general podrá determinarse cual es la zona afectada del muro y así se aplicará la solución del refuerzo o sustitución más conveniente.

#### → Comprobación de forjados

Para comprobar el estado en que se encuentran los forjados, así como las vigas y viguetas que las componen debe seguirse el siguiente procedimiento:

- a)** Comprobación exterior de grietas

- b)** Eliminar pavimentos antiguos y rellenos hasta la cara superior de las vigas
- c)** Picar el revestimiento inferior del forjado en las zonas del apoyo de las vigas
- d)** Comprobar las diferencias de nivel
- e)** Situar ataques de pudrición
- f)** Situar ataques de insectos xilófagos
- g)** Otras comprobaciones

- a)** Antes de entrar en el edificio, y si este está exento, sin medianerías o al menos parcialmente, conviene hacer una inspección exterior del mismo.

Así se podrán localizar, si existen, grietas verticales paralelas a la fachada principal o posterior del edificio, situadas inmediatamente después del espesor del cerramiento de fachada.

En ese caso la grieta detecta que falta conexión entre la fachada y el forjado o, lo que es lo mismo, que las cabezas de las viguetas del forjado están partidas en el punto de unión con la fachada.

Esta misma grieta exterior puede indicar si el problema afecta a una sola planta o a varias. Y así podrán adoptarse medidas de apeo en la zona que lo necesite.

Las grietas longitudinales existentes en la cara inferior de los forjados indican la posición de las viguetas y, posiblemente, su mal estado, bien por haber flectado excesivamente o por encontrarse las cabezas de las mismas podridas y sin apoyo en los muros. Véase como ejemplo la fotografía nº 13.



Foto nº 13

- b)** Aunque las grietas señaladas en el apartado anterior pueden indicarnos posibles lesiones de las viguetas, esto no quiere decir que las demás se encuentren bien.

Muchas veces existen falsos techos y las viguetas no se ven. En esos casos suele investigarse su estado abriendo un hueco en el falso techo y comprobando visualmente si existen, aparentemente, flechas excesivas.

Esta práctica suele producir errores ya que, lo normal, es que las lesiones se encuentren en la parte superior de las viguetas. Por lo tanto una inspección no debe ser sólo visual sino que conviene golpear la viga con un martillo, o azuela y el sonido nos indicará si la madera se encuentra en buen estado o ha perdido gran parte de su resistencia mecánica.

Para tener la garantía de no cometer errores lo mejor, y también necesario cuando se va a rehabilitar un edificio, es eliminar los pavimentos antiguos y los rellenos existentes bajo estos, hasta dejar al descubierto la cara superior se vigas y viguetas. Véase la fotografía nº 14.



Foto nº 14



Foto nº 15

Así se sabrá con certeza cuales son las lesiones existentes.

Esta operación debe hacerse con cuidado sobre todo en los locales húmedos donde, al demoler el pavimento, podría producirse el hundimiento del mismo. Véase a este respecto la fotografía nº 15.

Al realizar esta demolición debe preverse la posibilidad de tener que ir apuntalando, al mismo tiempo, las zonas que se encuentren en peor estado.

c) Otra forma de comprobar el estado en que se encuentran las cabezas de las viguetas, que suelen ser los puntos que pueden encontrarse mal, es picar el revestimiento inferior del forjado en las zonas de apoyo de las mismas sobre los muros. Véase la foto nº 16 donde el estado es aparentemente bueno y la foto nº 17 donde se aprecia alguna cabeza de vigueta en mal estado y también la carrera de apoyo.



Foto nº 16



Foto nº 17

- d) Tras haber eliminado los pavimentos deben pasarse niveles y comprobar las diferencias existentes, tomando como referencias el nivel de desembarco de la escalera y el de los balcones de fachada.

Diferencias de nivel, en una planta completa, del orden de 20 cms es bastante frecuente y a veces se puede llegar a los 40 cms. Estas importantes diferencias deben conocerse previamente ya que pueden ser decisivas a la hora de adoptar soluciones de sustitución o reparación. A veces forjados cuya madera se encuentra en un estado aceptable, deben demolerse a causa de estos grandes desniveles.

- e) Después de dibujar en planta los forjados de la estructura con todas sus viguetas, pueden señalarse en ellos los ataques de pudrición que hayan sido localizados.
- f) De la misma forma se situarán sobre los planos los ataques de insectos xilófagos detectados.

Tras estas operaciones se estará en disposición de adoptar las medidas adecuadas de demolición, apeo, sustitución o reparación que sean más convenientes.

- g) Se pueden realizar otras comprobaciones en los forjados estudiando nuevos puntos críticos de posible entrada de agua.

Uno de ellos puede verse en el dibujo nº 2 siguiente y se corresponde con las proximidades de las impostas de fachada donde se acumula el agua que puede pasar a través de las juntas de la sillería o mampostería de un edificio llegando a la testa o cabeza de las vigas del forjado favoreciendo la posible aparición de lesiones. En la fotografía nº 18 se ve una imposta de fachada con las humedades que pueden producir las lesiones comentadas.

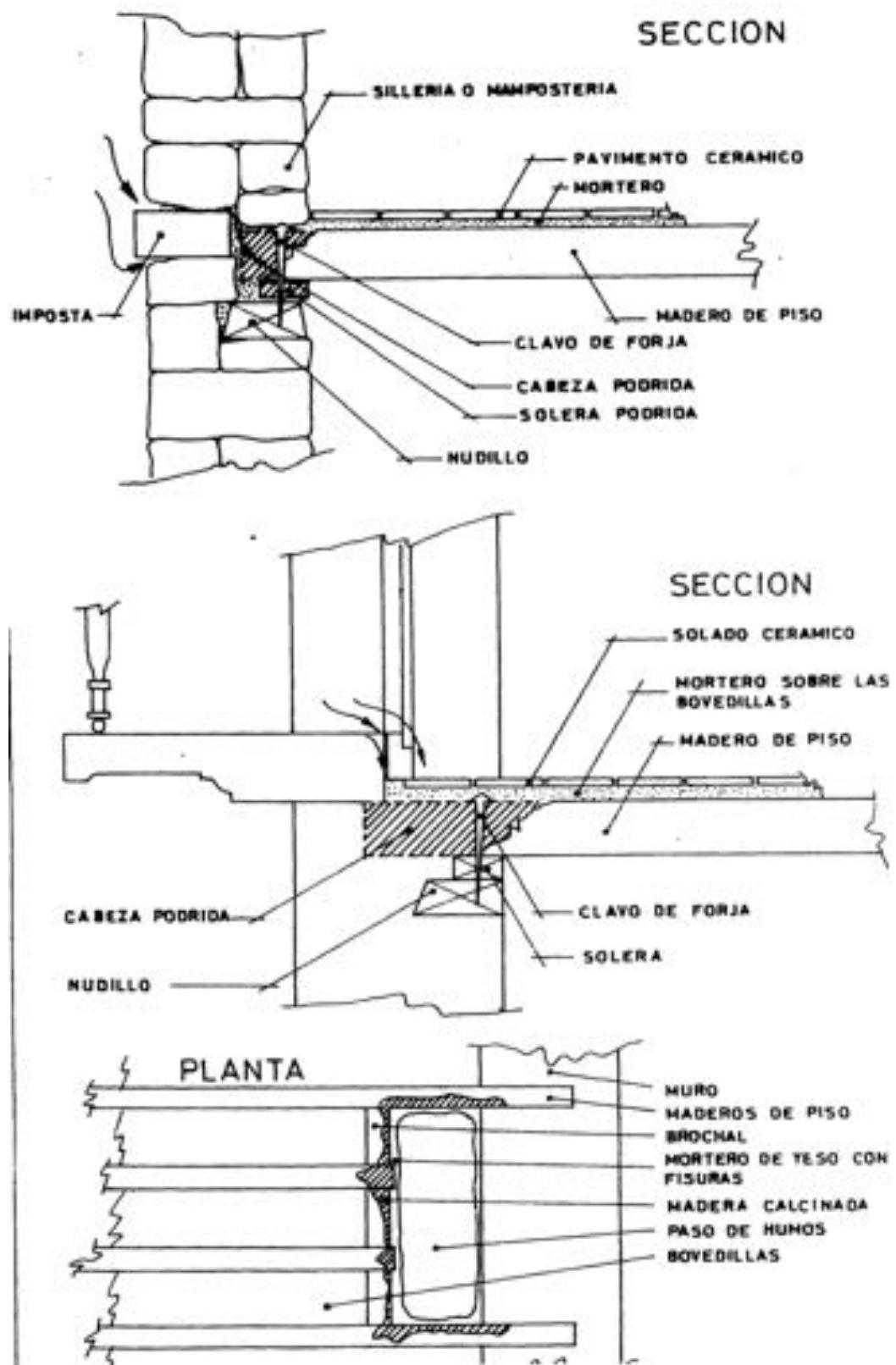


Foto nº 18

En el mismo dibujo aparece otro punto peligroso que es la unión de los balcones con el cerramiento de fachada. Con lluvia y viento y un sellado inexistente de la carpintería exterior es fácil el paso del agua que llegará también a la cabeza de las vigas del forjado propiciando el ataque de los hongos de pudrición.

El tercer detalle del dibujo representa otra zona peligrosa aunque en este caso no hay problema de humedades sino que se trata de los tradicionales pasos de las chimeneas a través del forjado dejando en su entorno la madera calcinada con la consiguiente disminución de sección de las vigas.

## Dibujo nº 2



## → Comprobación de cubierta

Para comprobar el estado en que se encuentra la cubierta del edificio conviene seguir el siguiente procedimiento:

- a) Comprobación exterior de grietas
- b) Analizar el estado del material de cubrición
- c) Si el estado es malo, desmontar y retirar los rellenos.
- d) Revisar el apoyo de los pares en los muros
- e) Comprobar la existencia de tirantes y su apoyo en el muro
- f) Revisar el estado del durmiente de madera situado sobre el muro
- g) Revisar la estructura de madera de buhardillas, beatas, etc...
- h) Situar ataques de pudrición
- i) Situar ataques de insectos xilófagos
- j) Otros problemas derivados de una mala ejecución

- a) El primer paso que debe darse para revisar la cubierta es mirar si aparecen grietas exteriores.

Una grieta vertical, en el muro de fachada, que arranca de la parte superior y es más ancha arriba que abajo puede indicar que la unión de un par y un tirante de una cercha se ha roto y el par, al no tener una pieza que impida su movimiento, se desliza hacia abajo empujando el muro de cerramiento y produciendo sobre él, la grieta vertical. La fotografía nº 19 corresponde a este caso.



Foto nº 19



Foto nº 20

- b)** Debe comprobarse el estado del material de cubrición, no sólo las tejas y el espesor del relleno existente bajo ellas, sino también el tablero de madera y otros materiales, chimeneas, canalones, etc...
- c)** Si el estado es malo, lo que ocurre con mucha frecuencia, deberá desmontarse el material de cubrición, retirar los rellenos y acopiar lo que pueda ser reutilizado.
- d)** Cuando se produce una gotera y el agua moja los pares, esta se desliza por el par hasta llegar al punto de apoyo en el muro de fachada donde se acumula. Ese es el punto donde puede producirse una pudrición o un ataque de insectos xilófagos.

Debe recordarse que, en una cubierta realizada con piezas de madera, los puntos que se tienen que revisar en primer lugar por ser los más conflictivos, son aquellos en los que se producen encuentros de piezas. Allí es donde se acumulará el agua. Véase en este caso la fotografía nº 20.

El apoyo del par se realiza generalmente sobre otra pieza de madera colocada longitudinalmente que se llama solera o durmiente. Ese encuentro de ambas piezas suele ser el punto problemático. Véanse las fotos números 21 y 22.



Foto nº 21



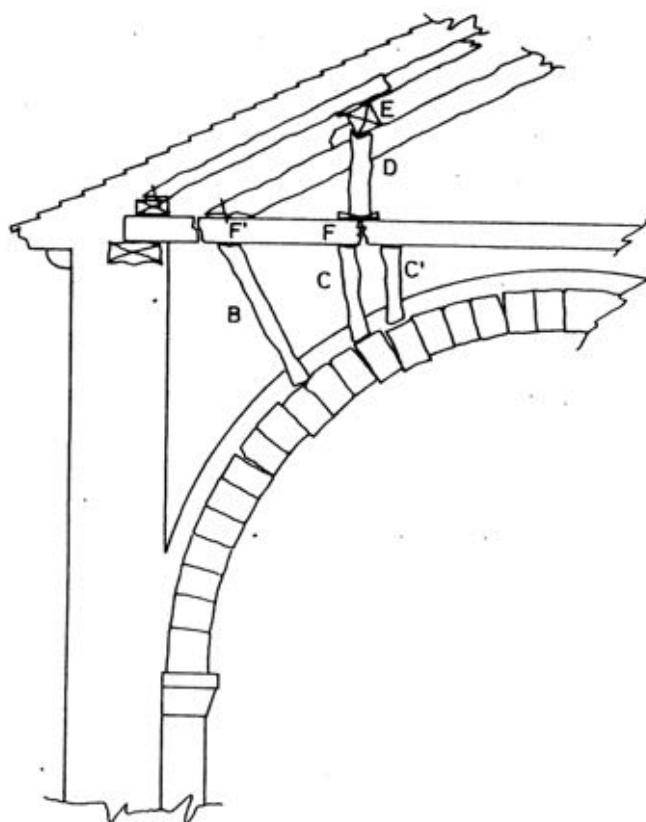
Foto nº 22

- e)** También es frecuente que existan tirantes de madera, unas veces aislados de vez en cuando para conectar entre sí las soleras o durmientes y otras veces formando parte de las cerchas.

Si la cabeza del tirante se pudre éste dejará de ejercer su función pudiendo producirse un desplazamiento de los durmientes hacia el exterior o un desplazamiento de los pares que descienden y empujan el muro.

En estos puntos se pueden encontrar soluciones de reparación, realizadas antiguamente, que suelen estar mal resueltas.

A veces dicha solución ha consistido en apear el tirante mediante pequeños puntales apoyados sobre el forjado o bóveda inferior. Esta carga puntual producirá grietas en las bóvedas y además la solución no detiene el desplazamiento del par que seguirá empujando el muro. Véase aquí el dibujo número 3.



Dibujo nº 3

Otras veces los pequeños patales no se apoyan sobre el forjado inferior sino en un mechinal abierto en el propio muro de fachada.

Como esta solución tampoco detiene el avance del par éste irá produciendo una grieta vertical en el muro que al llegar al mechinal indicado se abrirá con mayor rapidez.

- f) Debe revisarse también el estado del durmiente o solera de madera apoyado sobre el muro. Puede estar afectado, tal como se ha dicho, en la unión con el par o, en algún otro punto donde existan fisuras en el canalón de fachada que permitan la fuga del agua de lluvia. Véase la foto nº 23.



Foto nº 23



Foto nº 24

- g) La estructura de madera que da forma a las buhardillas o beatas, se encuentra apoyada, generalmente, sobre dos pares de la cubierta. Si alguno de estos falla, la buhardilla se inclinará y se deformará. También puede ocurrir que una filtración lesione su propia estructura. En la fotografía nº 24 se aprecia el apoyo de la beata sobre el par.
- h) Debe dibujarse la estructura de la cubierta en planta y también varias secciones – alzados sobre los que se pueden señalar los puntos detectados en los que existe pudrición.
- i) Sobre los mismos planos anteriores deben situarse los ataques de insectos xilófagos que se hayan podido localizar. Así se tendrá una visión general de la cubierta y se podrá adoptar la mejor decisión en cuanto a sustitución de piezas, o reparación.
- j) Además de los ataques de pudrición o insectos xilófagos localizados pueden existir otros problemas derivados de estos o de una mala ejecución. Si los pares están clavados a la hilera superior y se produce un ligero descenso del par por fallo del apoyo, su cabeza no puede descender por estar clavada y se abrirá una grieta en ella.

## 2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE REPARACIÓN Y SUSTITUCIÓN

### 2.1. ACTUACIONES PREVIAS

Una vez detectadas las lesiones que tiene la estructura ya pueden iniciarse los trabajos de sustitución y reparación adecuados a los daños existentes pero antes es necesario realizar una serie de actuaciones previas tales como el apeo de zonas de forjado o cubierta en distintos puntos del edificio.

Puede ser imprescindible el apeo cuando se encuentren podridas las bases de varios pies derechos de la planta inferior, o cuando se encuentren en mal estado los forjados de los locales húmedos, como se ve en la foto nº 25, o cuando hayan fallado los apoyos de los pares de la cubierta.



Foto nº 25

En cuanto a las posibles actuaciones de reparación, éstas pueden realizarse sobre los distintos elementos de la estructura y así tendremos los siguientes:

- Reparación de pies derechos
- Reparación de muros de entramado
- Reparación de forjados
- Reparación de cubierta

### 2.2. REPARACIÓN DE PIES DERECHOS

Cuando se interviene sobre los pies derechos caben, entre otras, las siguientes opciones:

- Sustitución completa por otros de madera
- Sustitución completa por soporte metálico
- Sustitución parcial por prótesis de madera

- Sustitución parcial mediante técnica Beta
- Sustitución parcial por fábrica de ladrillo
- Refuerzos metálicos

### **2.2.1. Sustitución completa por otro de madera**

Si el pié derecho afectado se encuentra en muy malas condiciones es más barato sustituirle por otro que deberá ser de la misma escuadría y del mismo tipo de madera.

Esto se hace, tras apear la zona de influencia del pié derecho que se va a sustituir.

### **2.2.2. Sustitución completa por soporte metálico**

También puede sustituirse el pié derecho de madera por un soporte metálico, en cualquiera de los distintos niveles de la estructura siempre que se tenga la precaución de colocar las necesarias piezas metálicas de conexión y anclaje al resto del entramado.

El dibujo nº 4 indica alguna posibilidad de solución de este tipo. Conviene comentar que las uniones verticales de los pies derechos con las otras piezas se realizan por el sistema de botón y botonera para evitar su desplazamiento horizontal en la estructura. Por eso, cuando un pié derecho se sustituye, debe preverse también esta conexión tal como se ve en el dibujo donde la placa de apoyo del soporte metálico lleva una espiga que se alojará en la botonera de la base de piedra.

A veces es la zapata situada sobre la parte superior del pié derecho la que se encuentra en mal estado. Una posible reparación de la misma se refleja en el dibujo nº 5.

### **2.2.3. Sustitución parcial por prótesis de madera**

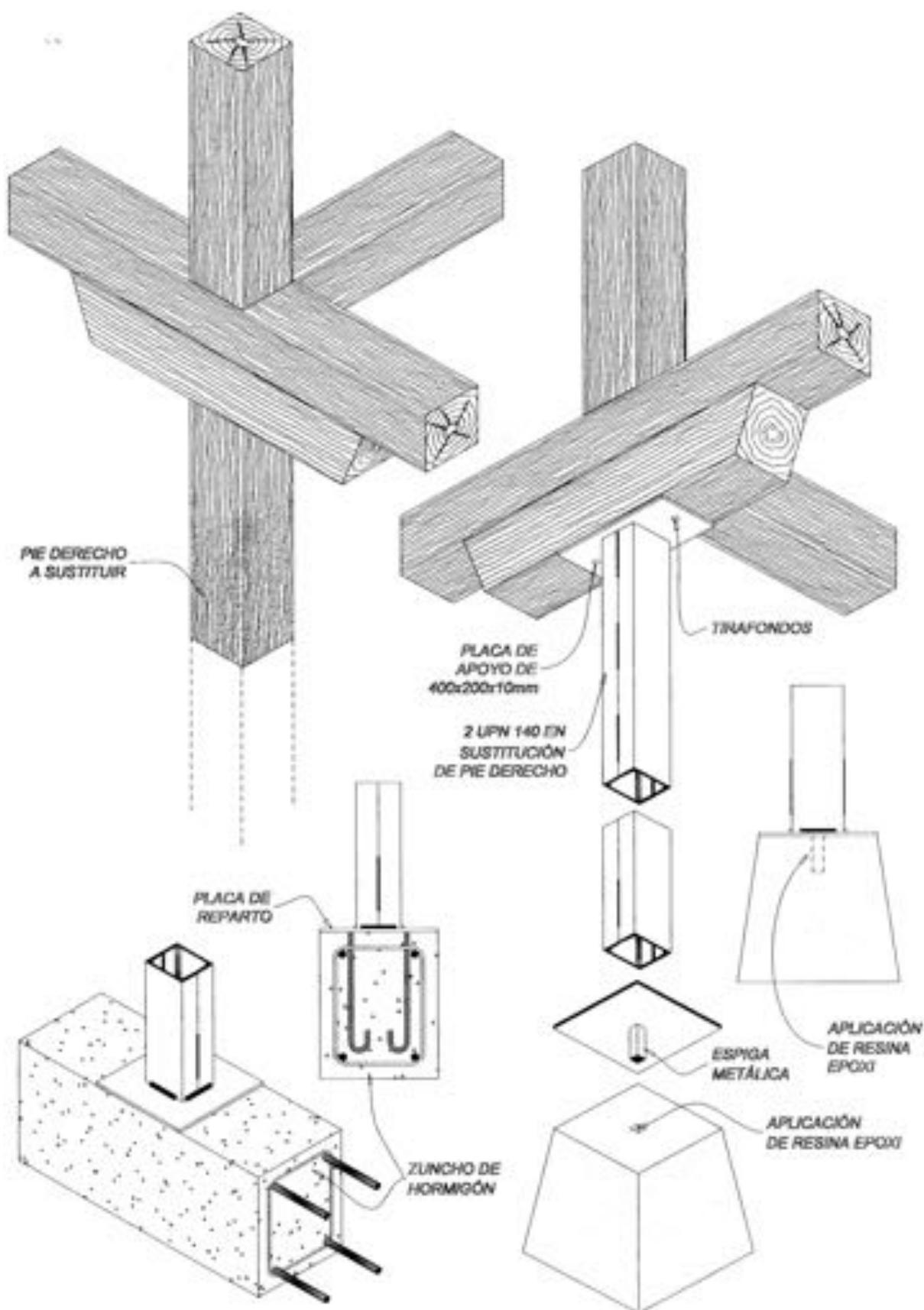
Si es sólo una parte del pié derecho, generalmente la base, la que se encuentra en mal estado, cabe la opción, que se refleja en el dibujo nº 6 de eliminar la zona deteriorada y sustituirla por una pieza del mismo tipo de madera y la misma escuadría.

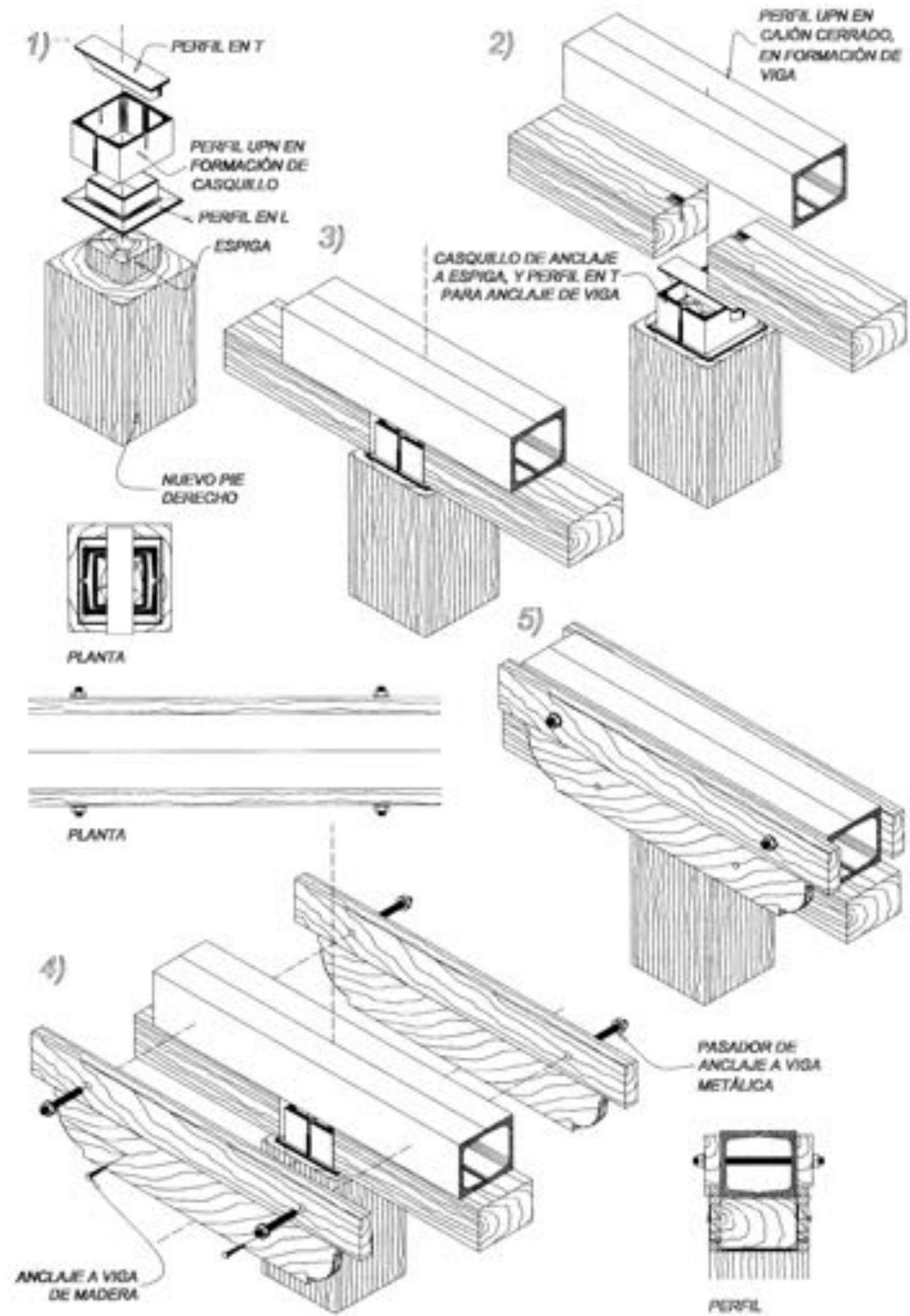
Será necesario colocar unos angulares metálicos en la base y anclarlos a la madera con tirafondos para evitar desplazamiento del pié derecho.

### **2.2.4. Sustitución parcial mediante técnica Beta**

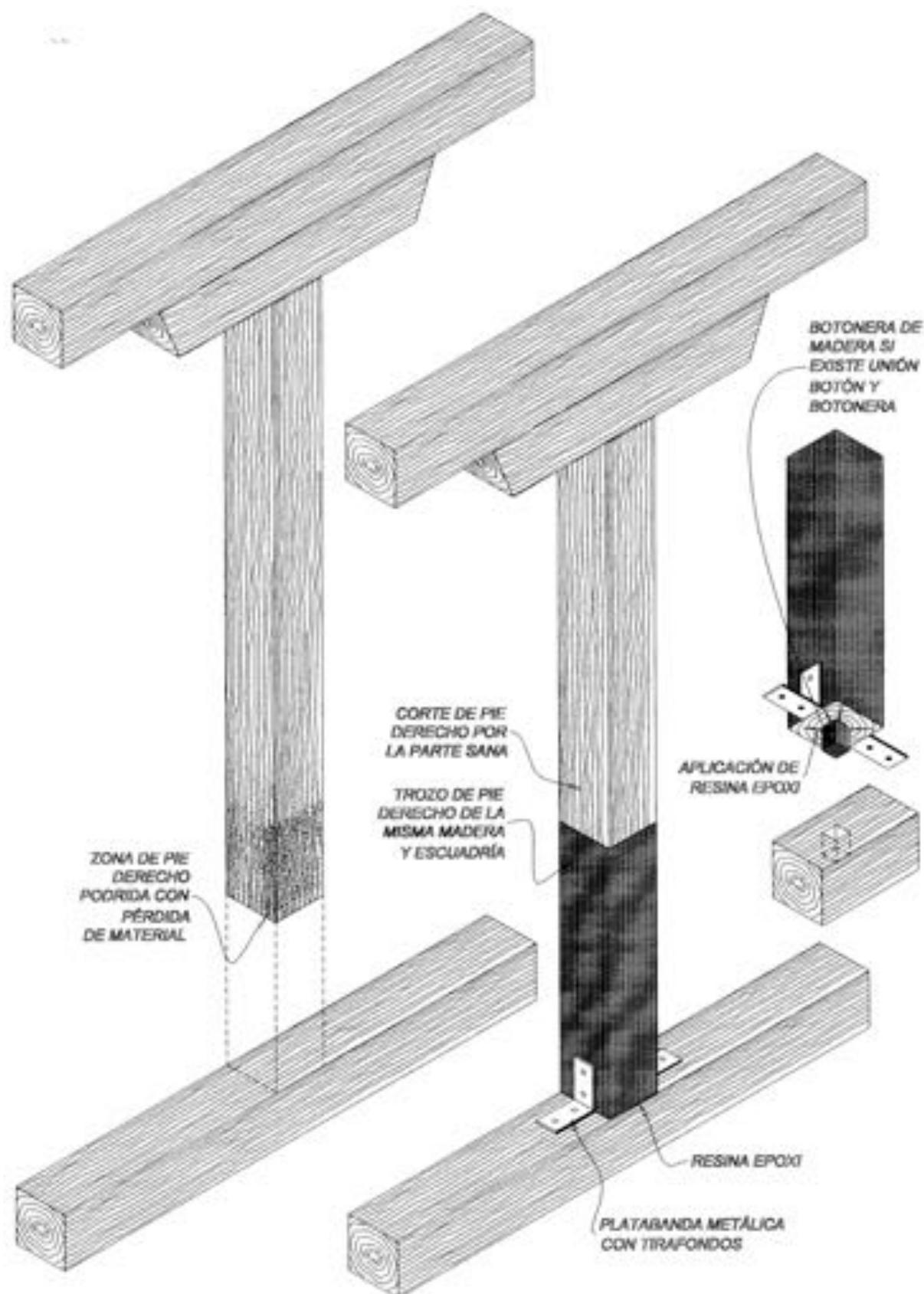
Otra opción, cuando sólo una parte del pié derecho se encuentra en mal estado, es utilizar la técnica Beta que se describirá más extensamente, al hablar de reparación de cabezas de vigas más adelante. En esencia consiste en sustituir la zona dañada por una prótesis realizada con varillas de fibra de vidrio reforzadas con poliéster y un mortero de formulación epoxi.

**Dibujo n° 4 REPARACIÓN DE PIES DERECHOS: Sustitución completa de pie derecho por soporte metálico**



**Dibujo nº 5 REPARACIÓN DE PIES DERECHOS: Refuerzo de zapatas con perfiles y/o chapa**

**Dibujo nº 6 REPARACIÓN DE PIES DERECHOS: Sustitución parcial de base de pie derecho por prótesis de madera**



## **2.2.5. Sustitución parcial por fábrica de ladrillo**

Una opción más, en este caso aconsejable sólo cuando el pié derecho se encuentra en la planta inferior y cuando el relleno de los cuarteles es de fábrica de ladrillo, es sustituir la parte dañada por fábrica de ladrillo que debe enjarjarse con el resto de la fábrica y, sobre ella, separándola del pié derecho colocar una lámina impermeable que impida la ascensión del agua por capilaridad a través de la fábrica.

## **2.2.6. Refuerzos metálicos**

Cuando se producen conexiones entre piezas que requieren la colocación de refuerzos metálicos conviene que estos tengan la anchura completa de la pieza de madera y que los tirafondos o tornillos de anclaje se sitúen al tresbolillo para evitar que la colocación de varios tornillos alineados dé lugar a una grieta en la madera.

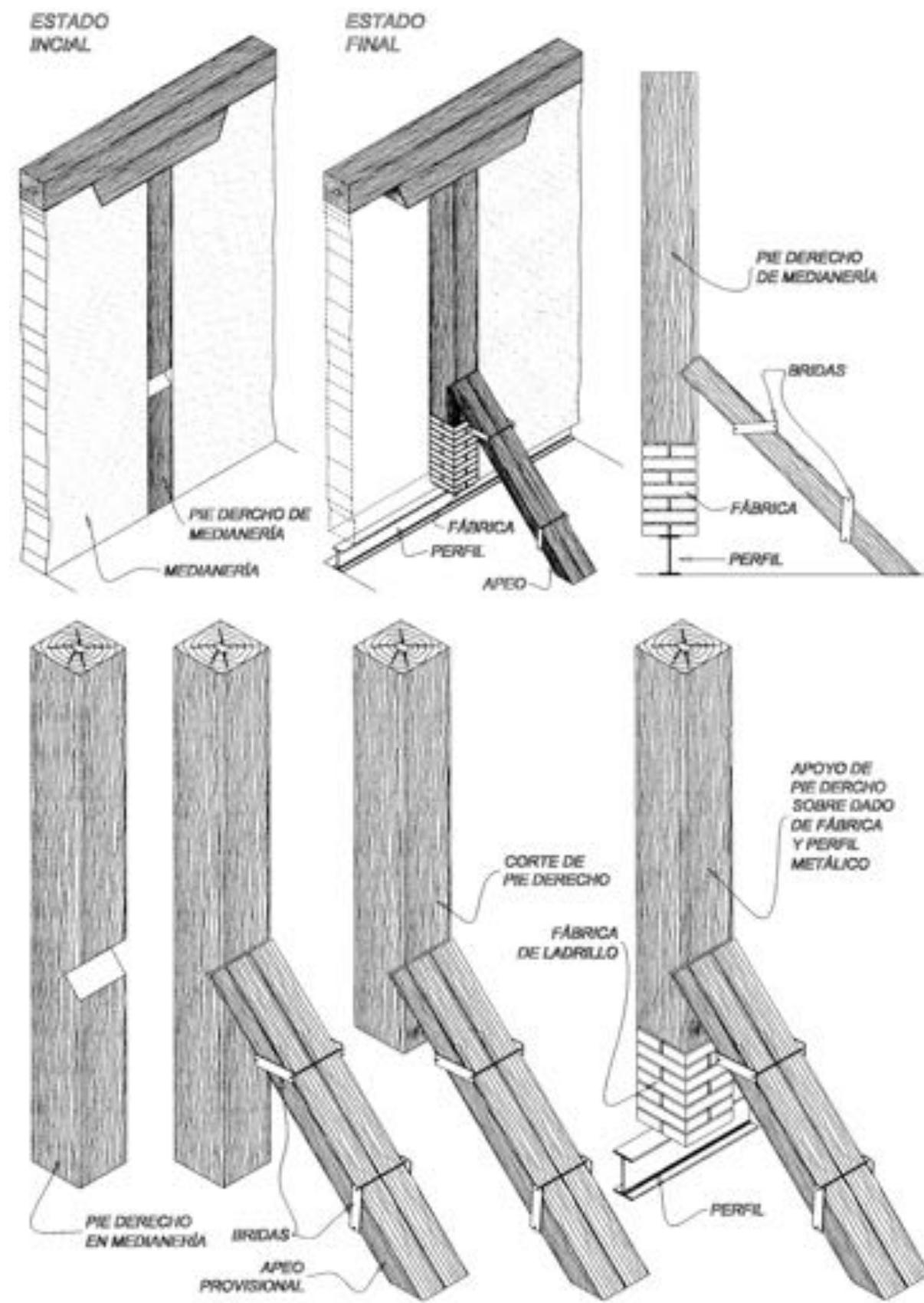
Una solución de refuerzo, que aparecen en algún manual y consiste en la colocación de una pletina helicoidal clavada al pié y encolada con una formulación epoxi. Esta solución parece difícil de ejecutar y su precio será con seguridad, mucho más caro que recurrir a la sustitución completa del pié derecho.

Otra solución que aparece, como la anterior, en algún manual que trata estos problemas y consiste en reforzar el pié derecho mediante un contrapeado de tejidos de fibra de vidrio impregnado en formulación epoxi. Como antes, esta solución será más cara que sustituir el pié derecho por otro y no parece tener una justificación clara.

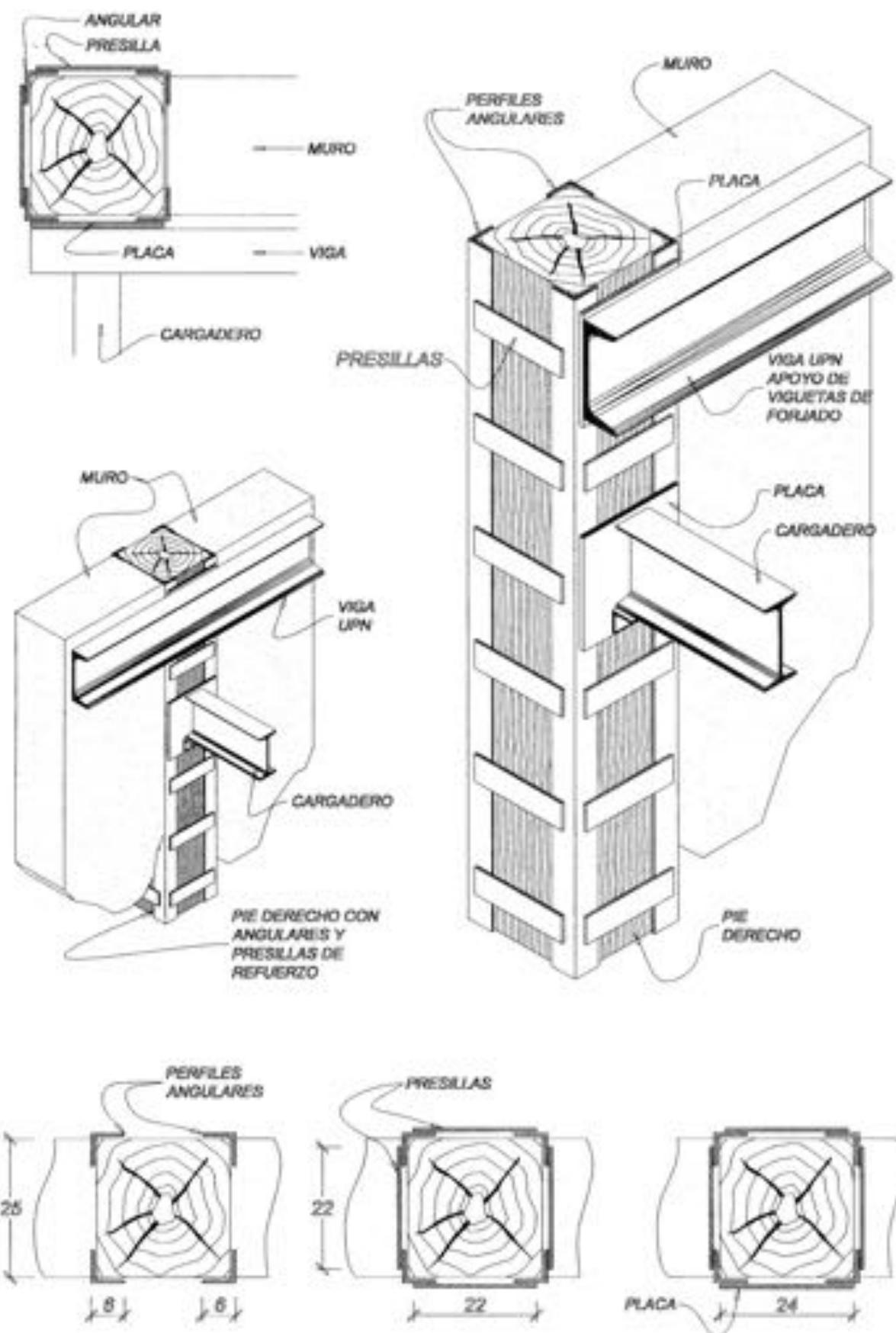
Una nueva solución de refuerzo consistente en introducir una o varias varillas de acero y mortero de formulación epoxi en el sentido longitudinal de la pieza de madera. Esto conlleva un trabajo difícil, muy complejo de ejecución y la necesidad de apear y desmontar la pieza a reforzar para luego volver a montar de nuevo. Salvo que el pié derecho fuese de una calidad artística excepcional no parece que esta solución sea recomendable debido a su alto coste y a la dificultad de su ejecución.

En algunas ocasiones es necesario realizar operaciones previas que afecten a los pies derechos, para poder ejecutar la nueva estructura. Un ejemplo de esto es lo que aparece en el dibujo nº 7 donde sobre un pié derecho situado en un muro medianero debe hacerse un corte en el que apoyar unos tablones embriddados para desviar la carga del pié derecho mientras se corta su parte inferior para colocar la nueva estructura metálica proyectada.

**Dibujo nº 7 REPARACIÓN DE MUROS DE ENTRAMADO: Apeo provisional de pie derecho en medianería**



**Dibujo n° 8 REPARACIÓN DE MUROS DE ENTRAMADO: Refuerzo de pie derecho con 4 angulares empresillados**



## 2.3. REPARACIÓN DE MUROS DE ENTRAMADO

Entre las distintas soluciones que pueden utilizarse en la reparación de los muros de entramado, dejando a un lado la sustitución completa de piezas deterioradas por otras nuevas también de la misma madera y con la misma escuadría, se encuentran las siguientes:

- Refuerzo de pié derecho con 4 angulares empresillados
- Refuerzo de pié derecho con dos perfiles UPN abrazando el pié derecho y presillas.
- Refuerzo de pié derecho con dos perfiles UPN con aletas hacia el exterior y presillas.
- Placas y vigas para apoyo de forjado
- Placas y vigas cargadero

### 2.3.1. Refuerzo con angulares

Se puede reforzar la estructura de entramado de madera sin necesidad de eliminar sus piezas. Una de las posibles soluciones es colocar, en los pies derechos, cuatro angulares metálicos en sus esquinas y conectarlos entre sí con presillas. Luego pueden colocarse placas metálicas en la parte alta exterior de los pies derechos sobre las que pueden soldarse vigas UPN que servirán de apoyo a las viguetas del forjado.

En la figura nº 8 se describe la solución y el proceso a seguir. La dificultad que puede tener la ejecución de este refuerzo es que los angulares y presillas se introducen en el muro y eso supone tener que demoler parte del muro a los lados del pié derecho, lo que, a veces, es imposible si no se rompe algún jabalcón u otra pieza de madera importante.

### 2.3.2. Refuerzo con perfiles UPN abrazando el pié

En lugar de tener que utilizar cuatro piezas sueltas, los cuatro angulares de la solución anterior, pueden utilizarse sólo dos, en este caso dos UPN abrazando el pié derecho que se conectan luego con presillas.

### 2.3.3. Refuerzo con perfiles UPN y aletas exteriores

La colocación de los perfiles UPN en posición vertical abrazando los pies derechos del muro de entramado, puede ser muy difícil si no es posible en algunos casos, al encontrarse con otras piezas de madera. Por eso cabe otra solución que no tiene esas dificultades ya que los perfiles UPN se colocan con las aletas hacia el exterior del muro.

El inconveniente de esta solución es que la posición de las aletas hacia el exterior ocupa un espacio que, en ocasiones, si coincide con un pasillo, puede hacerse inviable.

También puede complicarse algún otro encuentro de la estructura como es la unión con un cargadero de una puerta de paso que necesitaría ejecutar previamente la colocación de unas cartelas y una placa.

#### **2.3.4. Placas y vigas para apoyo de forjado**

Ya se han podido ver en el dibujo anterior la solución de colocación de placas y vigas para el apoyo de las viguetas del forjado.

#### **2.3.5. Placas y vigas cargadero**

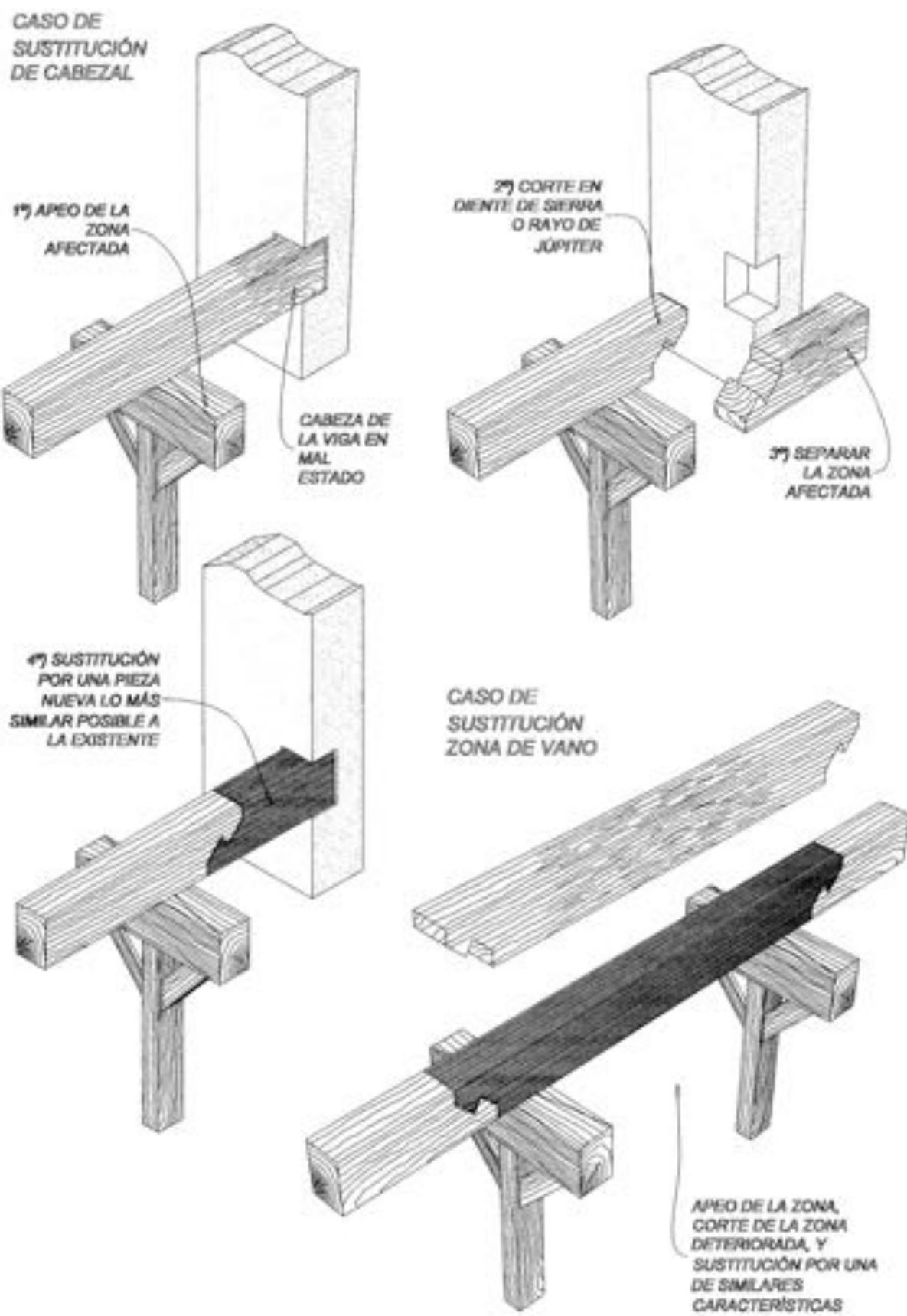
De la misma forma se pueden ejecutar las soluciones para la conexión de cargaderos a los nuevos soportes metálicos realizados con perfiles en ángulo y UPN.

### **2.4. REPARACIÓN DE FORJADO**

Es en los forjados, probablemente, donde hay más posibilidades de aplicar diferentes soluciones de sustitución y reparación. Entre ellas cabe contar con las siguientes:

- Sustitución completa de vigas
- Sustitución parcial de vigas
- Prolongación del apoyo de la viga, disminuyendo la luz libre
- Prolongación del apoyo con elementos metálicos
- Reparación de zonas de forjado y esquinas con perfiles metálicos
- Refuerzos metálicos en vigas y nudos
- Refuerzo mediante tensor inferior
- Refuerzos con tirafondos
- Refuerzos con perfiles y pasadores
- Refuerzos con perfiles adosados
- Atirantados
- Recuperación de la flecha
- Nuevo forjado

**Dibujo nº 9 REPARACIÓN DE FORJADOS: Técnicas tradicionales de recuperación. Sustitución parcial de viga**



**Dibujo nº 10 METODOLOGÍA DE LA TÉCNICA BETA**

1.-)

ANÁLISIS DE LA PROFUNDIDAD DEL ATAQUE Y GRADO DE DETERIORO



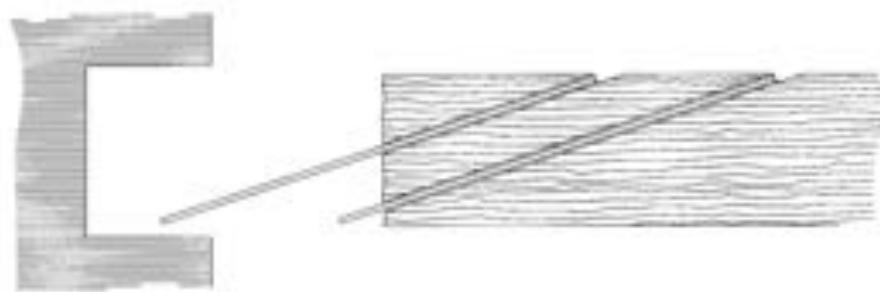
2.-)

ELIMINACIÓN DE LA PARTE ATAQUADA Y CONSOLIDACIÓN DE LA PARTE RECUPERADA



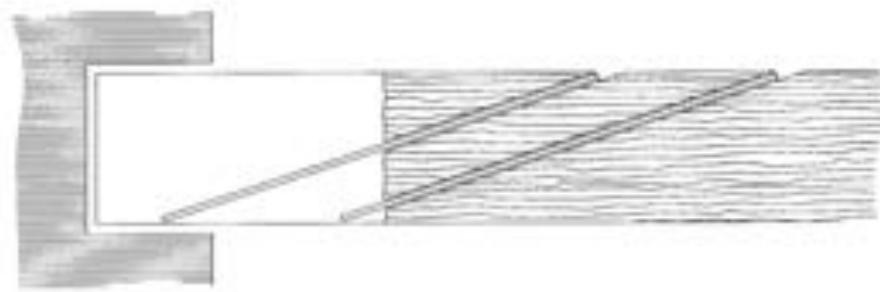
3.-)

REALIZACIÓN DE LOS TALADROS



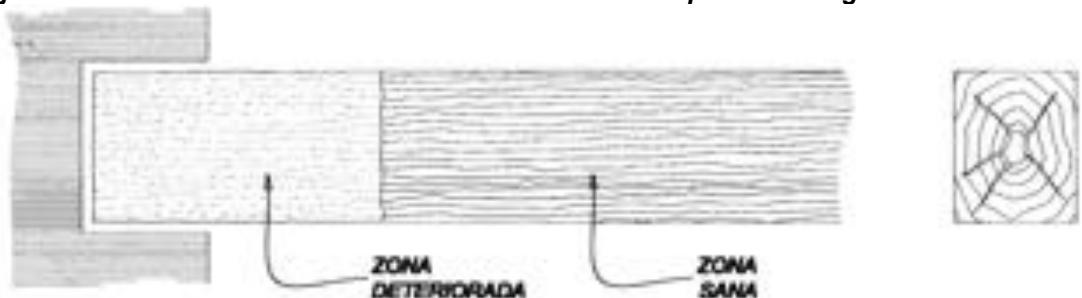
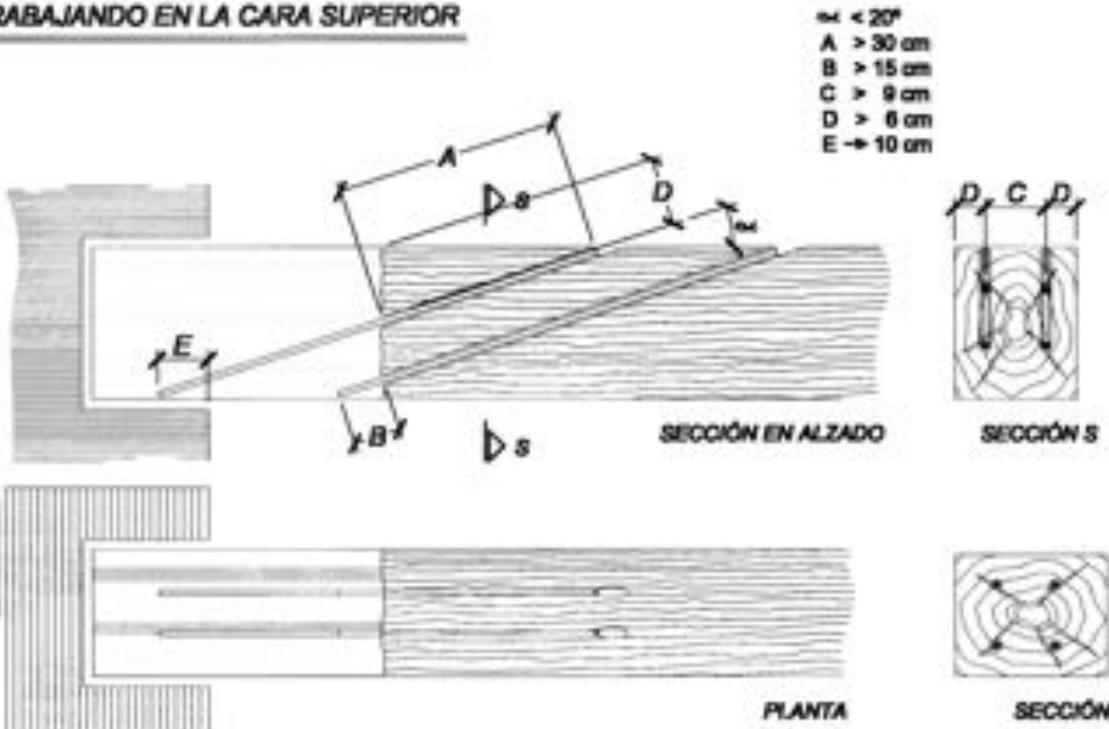
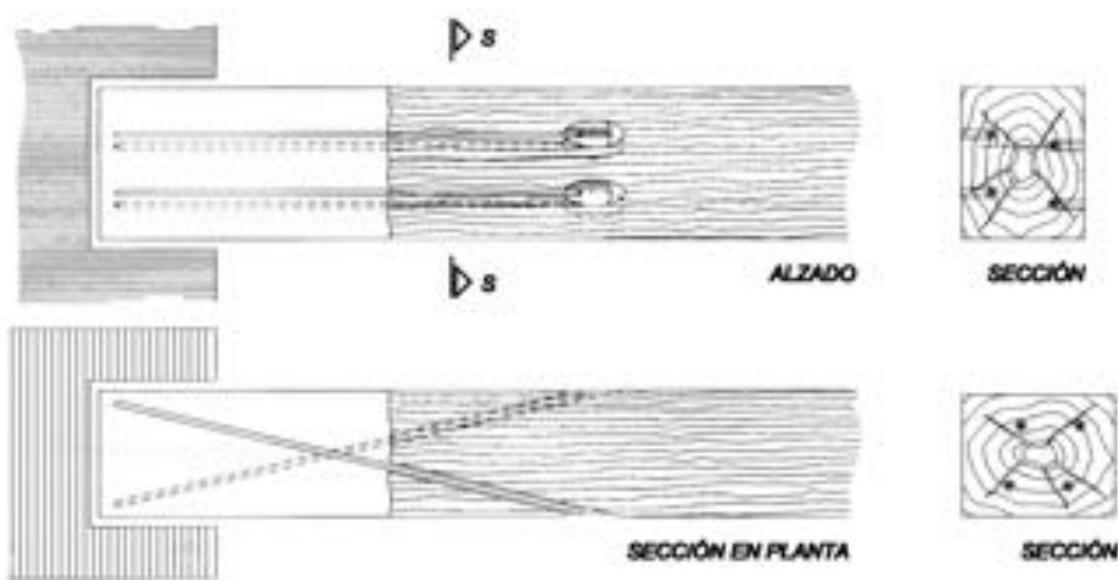
4.-)

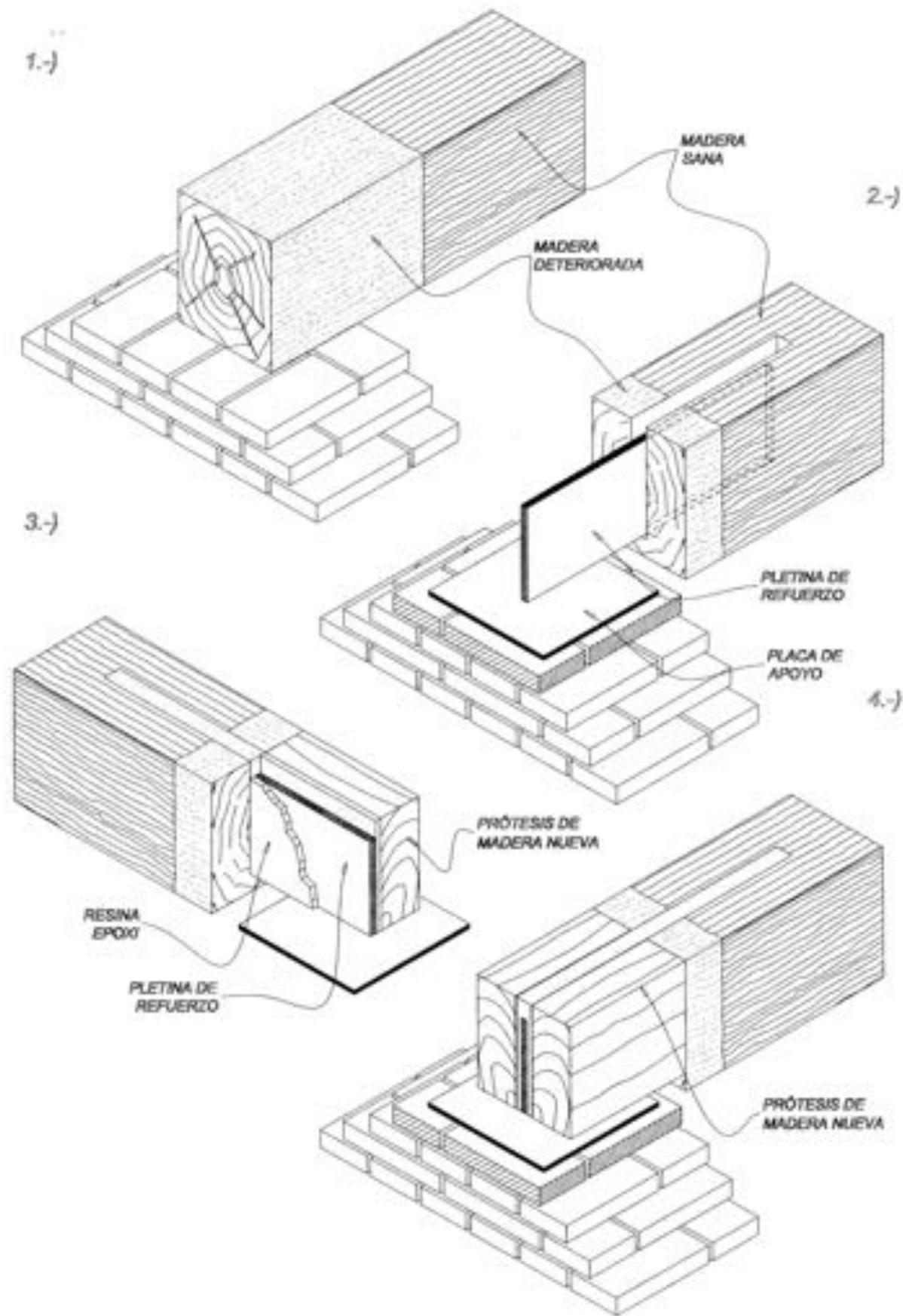
COLOCACIÓN DEL ENCOFRADO Y DEL VARILLAJE



5.-)

VERTIDO DEL MORTERO

**Dibujo nº 11 REPARACIÓN DE FORJADOS: Sustitución parcial de viga. Técnica BETA**TRABAJANDO EN LA CARA SUPERIORTRABAJANDO EN LA CARA LATERAL

**Dibujo nº 12 REPARACIÓN DE FORJADOS: Sustitución parcial de viga. Prótesis de madera**

#### **2.4.1. Sustitución completa de vigas**

Cuando la viga está dañada de forma muy extensa o importante, no merece la pena pensar en su reparación ya que el coste superaría ampliamente el valor de la pieza nueva. En esos casos la viga se sustituye completamente.

#### **2.4.2. Sustitución parcial de vigas**

Si una parte de la viga se encuentra en mal estado cabe la posibilidad de eliminar la zona afectada sustituyéndola por una pieza de madera de escuadria similar.

En el dibujo nº 9 refleja la sustitución de una cabeza de viga en un caso y de una zona central de viga en otro caso.

Ambas soluciones pueden realizarse apeando previamente la zona que se encuentra en mal estado.

El método de reparación, que se ve en el dibujo nº 10 se conoce como la técnica Beta. Se aplicó por primera vez en Holanda y consiste básicamente en lo siguiente:

- En el detalle 1 la parte señalada con la letra A corresponde a una zona en la que la madera ya no existe; la parte señalada con la letra B indica madera muy deteriorada y la señalada con la letra C refleja una zona con la madera levemente dañada.
- En el detalle 2 del mismo dibujo se ve como se ha eliminado la madera atacada cortando la viga por la parte sana.... y se ha aplicado un protector al resto de la viga.
- En el detalle 3 se han realizado unos taladros inclinados atravesando la madera sana de la viga.
- En el detalle 4 se introducen en los taladros anteriores una varillas de fibra de vidrio reforzadas con poliéster.
- Una vez encofrada la viga se llenan todos los huecos libres con una formulación se resina epoxi.

En estos dos dibujos comentados se explica esquemáticamente la solución pero, en realidad, deben cumplirse mas reglas, que se explican en el dibujo nº 11, y que son las siguientes:

- El taladro más próximo a la zona deteriorada que ya ha sido eliminada debe situarse a una distancia A superior a los 30 cm. Una vez introducida la varilla, ésta debe penetrar dentro de la zona de apoyo del muro una distancia E de unos 10 cm. Si esto no se consigue, la solución no es viable y en ese caso habría que buscar otra alternativa.

- El ángulo de inclinación de los taladros respecto a la horizontal debe ser menos de 20 grados.
- El resto de las distancias se señalan en el dibujo.

Otra manera de sustituir parcialmente una viga es la reflejada en el dibujo nº 12 donde se explica el proceso de la siguiente forma:

- En el detalle 1 se muestra la cabeza de la viga que se encuentra con la madera deteriorada.
- En el detalle 2 ya se ha cortado la parte deteriorada de la viga; se ha colocado una placa metálica de apoyo en el muro y, una vez realizado un corte longitudinal en la viga, se introduce una pletina metálica de refuerzo que apoya sobre la placa.
- En el detalle 3 se aprecia que se han colocado prótesis de madera nueva a los lados de la pletina de refuerzo y se han rellenado los huecos con una formulación de resina de epoxi.
- El detalle 4 refleja el estado final de la reparación. La madera nueva se puede teñir aplicando un color similar al del resto de la viga.

#### **2.4.3. Prolongación de apoyo de la viga, disminuyendo la luz libre**

En esta solución no se interviene sobre la vigueta deteriorada sino que se actúa colocando unas ménsulas de piedra y sobre ellas se apoya una nueva carrera de madera disminuyendo la luz libre de apoyo.

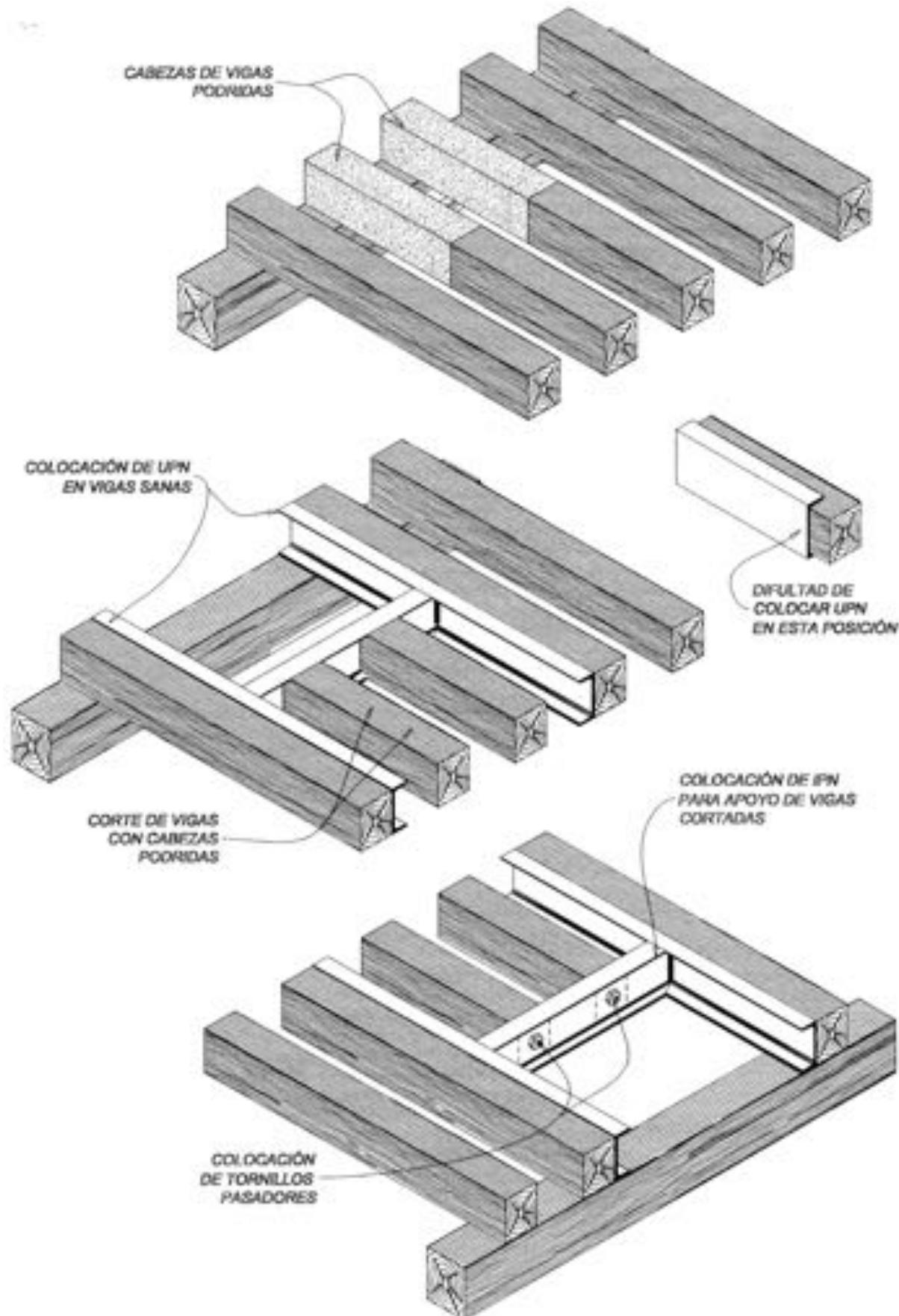
Esta solución no evita que la vigueta siga deteriorándose si está atacada por pudrición o por insectos xolófagos.

#### **2.4.4. Prolongación del apoyo con elementos metálicos**

Otras dos soluciones se basan también en disminuir la luz libre de apoyo de la viga colocando en un caso un angular anclado al muro y utilizando un perfil metálico, en el otro caso, formado por palastros en forma de U y colocando tirafondos para anclar el perfil a la madera.

Esta última solución se puede mejorar colocando un dado de hormigón en el muro y sobre él una placa metálica de apoyo. Conviene colocar los tirafondos al tresbolillo para evitar que aparezca una grieta en la madera.

Se puede hacer una combinación de soluciones anteriores, colocando pletinas y pasadores para conseguir el apoyo de las viguetas aunque tengan deteriorada su cabeza.

**Dibujo nº 13 REPARACIÓN DE FORJADOS: Refuerzo con vigas metálicas y brochal****2.4.5. Reparación de zonas de forjado y esquinas con perfiles metálicos**

Lo más frecuente, cuando es necesario intervenir en una estructura de madera, es que la zona afectada sea pequeña alcanzando, en el caso de forjados, a las cabezas de unas pocas viguetas.

Cuando se da esta situación y el tramo deteriorado en cada vigueta es pequeño se puede reparar de acuerdo con lo indicado en el dibujo nº 13.

Para ello se colocan perfiles UPN adosados a las viguetas en buen estado, una vez que se ha eliminado el entrevigado. Tras apagar las viguetas afectadas se eliminan las zonas en mal estado.

Después se coloca un brochal formado por perfil metálico IPN perpendicular a los dos UPN y se anclan las viguetas, cortadas mediante tornillos pasadores que atraviesan su cabeza y se fijan al perfil IPN.

Se podría tener la tendencia a colocar los perfiles UPN abrazando las viguetas pero esto no es posible casi nunca porque las viguetas suelen estar flectadas.

Un problema similar puede darse cuando la zona afectada se encuentra en una esquina, donde, probablemente, coincide el paso de una bajante que ha tenido fugas de agua.

La solución en este caso podría hacerse realizando un triángulo metálico formado por dos perfiles UPN en ángulo, anclados con tirafondos a las carreras y un perfil IPN soldado a los anteriores. Todo ello por debajo del nivel del forjado.

Encima de este perfil IPN y bajo las viguetas, deben colocarse cuñas metálicas que permitan transmitir la carga del forjado a dicho perfil.

#### **2.4.6. Refuerzos metálicos en vigas y nudos**

Existen algunas soluciones de refuerzos metálicos para diferentes casos cuando el apoyo de la vigueta está roto en su extremo o cuando el refuerzo coincide con la reparación de una carrera situada en la fachada realizada con pletina metálica ya que no se pueden colocar perfiles UPN ó IPN que dejarían las alas vistas al exterior.

Los refuerzos en zonas de nudos pueden resolverse utilizando toda clase de elementos metálicos, perfiles UPN e IPN, platabandas, angulares, presillas y pernos de conexión.

Cuando se ha producido un incendio que no ha llegado a afectar seriamente a la estructura de madera pueden, sin embargo, haberse deteriorado las uniones tradicionales de botón y botonera entre las distintas piezas, en sus nudos.

Para evitar posibles desplazamientos de las piezas que forman la estructura se pueden reforzar los nudos con pletinas.

#### **2.4.7. Refuerzo mediante tensor inferior**

A veces se producen desplazamientos de alguna zona de la estructura de madera, perdiendo ésta su verticalidad.

Si el movimiento no ha sido demasiado grande puede intentarse llevar la estructura a su posición inicial. Para ello se utilizan tensores, realizados con varillas roscada de alta resistencia, anclados a platabandas colocadas en los nudos que se pretenden desplazar.

Una vez que se ha llevado la estructura a su posición primitiva, no se quitan los tensores sino que permanecen como refuerzo y cabe la posibilidad de revisión posterior.

#### **2.4.8. Refuerzos con tira fondos**

Si la escuadria de la pieza de madera es insuficiente para soportar los refuerzos requeridos puede aumentarse su dimensión, adosando otra pieza de madera.

Para que la unión entre ambas sea efectiva deben realizarse cortes dentados. Una vez acopladas las piezas, directamente, o con la ayuda de tacos intermedios, se colocarán tira fondos pasantes.

#### **2.4.9. Refuerzos con perfiles y pasadores**

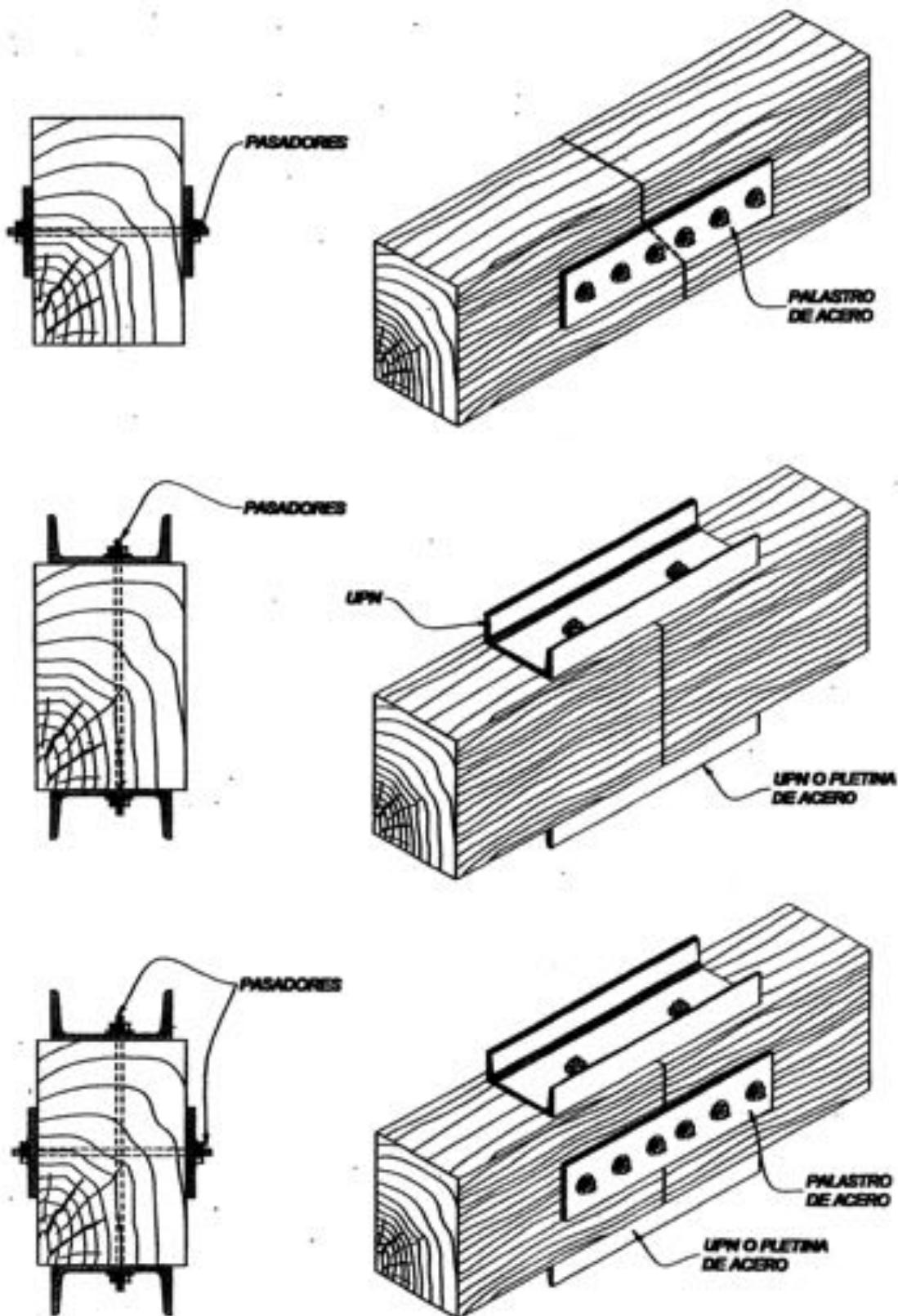
En el caso de uniones entre dos piezas de madera cortadas pueden utilizarse perfiles metálicos UPN o pletinas de acero y pasadores.

En el dibujo nº 14 se muestran tres posibles soluciones para casos de este tipo.

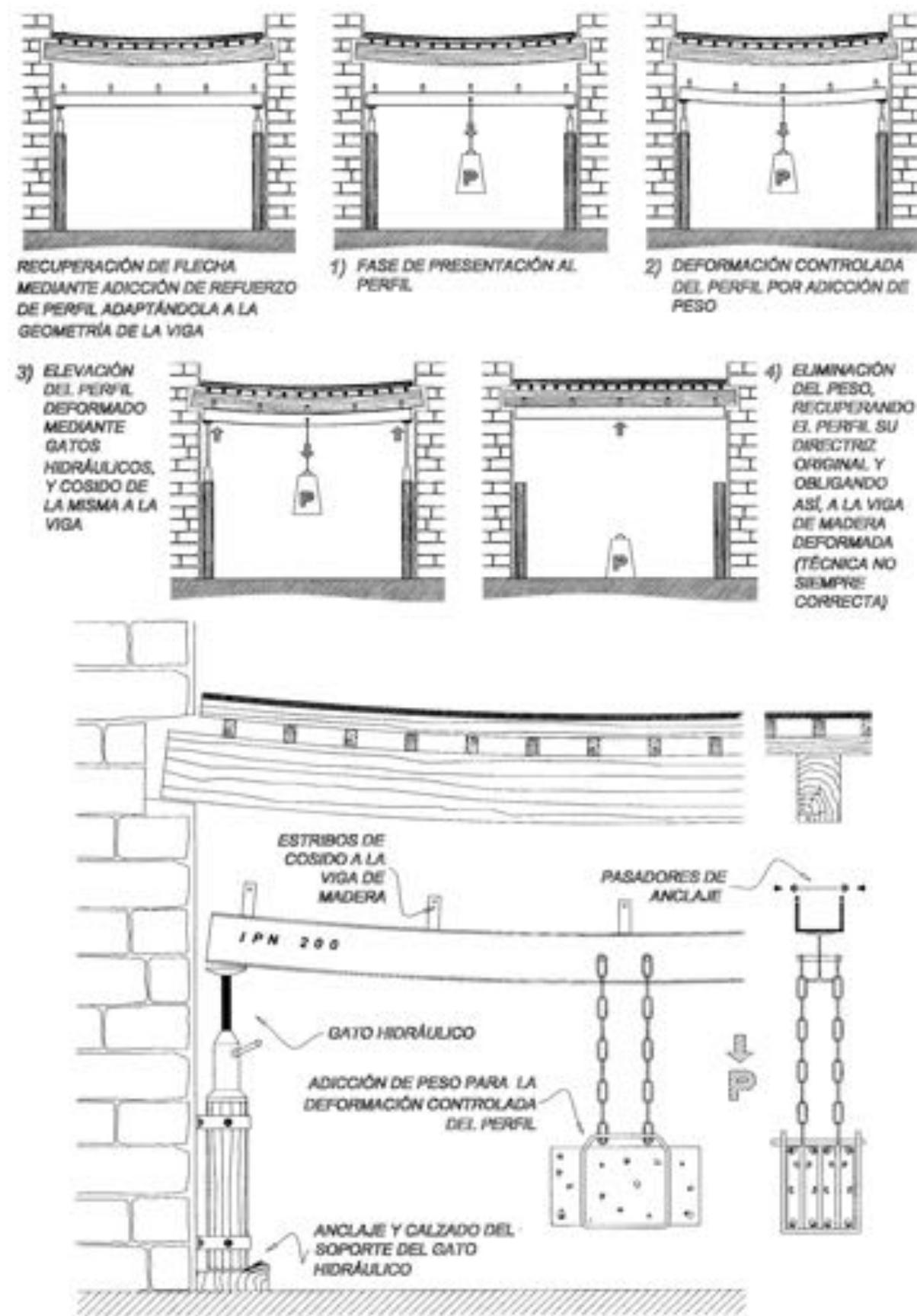
#### **2.4.10. Refuerzos con perfiles adosados**

Hay múltiples posibilidades de refuerzo de las vigas de madera de los forjados adosando perfiles metálicos. Hay refuerzos con angulares, con perfiles UPN, con perfiles IPN o UPN y madera completando los huecos, con pletinas, con perfil IPN adosado a la cara superior y/o a la cara inferior de la pieza o la solución más compleja componiendo una viga de madera en forma de T y perfil metálico superior embebido en el canto del nuevo forjado.

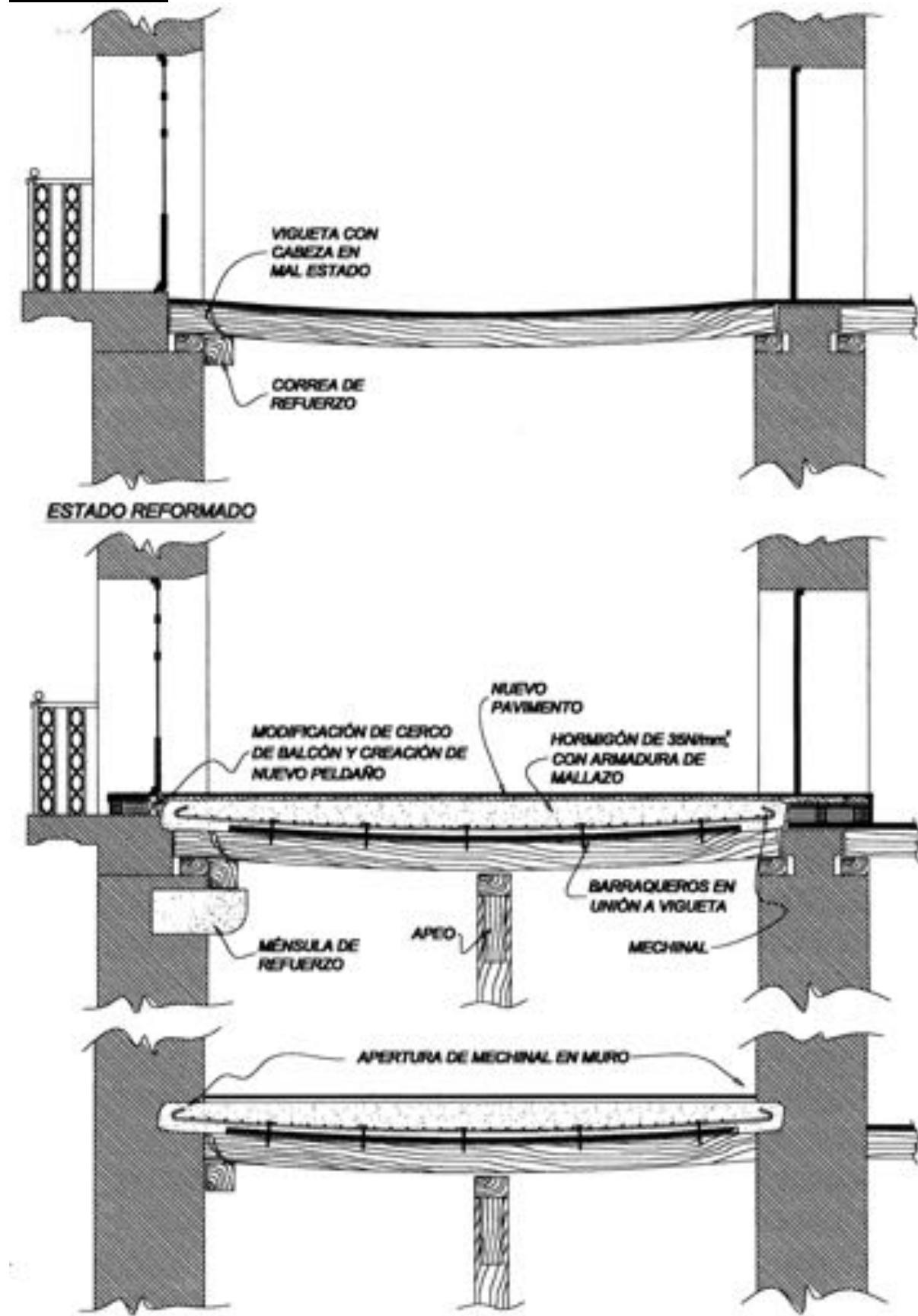
También pueden utilizarse piezas especiales formadas por pletinas soldadas en ángulo y ancladas con tira fondos en sus extremos.

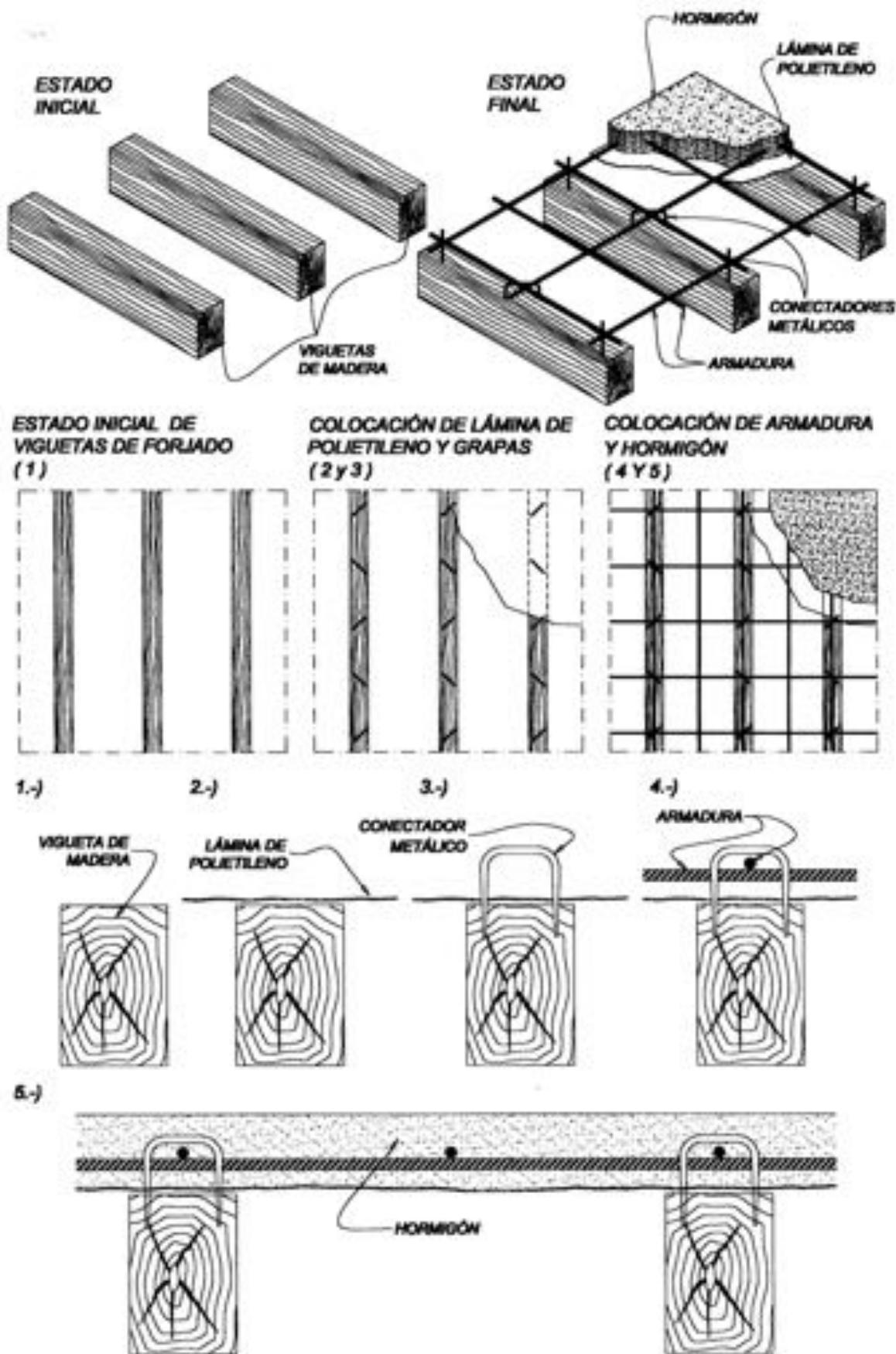
**Dibujo nº 14 REPARACIÓN DE FORJADOS: Refuerzo de vigas con perfiles y/o chapa**

**Dibujo nº 15 REPARACIÓN DE FORJADOS: Técnicas tradicionales de recuperación de flecha de viga de madera**



**Dibujo nº 16 REPARACIÓN DE FORJADOS: Refuerzo de cabezas de viguetas de forjado**  
**Estado actual**



**Dibujo nº 17 REPARACIÓN DE FORJADOS: Refuerzo de forjado**

#### 2.4.11. Atirantados

Cuando desaparecen apoyos intermedios en las vigas, motivados posiblemente por modificación de las antiguas distribuciones interiores del edificio, estas tienden a flectar excesivamente.

Una opción que resuelve este problema es la colocación de tirantes bien atravesando la pieza de madera o colocándolos lateralmente a la misma.

Pueden realizarse refuerzos insertando varillas de acero embutidas con lechada fluida de formulación epoxi y adición por la cara inferior de pletina pegada con epoxi.

#### 2.4.12. Recuperación de la flecha

Si una viga está excesivamente flectada, pero la madera se encuentra en buen estado, puede seguirse el procedimiento señalado en el dibujo nº 15 para recuperar la flecha.

El sistema consiste en colocar bajo la viga de madera otra metálica a la que, inicialmente, se le coloca un peso para conseguir la misma curvatura que tiene la viga deformada.

La viga metálica, que está apoyada sobre gatos hidráulicos se eleva hasta contactar con la madera y se une entonces a ella mediante estribos o pletinas soldados a la viga metálica y anclados con pasadores a la de madera.

Luego se va retirando poco a poco el peso hasta que ambas vigas recuperan la posición horizontal.

Esta solución, que aparece en algún curso de rehabilitación de estructuras de madera, es peligrosa ya que si la viga de madera está muy flectada o si la operación se realiza demasiado deprisa podría ocurrir que la madera se fracturara o quedara dañada.

#### 2.4.13. Nuevo forjado

Una solución, no demasiado recomendable, pero posible, es la de mantener las viguetas antiguas, aunque estén deterioradas, resolver mediante nueva carrera de madera, anclada con elementos metálicos al muro, o apoyada sobre ménsulas de piedra, el fallo en el apoyo y tras apesar el forjado antiguo, colocar una losa de hormigón armado sobre el forjado primitivo poniendo conectadores metálicos en las viguetas tal como se aprecia en el dibujo nº 16.

Otra solución diferente, mucho mejor que la anterior, se refleja en el dibujo nº 17 y se utiliza cuando el forjado de madera, que se encuentra en buen estado, no es capaz de resistir las cargas que va a recibir como consecuencia de una modificación del uso del edificio.

En este caso se puede colocar una losa de hormigón sobre el forjado antiguo siguiendo el procedimiento señalado que consiste en poner primero sobre las antiguas viguetas una lámina de polietileno que evite que la madera se emape de agua y puedan aparecer problemas posteriores de pudrición o ataque de insectos xilófagos.

Luego se colocarán horquillas metálicas ancladas a las viguetas que servirán de conectadores entre el forjado antiguo y la nueva losa.

A través de los conectadores anteriores se pasará la armadura de la losa y luego se hormigonará.

## **2.5. REPARACIÓN DE CUBIERTA**

La cubierta, si no está bien resuelta la solución del material de cubrición o lleva mucho tiempo sin el debido mantenimiento, tendrá entrada de las aguas de lluvia, y ello dará lugar a fallos en la estructura de madera que deberán repararse por alguno de los siguientes procedimientos:

- Sustitución de pares completos.
- Reparación de nudos de conexión entre el par y el tirante.
- Sustitución parcial del par. Técnica Beta
- Sustitución parcial de canecillos.

### **2.5.1. Sustitución de pares completos**

Como ya se ha dicho, cuando el agua penetra en la zona de la cubierta no se detiene en el mismo punto donde cae sino que se desliza por los pares hasta llegar a un punto de unión con otra pieza de madera.

Este punto de unión suele ser el del apoyo del par sobre el durmiente de madera situado en la zona más alta del muro de fachada. Ahí se produce acumulación de agua y problemas de pudrición.

Si el deterioro del par en el punto de apoyo es grande, es más barato sustituir el par completo que intentar repararlo parcialmente.

También puede ocurrir que en el anclaje, a veces con clavo de bellote, de la parte alta del par en su unión con la hilera, se produzca una grieta como consecuencia del descenso de la parte baja del par que se encuentra deteriorado.

También en este caso es mejor cambiar el par completo.

### **2.5.2. Reparación de nudos de conexión, par-tirante**

Si la estructura de la cubierta está formada por cerchas de madera, el punto donde se suelen dar los problemas es en la unión del par con el tirante.

Si esta conexión falla, el tirante ya no podrá sujetar el par y este iniciará un descenso que se traduce en un empuje sobre el muro de fachada apareciendo en este una grieta vertical, más ancha en la parte superior.

Para evitar este problema debe repararse el nudo de unión. Esto se realiza de la siguiente forma:

- a) Se apea la estructura en esa zona
- b) Se elimina la parte de madera deteriorada.
- c) Se coloca en el muro un dado de hormigón con una placa de anclaje en su zona superior.
- d) Se adosan dos perfiles metálicos UPN al tirante, con la longiitud suficiente para colocar tirafondos atravesando la madera por una parte y apoyar sobre la placa metálica del muro por el otro extremo.
- e) Se adosan también otros dos UPN, al par y, como en el caso del tirante, se fijan con tirafondos a la madera y se apoyan por el otro extremo en la placa del muro.
- f) Finalmente se conectan los dos extremos metálicos formados por los perfiles UPN del par y del tirante, mediante placas soldadas a ambos.

#### **2.5.3. Sustitución parcial de par. Técnica Beta**

Como ya se ha dicho varias veces los puntos más conflictivos en las cubiertas son aquellos en los que se producen encuentros entre piezas de madera.

La reparación en esos puntos consiste en eliminar las zonas deterioradas y, tras realizar taladros e introducir varillas de fibra de vidrio reforzadas con poliéster, llenar con formulación de resina epoxi.

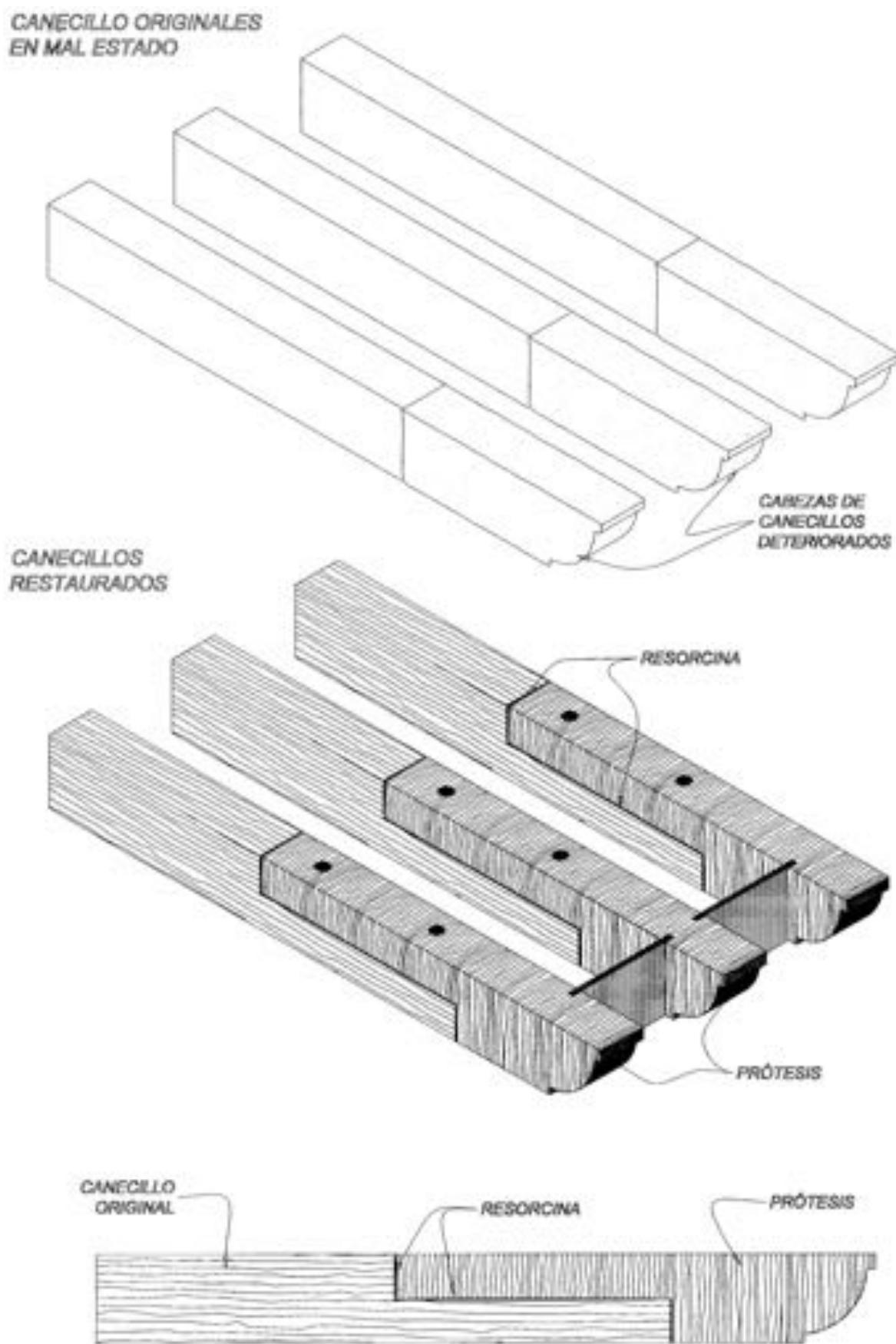
#### **2.5.4. Sustitución parcial de canecillo**

Los canecillos, al ser piezas de madera muy expuestas a la intemperie, se suelen deteriorar con cierta rapidez.

Cuando esta situación se produce pueden repararse tal como se indica en el dibujo nº 18 de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- a) Eliminación de la parte deteriorada cortando el canecillo.
- b) Preparación de las prótesis de madera nueva, con la misma escuadría que la pieza original.
- c) Aplicación de resorcina sobre la madera antigua en toda la superficie de contacto con la nueva prótesis.
- d) Colocación de tornillos pasantes que conecten la madera antigua con la nueva.
- e) Teñido de la madera nueva para conseguir el mismo color que la antigua.

**Dibujo nº 18 REPARACIÓN DE CUBIERTA: Sustitución parcial de canecillos. Prótesis de madera**



### 3 BIBLIOGRAFÍA

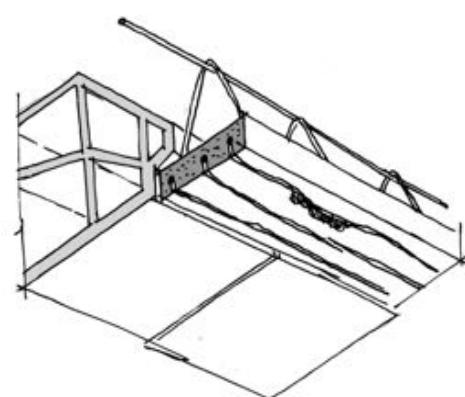
- Argüelles, R. Y Arriaga, F. (2000). Estructuras de madera. Diseño y cálculo. Editorial AITIM. Madrid, 663 págs.
- Argüelles, R., Arriaga, F. y Martínez, J.J. (2000). Estructuras de madera. Diseño y cálculo. AITIM, Madrid, 663 páginas.
- Arriaga, F. (1986). Consolidación de estructuras de madera mediante refuerzos embebidos en formulaciones epoxi. Tesis Doctoral no publicada, E.T.S. Arquitectura de Madrid.
- Arriaga, F. (2000). Estructura mixta de madera y hormigón (Sistema HBS). AITIM nº 206. Madrid, jul-ag. Pags. 83-84.
- Arriaga, F. (1998). La carpintería en el Tratado de Arquitectura Civil de Benito Bails. Boletín de Información Técnica de AITIM nº 191. Madrid, ene-feb 1998. Pág. 33-48.
- Arriaga, F., García, L., Gebremedhin, K.G. y Peraza, F. (1992). Evaluación de la capacidad portante de forjados antiguos con vigas de madera. AITIM. nº 161. Págs 51-62.
- Arriaga, F., Peraza, F., Esteban, M., Bobadilla, I., y García, F. Intervención en estructuras de madera. AITIM.
- Barberot, E. (1921). Tratado práctico de edificación. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona.
- Barberot, E. (1946). Tratado práctico de carpintería. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona.
- Bobadilla, I. (2000). Tratamiento químico no repelente contra las termitas. AITIM nº 208. Pág 9.
- Cañadas, J.G. (1997). Sistemas constructivos de los edificios madrileños con estructura entramada de madera. Apuntes del Curso de Intervención en Edificios con Estructura de Madera. Plan de formación continuada IV. Fundación Cultural COAM, Madrid.
- Cigni, G. Y otros (1981). Nuove tecniche di consolidamento di travi in legno. Edizione Kappa. Roma.
- Fernández Cánovas, M. (1981). Las resinas epoxi en la construcción. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.
- Gómez, M.L. (1998). La restauración. Examen científico aplicado. Ediciones Cátedra.
- Hoffmann, Kurt y Griese, Helga (1967). Construcciones con madera. Editorial Blume. Barcelona.
- Knöll, Frick (1953). Construcción en madera. Construcción de edificios II. Editorial Labor, S.A. Argentina. Buenos Aires. 272 páginas.
- Kraemer, G. (1958). Compendio de la conservación de maderas. 526 págs.
- Landa Esparza, M. (1999). Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera – Unión encolada I. Metodología de puesta en obra. Revista de Edificación nº 28, Pamplona, 1999. Págs 32-38.
- Landa Esparza, M. (1999). Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera – Unión encolada II. Metodología de puesta en obra. Revista de Edificación nº 29, Pamplona mayo de 1999. Pags 30-36.

- Landa Esparza, M. (2000). Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera – Unión encolada. AITIM, nº 204. Madrid, mar.-abr. de 2000. Pags 34-38.
- Lasheras Merino, F. (1993). Tratamientos: Clasificación general, descripción de técnicas y productos y de los principios en los que se basan. De la publicación: La humedad como patología frecuente en la edificación. Edita Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. Madrid. Págs. 231-242.
- López de Roma, A. 81985). Patología y protección de la madera. La madera en la conservación y restauración del patrimonio cultural. Ministerio de Cultura, Madrid. Págs 63-87.
- Lozano A., G. y Lozano M., A. (1995). Curso: Técnicas de intervención en el patrimonio arquitectónico. Tomo I: Reestructuración en madera. Consultores Técnicos de Construcción, C.B. Gijón.
- Manual del Grupo Andino para la preservación de la madera (1988). Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Manual técnico del sistema Beta. PROMAX, Protección de maderas S.A.
- Martínez, J. Benito (1963). Investigaciones sobre termicidas y maderas resistentes a los termitos., IHIE, 119 págs.
- Medina, G. (2001). Reacción al fuego de los materiales de construcción. AITIM nº 212, págs. 75-78.
- Méndez Baliela, M. (1993-1994). Rehabilitación de estructuras antiguas de madera en edificios. Trabajo tutorado por el profesor Giambattista de Tommasi del Politécnico de Bari (Italia) para el Master Europeo de Ingeniería de la Construcción 1993-1994, Universidad de Cantabria. 90 pags.
- Merchán, F. (1999). Manual para la Inspección Técnica de Edificios (ITE). CIE Inversiones Editoriales – Dossat 2000. Madrid. 356 pp.
- Monfort, J. y Pardo, J.L. (1996). Reparaciones de forjados mediante hormigón. Seminario de “La conservación de la madera en los edificios antiguos”. Patología de elementos lineales de madera, inspección diagnóstico. Universidad Politécnica de Valencia. E.U. de Arquitectura Técnica. Valencia 22 de marzo de 1996.
- Monfort, J. y Pardo, J.L. (1998). Reparaciones de forjados mediante hormigón. Seminario “La conservación de la madera en los edificios antiguos”. Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Pags 139-168.
- Monjo Carrió, J. (1993). Lesiones frecuentes en estructuras enterradas. De la publicación: La humedad como patología frecuente en la edificación. Edita Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. Madrid. Págs. 135-145.
- Montero, L. (19??). apuntes sobre tecnología de la madera. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zamora.
- Navarrete, A. (1998). Deterioro del material y su protección. Seminario “La conservación de la madera en los edificios antiguos”. Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Pags 23-56.
- Rodríguez Barreal, J.A. (1998). Patología de la madera, Fundación Conde del Valle Salazar – Mundi Prensa. 349 páginas.
- Rodríguez Barreal, J.A. y Arriaga, F. Patología, tratamiento y consolidación de la madera puesta en obra. AITIM. 163 págs.

- Rodríguez Trobajo, E. (1985). Biodegradación y conservación de la madera estructural. Incidencia de tres especies inéditas en España. La madera en la conservación y restauración del patrimonio cultural. Ministerio de Cultura, Madrid. Págs 88-94.
- Serra H., A. (1997). Términos ilustrados de arquitectura, construcción y otras artes y oficios. 2 Tomos. Editorial del Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos y Aparejadores de Madrid.
- Sika. Prontuario. (1999). Especialidades químicas para la construcción.
- Sistema Beta. (1982). Manual técnicos del sistema Beta de la empresa PROMAX, Protección de Maderas, S.A.
- Sistema LPR. Documentación técnica de la empresa Peter Cox Interventi Speciali S.r.l.
- Sistema Sika Carbodur (1999). Documentación técnica de la empresa Sika S.A.
- Tampone, G. (1989). Restauro strutturales con lamine metalliche dei solai lignei della sede del Genio Civile di Firenze. Il restauro del legno, volume primo. Nardini Editore, Florencia. Pags 263-281.
- Tampone, G. (1998). Tipologías estructurales y su respectiva degradación. Seminario "La conservación de la madera en los edificios antiguos". Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Pags 59-81
- UNE ENV 1995-I-I. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte I-I: Reglas generales y reglas para edificación. Anexo B: Vigas compuestas con uniones mecánicas.
- UNE EN 26891. Estructuras de madera. Uniones realizadas con elementos de fijación mecánica. Principios generales para la determinación de las características de resistencia y deslizamiento.

**TOMO 2**

**CAPITULO IV**



**PATOLOGÍA DE LOS FORJADOS**

## CAPITULO IV

# PATOLOGÍA DE LOS FORJADOS

Ildefonso Torreño Gómez

*Indice:*

1. COMENTARIOS A LA NORMA EFHE.....	182
1.1 Introducción	
1.2 Bases de cálculo y análisis estructural.	
1.3 Propiedades tecnológicas de los materiales.	
1.4 Cálculos relativos a los estados límites	
1.5 Condiciones generales y disposiciones constructivas de los forjados.	
1.6 Ejecución.	
1.7 Control	
1.8 Anexos	
2. GENERALIDADES Y AUTORIZACIONES DE USO.....	198
3. DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	202
4. PATOLOGIA DE LOS FORJADOS.....	210

## 1. COMENTARIOS A LA NORMA EFHE

### REAL DECRETO 642/2002, DE 5 DE JULIO. MINISTERIO DE FOMENTO.

INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCIÓN DE FORJADOS UNIDIRECCIONALES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL REALIZADOS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS. (EFHE).

**REAL DECRETO 642/2002, de 5 de julio, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)»**

La «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96)», fue aprobada por Real Decreto 2608/1996, de 20 de diciembre.

La Comisión Permanente del Hormigón, de carácter interministerial, creada por Decreto 2987/1968, de 20 de septiembre, y reestructurada por Real Decreto 1177/1992, de 2 de octubre, ha estimado necesario proceder a la revisión de la citada Instrucción, y ello con una doble finalidad; por una parte, para adecuarla a lo prescrito en la Instrucción de Hormigón Estructural, aprobada por Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, y, por otra, para actualizarla en relación a las nuevas tecnologías constructivas y a la experiencia adquirida en el periodo de vigencia de la EF-96.

En su virtud, a iniciativa de la Comisión Permanente del Hormigón, cumplidos los trámites establecidos en la Ley 50/1997, del Gobierno, y en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información, y la Directiva 98/34/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio, modificada por la Directiva 98/48/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de julio, a propuesta del Ministro de Fomento y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión de 5 de julio de 2002,

#### DISPONGO:

**Artículo 1. Aprobación de la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE).»**

Se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)», que figura como anexo a este Real Decreto.

**Artículo 2. Ámbito de aplicación**

El ámbito de aplicación de la referida Instrucción comprende con carácter obligatorio, a todas las obras, públicas o privadas, en las que se ejecuten tipos de forjados incluidos en el anexo a este Real Decreto.

**Disposición adicional única. Prevención de riesgos laborales**

En lo relativo a los aspectos de prevención de riesgos laborales que deban tenerse en cuenta en el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados, se estará a lo dispuesto en la normativa específica sobre la materia, y, en particular, a lo establecido en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

**Disposición transitoria única. Aplicación a proyectos y obras**

Los proyectos para los que, en el ámbito de las Administraciones Públicas, se hubiese iniciado la tramitación para su redacción o contratación y los visados por los Colegios Profesionales antes de la fecha de entrada en vigor de este Real Decreto, podrán regirse por la Instrucción sobre forjados vigente en el momento del inicio de la referida tramitación o de visado, siempre que las obras se inicien antes de un año desde dicha entrada en vigor. Si las obras no se inician en el citado plazo, los proyectos deberán ser modificados de acuerdo con los preceptos de la Instrucción que se aprueba por este Real Decreto.

**Disposición derogatoria única. Cláusula derogatoria**

A la entrada en vigor de este Real Decreto, queda derogado el Real Decreto 2608/1996, de 20 de diciembre, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96)».

**Disposición final primera. Facultad de desarrollo**

Se faculta al Ministro de Fomento para dictar las disposiciones necesarias para el desarrollo y aplicación de lo dispuesto en este Real Decreto.

**Disposición final segunda. Entrada en vigor**

Este Real Decreto entrará en vigor a los seis meses de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid a 5 de julio de 2002

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Fomento  
FRANCISCO ÁLVAREZ-CASCOS FERNÁNDEZ

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

### *Artículo 1º. Campo de aplicación y consideraciones previas.*

Define el ámbito de la EFHE. Declarando que los forjados constituidos por viguetas o losas ejecutadas “in situ”, no están incluidos en la EFHE, debiéndose proyectarse y construirse de acuerdo con la EFH.

### *Artículo 2º. Definiciones.*

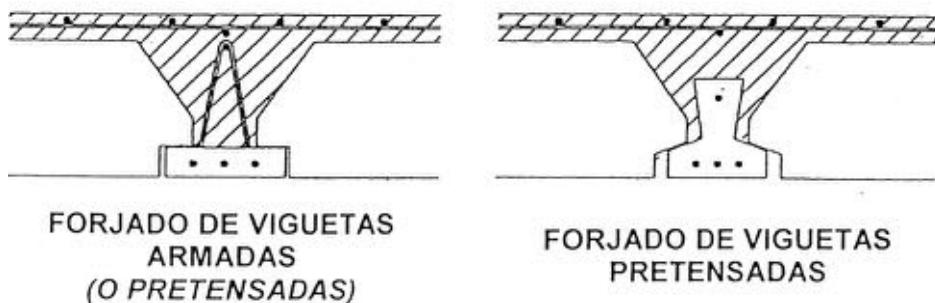
#### 2.1. Elementos constitutivos de un forjado.

Define la vigueta, la vigueta autorresistente, la losa alveolar, la pieza de entrevigado colaborante o aligerante y la losa superior de hormigón.

#### 2.2. Forjado de viguetas.

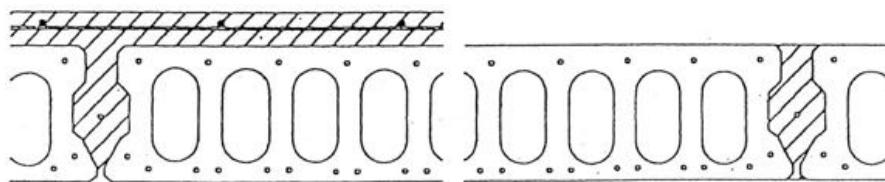
Establece en que consiste el sistema constructivo del forjado: Viguetas, piezas de entrevigado colaborante o aligerante, armaduras de obra

transversales, y de reparto, hormigón vertido en obra. Acompaña el gráfico de la figura 2.2.



### 2.3. Forjado de losas alveolares.

Define gráficamente las partes del forjado (fig 2.3). Indicando que las losas alveolares pretensadas, pueden prescindir de la “capa de comprensión”, excepto cuando existan laterales importantes.



### *Artículo 3º. Documentos de proyecto y ejecución.*

Establece que la documentación deberá de estar suficientemente definida para que cualquier técnico, pueda interpretarlos y dirigir la obra.

#### 3.1. Documentación del forjado para su ejecución.

Se detalla la información que debe figurar en la memoria y planos. Si estos han sido realizados por persona distinta del proyectista, deben llevar la firma de la persona física que los haya realizado y conformidad de la Dirección Facultativa. (Art. 10 EF-96).

#### 3.2. Documentación final de obra.

Se amplía la documentación final de obra, debiendo incluir entre otros documentos la ficha de características técnicas sellada, planos actualizados y los resultados de los controles de recepción y ejecución del forjado realizado.

### *Artículo 4º. Exigencias administrativas.*

Hace referencia a las Autorizaciones de Uso del fabricante.

## CAPITULO II. BASES DE CÁLCULO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

### *Artículo 5º. Requisitos esenciales y bases de cálculo.*

Indica las acciones a considerar en el proyecto y su vida útil y los requisitos esenciales de resistencia mecánica, estabilidad y protección frente el ruido, condicionantes térmicos, incendio y medio ambiente.

#### 5.1. Criterios de seguridad y situaciones de proyecto.

Introduce las situaciones accidentales, además de las permanentes y transitorias.

#### 5.2. El método de los Estados Límite.

Remite al apartado 8.1. de la Instrucción EHE.

#### 5.3. Bases de cálculo orientadas a la durabilidad de los forjados.

5.3.1. Clases generales de exposición ambiental en relación con la corrosión de armaduras. (Art. 8.2.2. EHE)

5.3.2. Clases especiales de exposición en relación con otros procesos de degradación distinto de la corrosión. (Art. 8.2.3 EHE)

Indica que antes de realizarse el proyecto debe de identificarse el tipo de ambiente que defina la agresividad. Introduciendo las bases de cálculo orientadas a la durabilidad de los forjados, de acuerdo con el grado de exposición. Remite al apartado 8.2. EHE y sus tablas.

### *Artículo 6º. Acciones.*

Las acciones de cálculo serán las que establece el Art. 12 EHE, y la combinaciones las del Art. 13 EHE. Establece coeficientes parciales de seguridad de las acciones, para aquellos forjados prefabricados que posean un distintivo oficialmente reconocido. Para que se pueda aplicar exige además un determinado control en la ejecución de la obra.

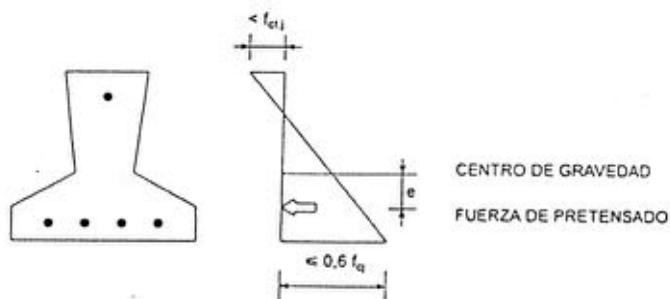
### *Artículo 7º. Análisis estructural.*

Para el análisis de los Estados Límite Ultimo puede utilizarse el cálculo lineal con una redistribución de los momentos flectores de hasta un 15% del máximo momento negativo, tal y como lo recoge el Art. 21.4 EHE. Es posible considerar como leyes envolventes de momentos flectores las que resulten de igualar, en valor absoluto, los momentos de apoyo y en el vano ( $q_{12}/11,67$ , en vanos extremos y  $q_{12}/16$ , en vanos interiores). No necesitando este método, el planteamiento de alternancias de sobrecargas, excepto cuando en un extremo existe un voladizo cuyo momento sea mayor que el del vano adyacente. En la EF-96, se incluía, con mayor detalle, en sus comentarios.

En los apoyos sin continuidad se considerará un momento flector negativo no menor que  $\frac{1}{4}$  del momento flector positivo del tramo continuo.

### Artículo 8. Fuerzas de pretensado y pérdidas de fuerza.

Establece, al fabricante, las condiciones de la fuerza del pretensado, después de la trasferencia, de manera que las viguetas y losas alveolares pretensadas no presentarán tracciones mayores que la resistencia a tracción del hormigón ( $f_{ct,j}$ ), ni compresiones mayores que el 60% de la resistencia a compresión del hormigón ( $f_{cj}$ ), a la edad ( $j$ ) a la que se realiza la transferencia de fuerza del pretensado. Queda representado en la figura 8.



## CAPITULO III. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES.

### Artículo 9º. Generalidades.

Los materiales de los forjados deberán cumplir además de lo dispuesto específicamente en la EFHE, lo que establezca la EHE.

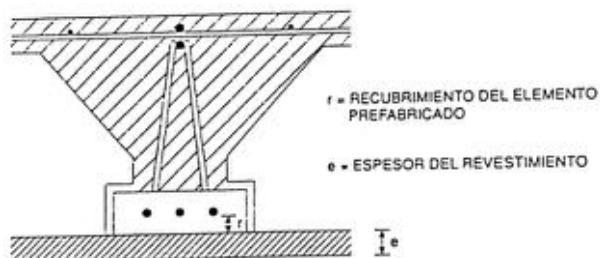
### Artículo 10º. Viguetas y losas alveolares pretensadas.

#### 10.1. Armaduras pasivas.

Sus características serán las establecidas en el Artículo 31 EHE. Establece que la distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, será igual o mayor que: 15 mm; el diámetro mayor; 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

Para un grupo de barras remite al Artículo 66.4.2 EHE.

Define lo que entiende por recubrimiento y separación de barras (Fig. 10.1).

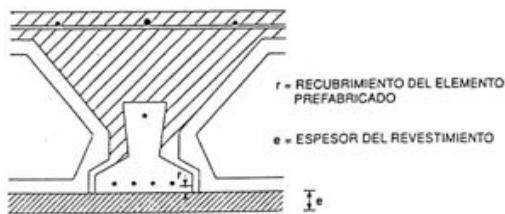


#### 10.2. Armaduras activas.

Sus características serán las establecidas en el Artículo 32 EHE.

Establece que la distancia libre, horizontal y vertical entre dos barras aisladas consecutivas, será igual o mayor que: 15 mm para la separación horizontal y 10 mm. para la vertical. El diámetro mayor 1,25 veces el tamaño máximo del árido para la separación horizontal y 0,8 veces para la separación vertical.

Establece cuantías geométricas de las armaduras y condiciones de recubrimiento (art. 13 EFHE, Fig. 10.2).



10.3 Hormigón de viguetas y losas alveolares pretensadas.

Condiciones del Artículo 30 EHE, tipificándose según apartado 39.2. EHE.

*Artículo 11º. Piezas de Entrevigado.*

11.1. Generalidades

Establece que la carga a de rotura a flexión para cualquier pieza de entrevigado debe de ser mayor de 1,0 kN. Para las piezas de entrevigado cerámicas se les impone condiciones relativas al valor medio de la expansividad por humedad.

11.2. Piezas aligerantes.

No se consideran como parte de la sección resistente del forjado.

11.3. Piezas colaborantes.

Se consideran como parte de la sección resistente del forjado. Cumplirán las condiciones del artículo 14º EFHE.

*Artículo 12º. Hormigón vertido en obra.*

Cumplirá las condiciones específicas del Artículo 30º EHE. Se tipificará de acuerdo con el Artículo 39.2 EHE: T-R/C/TM/A. La resistencia característica específica R a compresión, será como mínimo 25 N/mm<sup>2</sup>.

*Artículo 13º. Durabilidad.*

13.1. Generalidades.

Indica que la durabilidad de un forjado se debe de conseguir mediante una estrategia en la que se consideren todos los posibles factores de degradación. Se remite al Capítulo VII de la EHE.

13.2. Estrategia de la durabilidad.

Remite al Artículo 37 EHE.

### 13.3. Recubrimientos.

Establece los recubrimientos mínimos de las armaduras activas y pasivas. Remitiéndonos al Artículo 37.2.4 EHE y la tabla de recubrimientos mínimos en función de la clase de exposición. Diferencia los recubrimientos en función de los distintos oficiales reconocidos.

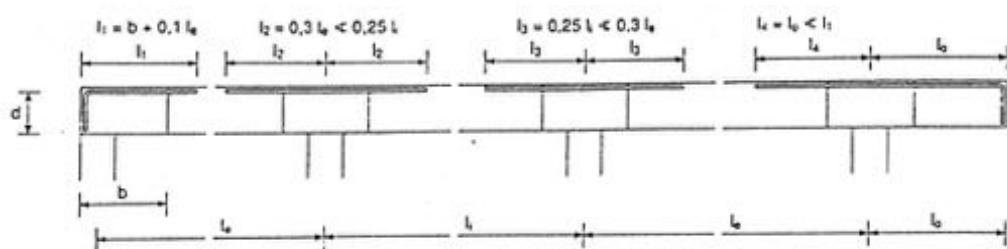
## CAPITULO IV. CALCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LIMITES

### Artículo 14º. Estados Límite Últimos.

Establece que en el cálculo de los forjados de entrevigado colaborantes, puede considerarse que forman parte de la sección resistente los tabiquillos de las piezas de entrevigado adheridos al hormigón. No se consideran las zonas de hormigón vertido en obra en las que éste tenga dificultad de acceso, en anchos menores de 20 mm. (Fig. 14.2.1b)

#### 14.1. Estado Límite de Agotamiento frente a solicitudes normales.

Las secciones sometidas a solicitudes normales, momentos positivos o negativos, se calcularán según Artículo 42º EHE. Cuando la sobrecarga de uso no sea mayor que un tercio de la carga total ni que  $3 \text{ kN/m}^2$  la longitud de las armaduras superiores sobre apoyos puede tomarse de forma simplificada de acuerdo con la figura:



#### 14.2. Estado Límite de Agotamiento frente a cortante.

Tanto en los forjados de viguetas como en los de losas alveolares pretensadas, se ajusta la formulación de la comprobación del agotamiento frente a cortante. Según los apartados 44.2.3.2.1 y 44.2.3.2.2. de la Instrucción EHE. Estableciendo diversas fórmulas para casos particulares.

#### 14.3. Estado Límite de Agotamiento por Esfuerzo Rasante.

Se cambia la comprobación a efecto rasante de la EF-96, ajustándola al Artículo 47.2 EHF, definiendo el concepto de perímetro crítico de contacto entre hormigones. (Fig. 14.3)

#### 14.4. Estado Límite de Punzonamiento en forjados.

Establece que los forjados sometidos a cargas concentradas importantes deberán disponer de losa superior hormigonada en obra. Indica la cuantía de la carga puntual (en función del cortante resistido  $V_u$ ), en losas alveolares,

para las que no es necesario losa superior. Estudia el caso en que la carga afecte un borde libre del forjado de losas. (Fig. 14.4)

14.5. Estado Límite de Agotamiento por torsión en losas alveolares pretensadas.

Establece las fórmulas para determinar la capacidad a cortante  $Vu2n$ .

14.6. Casos especiales de carga y sustentación.

Establece en los forjados de losas alveolares pretensadas diversos casos especiales de carga.

14.6.1. Flexión transversal debida a cargas concentradas n losas alveolares pretensadas.

14.6.2. Capacidad de carga de losas alveolares pretensadas apoyadas en tres bordes.

#### *Artículo 15º. Estados Límites de Servicio.*

15.1. Estado Límite de Fisuración.

Cambia y se ajusta al Artículo 49º de la EHE.

15.1.1. Fisuración por compresión.

Artículo 49.2.1. de la EHE.

15.1.2. Fisuración por tracción.

Artículo 49.2.4. de la EHE.

15.2. Estado Límite de Deformación.

El Estado Límite de Deformación se satisface si los movimientos, flechas o giros, en la estructura o elemento estructural son menores que unos valores límites máximos. Cuando el forjado verifique los cantos mínimos y luces del apartado 15.2.2., cumplirá este Estado Límite. El Artículo 50º de la EHE, establece las consideraciones y los procedimientos para las comprobaciones de éste Estado Límite.

15.2.1. Límites de flecha.

Establece unos límites de flecha activa más exigentes, para los forjados que sustentan tabiques o muros, no podrá exceder de:  $L/500$  y  $L/1.000 + 0,5$  cm.

La flecha total a tiempo infinito no excederá al menor de los valores:  $L/250$  y  $L/500 + 1$  cm.

15.2.2. Canto del Forjado.

Establece una fórmula para determinar el canto del forjado de manera que no sea necesario comprobar la flecha, aportando una tabla de coeficientes "C", en función del tipo de forjado y tipo de carga. En ella los tabiques se asimilan a los muros adoptando los mayores valores de éstos.

### 15.2.3. Calculo de Flechas.

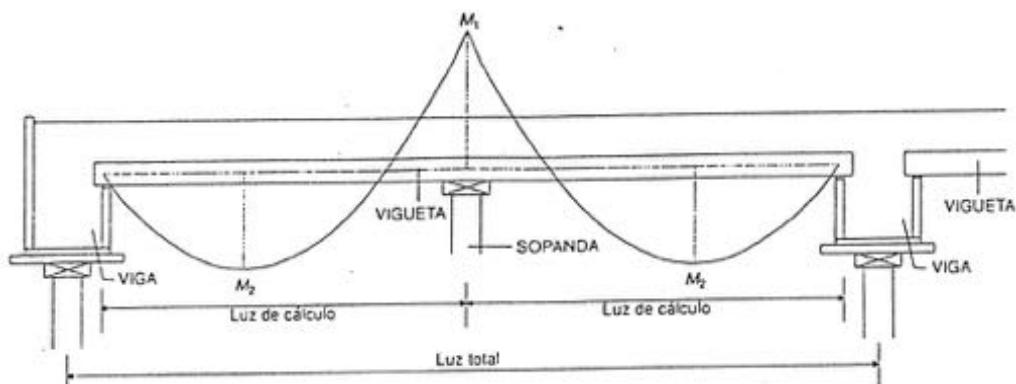
El cálculo de flecha por el método de Bransón, que en la EF-96, se mencionaba en los comentarios se aplica con ligeras modificaciones en el articulado. Se establecen dos métodos: el General (Art. 15.2.3.1) que remite al apartado 50.2.1. de la EHE y uno simplificado recogido en el Art. 15.2.3.2. de la EFHE.

#### *Artículo 16º. Comprobaciones previas al hormigonado en obra.*

Establece las condiciones del Estado límite de Servicio, bajo la acción característica de peso propio del forjado, la flecha de todo tramo de viga o losa alveolar.

### 16.1. Condiciones de apuntalamiento y sopandado.

Establece las solicitudes del forjado durante el hormigonado, su peso propio + una sobrecarga de ejecución no menor de  $1 \text{ kN/m}^2$ , y su forma de calcularlo (Fig. 16.1)



### 16.2. Comprobaciones de viguetas y losas alveolares pretensadas.

Establece, bajo la acción característica del peso propio del forjado, la flecha para todo tramo de viga o losa:

$w$  menor o igual a  $L/1.000$  (En viguetas será inferior a 3 mm.)

Reduce la máxima tensión de compresión ( $f_{ck}$ ) de  $0,625 \text{ N/mm}^2$  a  $0,6 \text{ N/mm}^2$ .

## CAPITULO V. CONDICIONES GENERALES Y DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS FORJADOS.

### Artículo 17º. Condiciones geométricas.

Aumenta el espesor mínimo de la losa superior hormigonada en obra, en forjados de viguetas, pasa de 30 a 40 mm. En zonas sísmicas con aceleración de cálculo mayor de 0,16 g, el espesor mínimo será de 50 mm. En los forjados de entrevigado distinto al cerámico o de hormigón (poliestireno) se obliga a que el canto de la losa superior sea de al menos 50 mm. Establecen nuevas condiciones para la sección transversal de las juntas entre losas alveolares pretensadas.

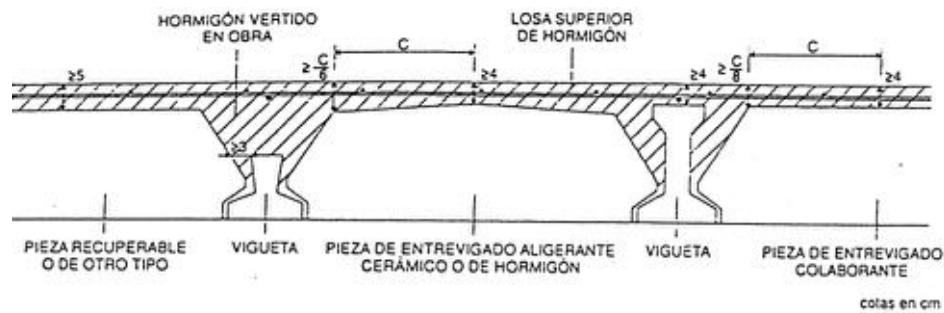
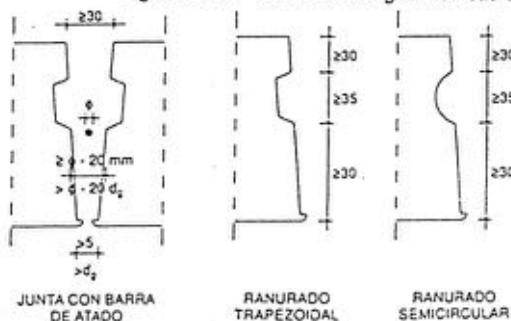


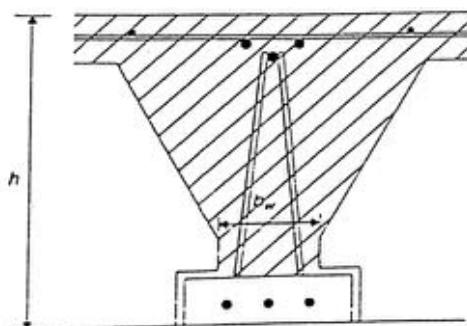
Figura 17.a. Condiciones geométricas de los forjados



La Fig. 17.a y 17.b, muestran las condiciones geométricas de los forjados de viguetas y condiciones de juntas longitudinales de losas.

### Artículo 18º. Armado longitudinal

Se imponen nuevas condiciones y cuantía mínima de los valores de armado longitudinal, de manera que cubran los efectos térmicos y de retracción considerados en el apartado 42.3.5, de la EHE. Todas las viguetas deberán tener, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto del plano medio vertical. La fig. 18, indica un detalle del nervio.



*Artículo 19º. Armado transversal.*

Establece las condiciones en que es necesario la armadura transversal en un forjado.

*Artículo 20º. Armadura de reparto.*

Mantiene los valores de la armadura de reparto. De acuerdo con la EHE, el diámetro mínimo de la armadura de reparto, para ser tenido en cuenta en la comprobación de los Estados Límite Últimos, deberá ser de 5 mm. En el caso de losas alveolares pretensadas sin losa superior hormigonada en obra se dispondrá de un atado en la zona de unión a las vigas principales y muros.

*Artículo 21º. Enlaces y apoyos.**Artículo 21.1. Generalidades.*

La EFHE, cambia las condiciones de apoyo de los forjados y se amplían, especialmente en lo referente a las losas alveolares. Los nervios de un forjado deben enlazarse a la cadena de atado de un muro o de una jácena por medio de apoyos y enlaces.

*Artículo 21.2. Apoyo de forjados de viguetas.*

Establece las condiciones de apoyos directo e indirecto para forjados de viguetas. Indicando los tipos de enlaces: Por entrega de la viga; por introducción de la armadura saliente y por solapo con armadura auxiliar. Apoya las definiciones en las figuras 21.2.

*Artículo 21.3. Apoyo de forjado de losas alveolares pretensadas.*

Establece que el apoyo en vigas o muros, debe hacerse sobre una capa de mortero fresco de al menos 15 mm. de espesor, o sobre bandas de material elastométrico, situado sobre cada nervio de la losa. Estableciendo en dos apartados los apoyos directos e indirectos.

*Artículo 21.3.1. Apoyos directos.*

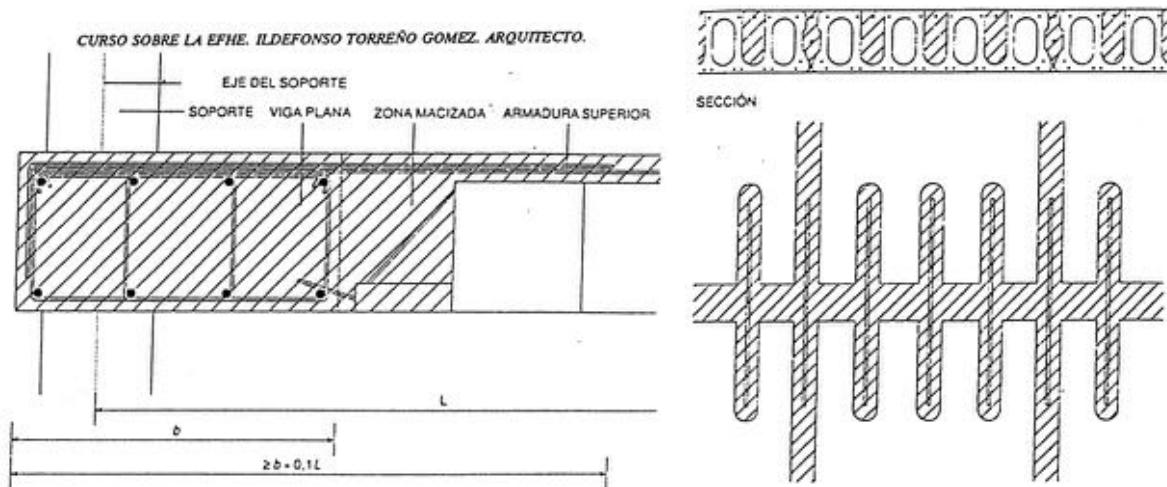
Los define en base a la figura 21.3.1., estableciendo las condiciones de apoyo.

*Artículo 21.3.2. Apoyos indirectos.*

Los define en base a la figura 21.3.23, estableciendo las condiciones y comprobación de los apoyos, que pueden hacerse con o sin apuntalamiento de la losa pretensada.

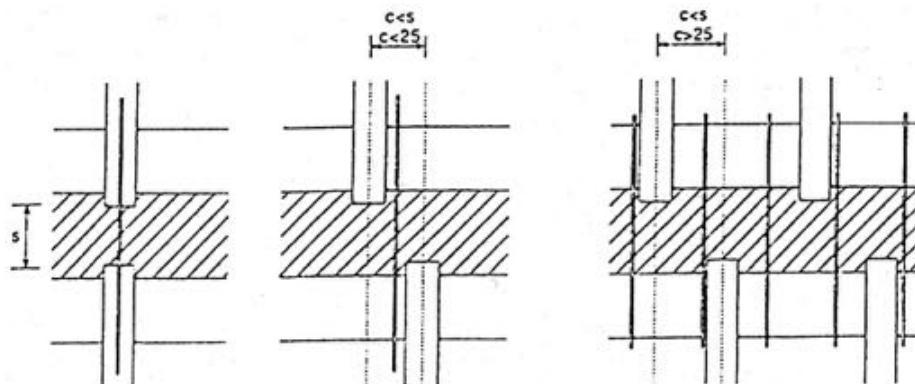
### Artículo 22º. Armado superior.

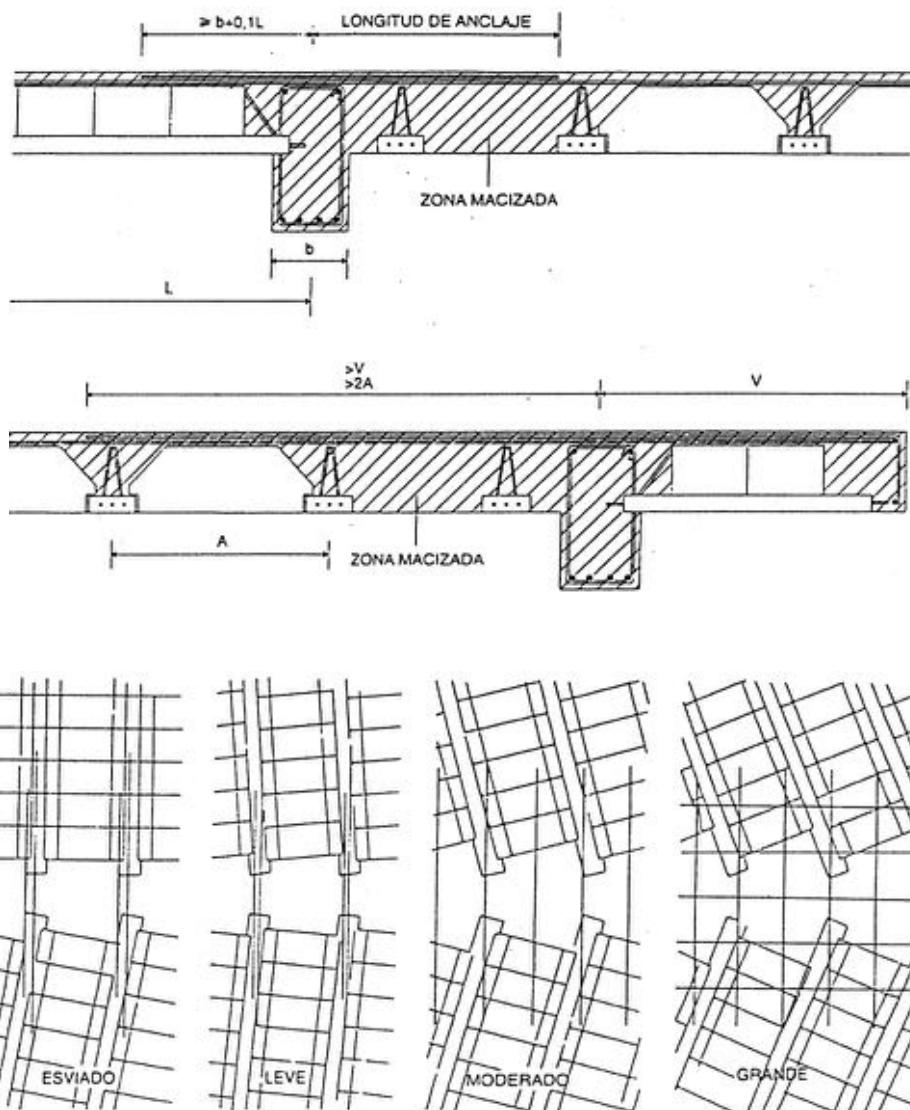
Hace referencia a la armadura de negativos. En los apoyos exteriores de vano extremo se debe de disponer de una armadura capaz de resistir un momento flector de al menos  $\frac{1}{4}$  del momento máximo del vano. La armadura se deberá de prolongar en una longitud no menor de  $1/10$  de la luz del vano + el ancho del apoyo. Se dispondrá en patilla con la longitud de anclaje necesaria. (Fig. 22.a)  
 Establece además las armaduras superiores en losas alveolares sin capa de compresión. Figura 22.b.



### Artículo 23º. Enfrentamiento de nervios.

Contempla el caso de la desviación del enfrentamiento de forjados continuos y cuando las viguetas acometan oblicuamente al apoyo. Fig. 23.a, 23.b y 23.c.





## CAPITULO VI. EJECUCIÓN.

*Artículo 24º. Transporte, descarga y manipulación.*

*Artículo 25º. Acopio en obra.*

*Artículo 26º. Apuntalamiento.*

Amplia de 3 a 4 metros la altura de los puntales para que sea necesario realizar un estudio detallado que se deberá de aportar en el proyecto. Lo mismo sucede cuando el peso propio de los forjados sea mayor de  $3 \text{ kN/m}^2$ .

*Artículo 27º. Colocación de las viguetas y piezas de entrevigado.*

*Artículo 28º. Colocación de armaduras.*

Establece que la armadura de reparto se colocará preferentemente bajo la armadura de reparto, aunque puede colocarse por encima de elle en determinadas

condiciones. La EF-96 estipulaba que se debía de colocar la armadura de negativos preferentemente por encima.

La calidad de los separadores y la distancia mínima entre ellos serán conformes a los artículos de la EHE: 37.2.5. que indica la calidad y del artículo 66.2., que indica la disposición de los separadores (tabla 66.2.).

*Artículo 29º. Hormigonado en obra.*

*Artículo 30º. Curado del hormigón.*

Debe de realizarse de acuerdo con lo establecido en el artículo 74 de la EHE. (Ver tablas)

*Artículo 31º. Desapuntalamiento.*

Los plazos serán los que establece el artículo 75º de la Instrucción EHE. Se pueden modificar y deberán ser justificados.

Artículo 32º. Realización de tabiques divisorios rígidos.

Indica que se deben de adoptar soluciones constructivas que minimicen el riesgo de daños en los tabiques y la transmisión de cargas de los pisos superiores a su través.

## **CAPITULO VII. CONTROL**

*Artículo 33º. Bases generales de control de calidad.*

*Artículo 34º. Control de recepción de elementos resistentes y piezas de entrevigado.*

Artículo 34.1. Generalidades.

Establece la responsabilidad de la Dirección Facultativa de asegurar la realización del control de recepción. Podrá ser a nivel intenso y a nivel normal, e incluirá un control documental y un control de recubrimientos de cada suministro, conforme a lo dispuesto en los dos apartados siguientes:

Artículo 34.2. Control documental.

Autorizaciones de uso, marcas de viguetas, certificados en general.

Artículo 34.3. Control de los recubrimientos de los elementos resistentes prefabricados.

Se debe de realizar antes de la colocación de los elementos resistentes. En las armaduras activas se realizará visualmente, en las activas repicando, en el elemento que compone la muestra, en tres secciones, una de ellas la central, excepto si existe certificado oficial. La tabla 34.1 establece la forma de elegir el tamaño del lote.

Cuando se seleccionan dos elementos del lote, el control se denomina intenso. (Artículo 34.3.1.). Cuando se selecciona un único elemento del lote el control se dice que es normal. (Artículo 34.3.2.)

El Artículo 34.3.3., establece una fórmula de valoración de los recubrimientos, en función de la desviación entre el recubrimiento mínimo que marca la norma, para cada tipo y forma de fabricar la vigueta (Art. 13.3) y el valor mínimo real de cada vigueta.

**Artículo 34.4. Criterios de aceptación y rechazo.**

Se realiza en función del cumplimiento del artículo 34.3.3.

*Artículo 35º. Control del hormigón y armaduras colocadas en obra.*

El control del hormigón y armaduras colocadas en obra se realiza de acuerdo con la EHE. Cuando el resto de la estructura sea de hormigón, armado o pretensado, el nivel de control del forjado será el mismo que para el resto de la estructura. Se desaconseja el empleo de hormigones que no provengan de central (Si ocurre verificará Art. 69.3 EHE).

*Artículo 36º. Control de la ejecución.*

Se realizará de acuerdo con lo especificado por el artículo 95º de la Instrucción EHE. Ampliando y relacionando algunos aspectos que se deben de comprobar.

#### **ANEJO 1. Normas UNE referenciadas.**

Se amplía la relación de las normas UNE referenciadas.

#### **ANEJO 2. Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de viguetas.**

Realiza algunas variaciones respecto de ls EF-96 establece unos coeficientes de reparto de cargas puntuales o lineales, en forjados de viguetas. Establece las condiciones del armado de refuerzo.

#### **ANEJO 3. Reparto transversal de cargas lineales y puntuales en forjados de losas alveolares pretensadas.**

De nueva redacción. Establece dos métodos de cálculo, con distribución de la carga según la teoría de la elasticidad y sin distribución de carga. Es bastante amplio y aporta diversos gráficos de distribuciones de carga.

#### **ANEJO 4. Coacciones no deseadas en losas alveolares pretensadas. Armadura mínima en apoyos simples.**

No existía en la EF-96. Establece el procedimiento para calcular los momentos negativos debidos a las coacciones no deseadas por deformación impedita.

#### **ANEJO 5. Ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados de viguetas sin armadura transversal.**

Nuevo. El artículo 14.2.1. establece que para los forjados de viguetas sin armadura, suministradas con un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física, deberán de aportar el justificante de que las piezas suministradas han realizado satisfactoriamente el ensayo a esfuerzo cortante definido en el presente anexo. Si lo verifica se podrá aplicar la fórmula que determina el esfuerzo de agotamiento por tracción en el alma ( $Vu^2$ ) :  $Vu^2 = 0,32 bo fcd$ .

Bo = Ancho mínimo del nervio

Fcd = Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

#### **ANEJO 6. Ensayos de resistencia a esfuerzo rasante en forjados sin armadura de cosido.**

Nuevo. Se aplica a los forjados que no tengan armadura de cosido y presentan una imbricación eficaz entre el hormigón de la viga y el hormigón "in situ". (Ejemplo: las viguetas pretensadas con alma de cola de milano). Define la forma de realizar el ensayo. Si es positivo el ensayo se pueden admitir valores de esfuerzo rasante hasta un 20% por encima de los que establece el artículo 47.2 de la Instrucción EHE.

## 2. GENERALIDADES Y AUTORIZACIONES DE USO

### CAMPO DE APLICACIÓN DE LA INSTRUCCIÓN EFHE

Forjados unidireccionales constituidos por elementos superficiales planos con nervios sometidos a flexión esencialmente en una dirección, que cumplan las condiciones siguientes:

En forjados de viguetas con:

- Canto total  $\leq$  50 cm.
- Luz de cada tramo  $\leq$  10 m.
- Separación entre nervios  $\leq$  100 cm.

En forjados de losas alveolares pretensadas con:

- Canto de la losa prefabricada  $\leq$  50 cm.
- Luz de cada tramo  $\leq$  20 m.
- Anchura de elementos resistentes
  - a)  $\leq$  140 cm. (Losas sin armadura de reparto)
  - b)  $\leq$  250 cm. (Losas con armadura de reparto)

NOTA:

Para los forjados de viguetas y losas ejecutados en obra, o constituidos por elementos prefabricados diferentes de los anteriores, no es de aplicación la instrucción EFHE, debiendo adoptarse la instrucción EHE.

### NO CONTEMPLA LA INSTRUCCIÓN EFHE:

\* Los forjados anteriormente definidos cuando estén sometidos a cargas estáticas uniformes y puntuales, cargas dinámicas que excedan de las indicadas en la normativa vigente sobre acciones en la edificación.

Será preceptivo realizar estudios complementarios según la instrucción EHE.

\* Los forjados fundidos "in situ" (viguetas o losas). EHE.

\* Los forjados constituidos por otros elementos prefabricados diferentes a viguetas armadas o pretensadas, losas alveolares pretensadas, tales como paneles PI, losas pretensadas, etc.

El Autor del proyecto y la Dirección Facultativa, están obligados a conocer y aplicar las prescripciones de la instrucción EFHE.

Bajo su responsabilidad pueden emplear sistemas de cálculo o soluciones alternativas diferentes siempre que se justifiquen documentalmente su validez y seguridad.

En el ámbito de esta instrucción solo podrán utilizarse productos de construcción legalmente comercializados en países que sean miembros de la unión europea o bien que sean parte en el acuerdo sobre el espacio económico europeo.

Exige que los productos y elementos prefabricados que se suministren a las obras deberán acompañarse de la documentación que se establece en la instrucción y que deberá ser modificada a medida que sea operativa la obligatoriedad del marcado para los productos y elementos mencionados.

## **ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN FORJADO DE VIGUETAS**

- Viguetas prefabricadas de hormigón u hormigón y cerámica
  - Armadas
  - Pretensadas
- Piezas de entrevigado
  - De aligeramiento
  - Colaborantes en la resistencia
- Armaduras de obra
  - Longitudinales
  - Transversales
  - De reparto
- Hormigón vertido en obra para:
  - Relleno de nervios
  - Formación de la losa superior del forjado

## **ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN FORJADO DE LOSAS ALVEOLARES PRETENSADAS**

- Losas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado
- En su caso, armadura colocada en obra (\*)
- Hormigón vertido en obra para:
  - Relleno de juntas laterales entre losas
  - Formación de la losa superior

### **NOTA:**

Excepto cuando existan acciones laterales importantes, puede prescindirse de la losa superior si se justifica adecuadamente el cumplimiento de los estados últimos y de servicio.

## **DOCUMENTOS DE PROYECTO Y EJECUCIÓN**

Los proyectos deberán de estar definidos de tal forma que otro facultativo competente distinto del autor de aquellos, los pueda interpretar y pueda dirigir la obra con arreglo a los mismos.

## **DOCUMENTACIÓN DEL FORJADO PARA SU EJECUCIÓN.**

Con independencia del contenido del proyecto de ejecución, antes de la ejecución de la obra deberá disponerse, al menos, la información siguiente.

En la memoria:

- a) Las acciones consideradas en el cálculo, especificando al menos las sobrecargas previstas del forjado y la carga total.
- b) Los coeficientes parciales de seguridad adoptados y los niveles de control establecidos.
- c) Las características del hormigón vertido en obra y de las armaduras de acero.
- d) Las solicitudes más desfavorables en cada tipo de nervio del forjado.
- e) La indicación expresa, en su caso, de aquellos elementos componentes de un sistema de forjado que estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, y
- f) En su caso, la necesidad de exigencia de los certificados de garantía de la capacidad a cortante o a rasante del forjado, firmados por persona física, y a los que se hace referencia en 14.2.1. y 14.3., respectivamente. En el caso de elementos resistentes prefabricados en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, los certificados de garantía a los que hace referencia este punto, podrán sustituirse por acreditación escrita en vigor de estar en posesión del citado distintivo.

En los planos:

- g) Los planos de ejecución del forjado, firmados, o en su caso conformados, por la Dirección Facultativa. Si los planos del forjado son realizados por el Proyectista o por la Dirección Facultativa, como proyectista, llevarán la firma correspondiente. Si el autor del proyecto, no fuera ninguno de los anteriores (consultor, prefabricador, etc.) los planos llevarán la firma de la persona física que los haya realizado y ostentarán el conforme de la Dirección Facultativa.
- h) El canto total del forjado y el espesor de la losa superior hormigonada en obra
- i) Las dimensiones y situación de los huecos para el paso de instalaciones si tienen trascendencia estructural, indicando la forma de resolverlos.
- j) El tipo de elemento que debe colocarse en cada zona, indicando, si procede, el espesor de la losa superior hormigonada en obra. En el caso de forjados de viguetas se indicará, además, las separaciones entre elementos, la forma, las dimensiones y el material de la piezas de entrevigado.
- k) La longitud, la posición y los diámetros de las armaduras que deben colocarse en obra.
- l) Los apuntalados necesarios en cada crujía y, en su caso, la separación máxima entre sopandas, y
- m) Los detalles de los enlaces del forjado con la estructura principal y de las zonas macizadas.

## DOCUMENTOS DEL PROYECTO Y EJECUCIÓN

### *Documentación final de obra*

La documentación final de obra incluirá un apartado referente al forjado con la información siguiente:

- a) Copia de las fichas de características técnicas del forjado utilizado, en las que figure el sellado de la Autorización de Uso concedida.
- b) Planos actualizados de los forjados realmente ejecutados, en los que se reflejen las modificaciones introducidas durante la ejecución, si las hubiere.

- c) Si las piezas de entrevigado son cerámicas, resultados del ensayo de dilatación potencial emitido como máximo seis meses antes de la fecha de empleo, en un laboratorio acreditado.
- d) Si las piezas de entrevigado son de poliestireno, certificado de su comportamiento de reacción al fuego.
- e) Certificado acreditativo de estar en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, o en su defecto, justificación documental firmada por persona física del control interno de fabricación de los elementos resistentes del forjado, viguetas y/o losas, aportada por el fabricante y que contendrá como mínimo:
  - 1. Resultados del control interno del hormigón del último mes.
  - 2. Resultados del control interno del producto acabado (flexión y cortante) de los últimos seis meses.
- f) Resultados del control de recepción.
- g) Resultados del control de ejecución del forjado realizado, y

## **EXIGENCIAS ADMINISTRATIVAS Y AUTORIZACIONES DE USO**

El fabricante de elementos prefabricados con función resistente para forjados debe de poseer la autorización de uso para sus sistemas, concedida por la autoridad competente, de acuerdo con las disposiciones específicas sobre la materia, sobre un ficha de características técnicas, que contiene datos para el cálculo, la ejecución y el control del forjado. (Art. 4 EFHE).

\* Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas. Presidencia del Gobierno (Publicado B.O.E., 8 de agosto de 1980)

\* Como complemento al Real Decreto 1630/1980:  
Orden de 29 de noviembre de 1989 sobre los modelos de fichas técnicas a que se refiere el real decreto 1630/1980, de 18 de julio.

\* Resolución de la dirección general de la vivienda, arquitectura y urbanismo de 6 de noviembre de 2002 (B.O.E., de 2 de diciembre de 2002). Modifica el contenido de las fichas técnicas para la autorización de uso.

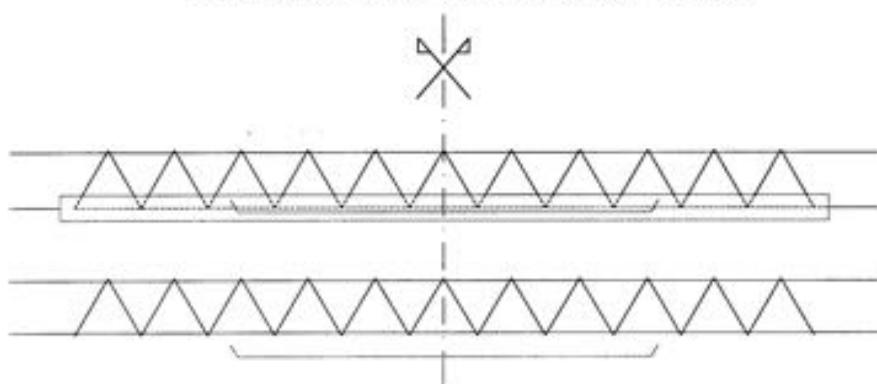
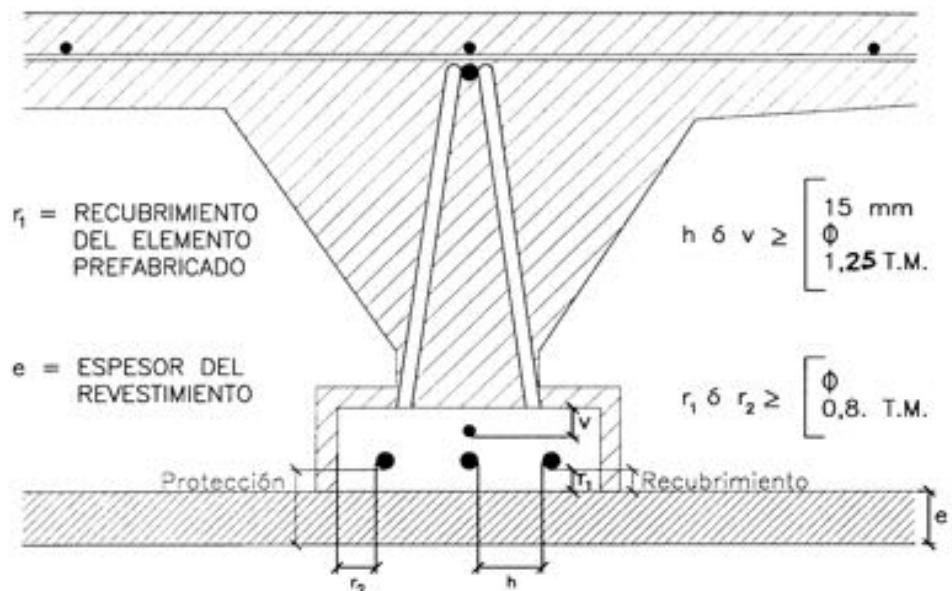
\* Aclaraciones de autorización de uso para los forjados unidireccionales prefabricados.

Fecha 23 de enero de 2003. Ministerio de fomento.

### 3. DETALLES CONSTRUCTIVOS

#### VIGUETAS Y LOSAS ALVEOLARES PRETENSADAS:

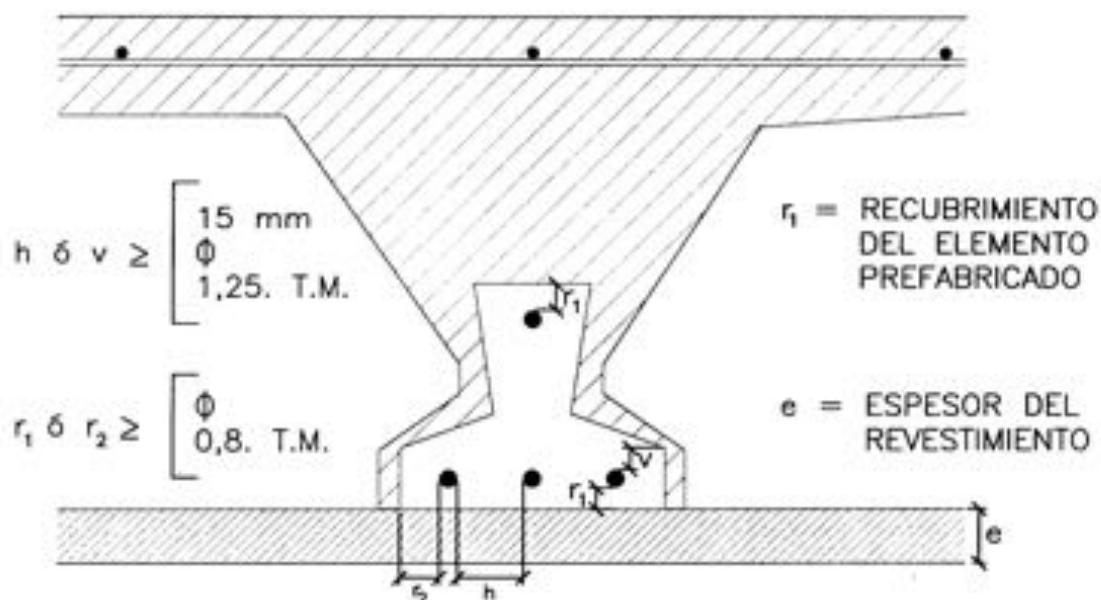
##### ARMADURAS PASIVAS



LA ARMADURA LONGITUDINAL INFERIOR SE COMPONDRA AL MENOS DE DOS BARRAS

LA ARMADURA BÁSICA SE DISPONDRÁ EN TODA SU LONGITUD

LA ARMADURA SECUNDARIA SE DISPONDRÁ DE FORMA SIMÉTRICA Y PODRÁ DISPONERSE SOLAMENTE EN PARTE DE SU LONGITUD



## RECUBRIMIENTO DE LAS ARMADURAS ACTIVAS

ALAMBRES (UNE 36094:97)

- Lisos
- Grafilados

BARRAS (UNE 36.401:81)

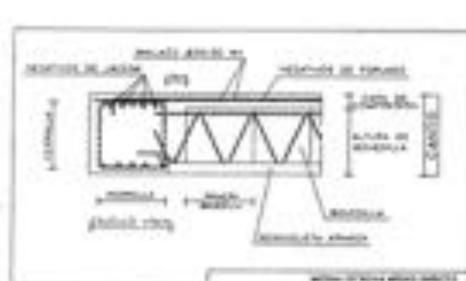
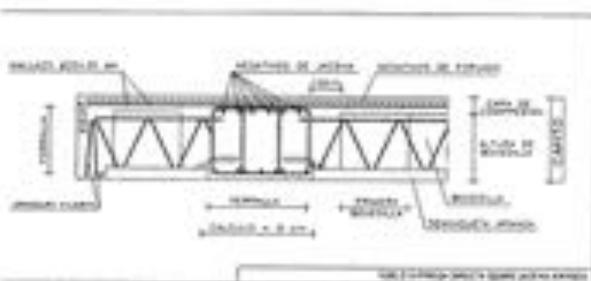
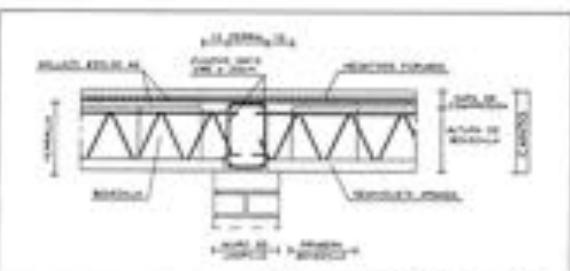
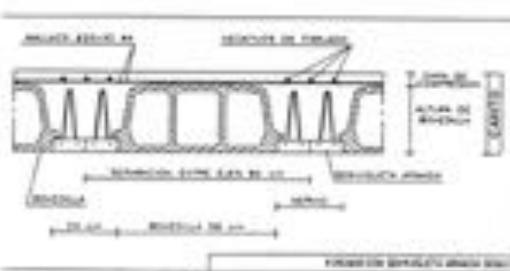
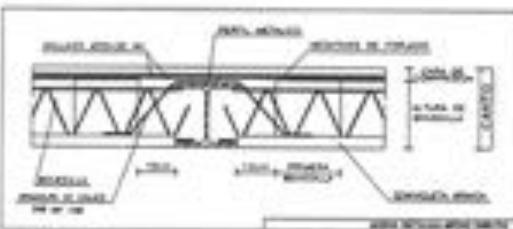
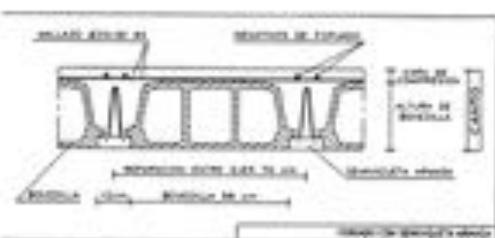
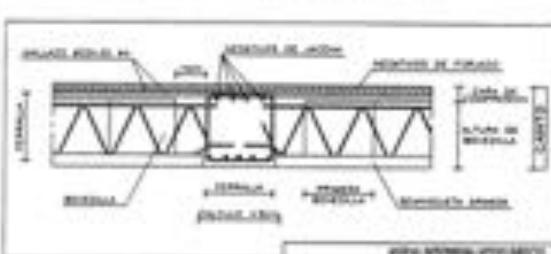
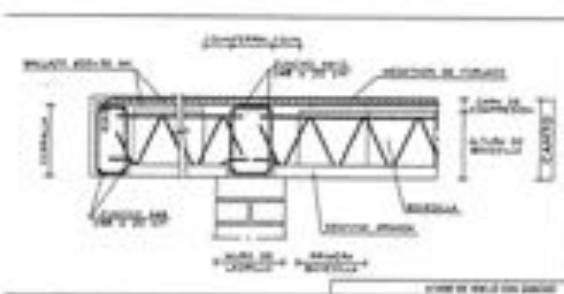
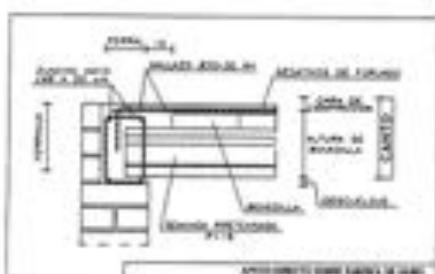
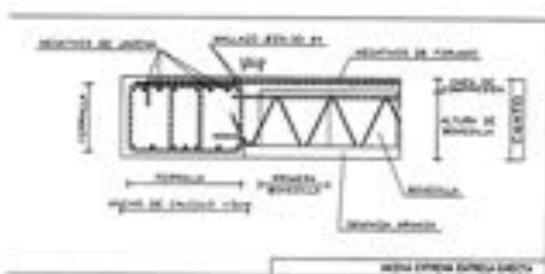
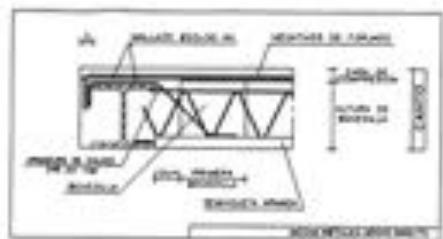
CORDONES (UNE 36.094:97)

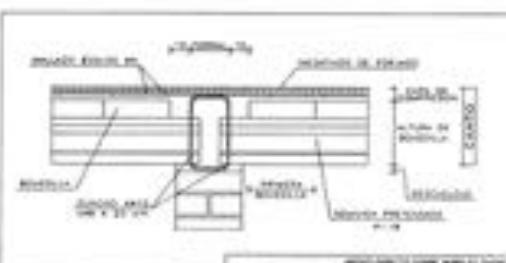
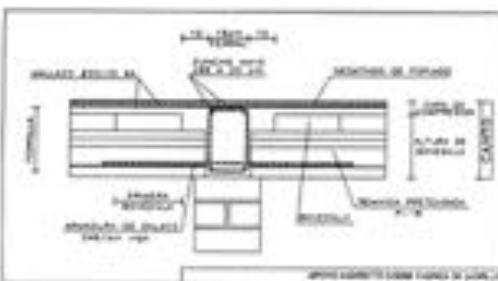
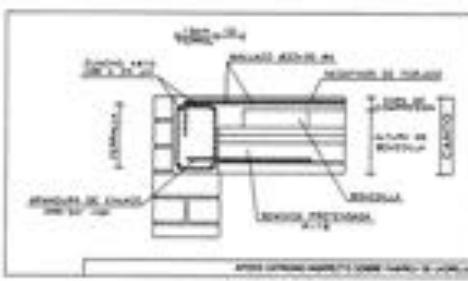
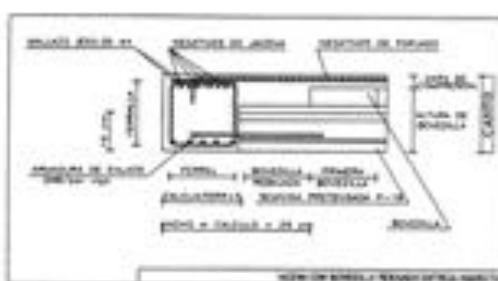
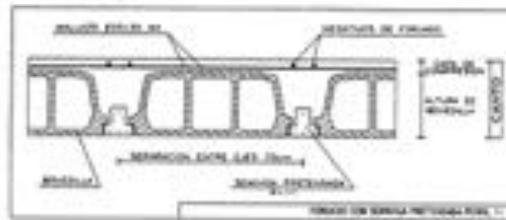
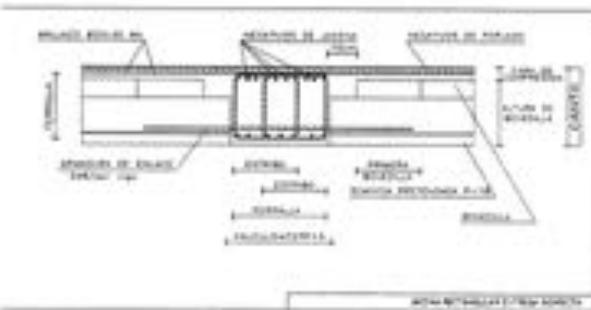
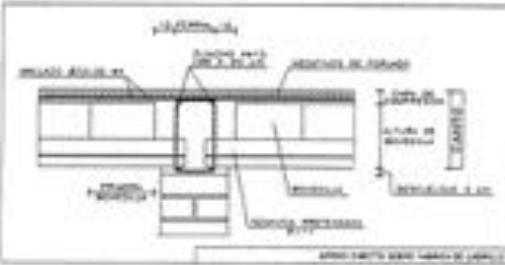
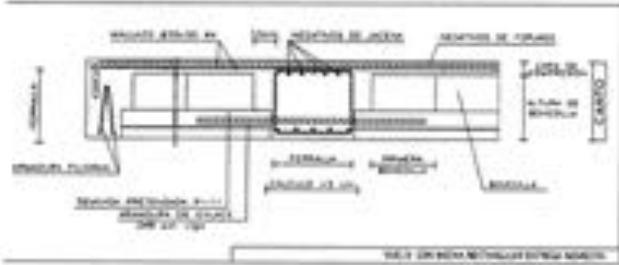
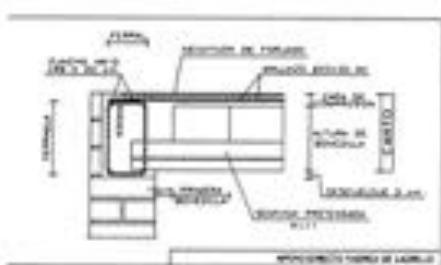
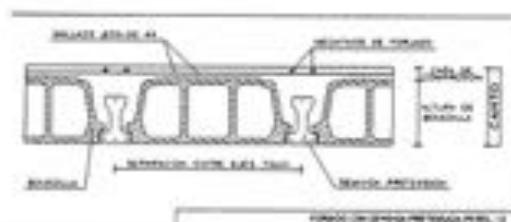
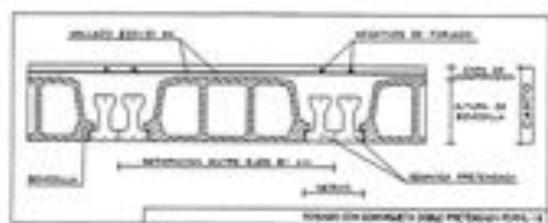
- Lisos
  - Grafilados
- (2, 3 o 7 alambres)

CARACTERÍSTICAS  
MECÁNICAS DE LAS  
ARMADURAS ACTIVAS

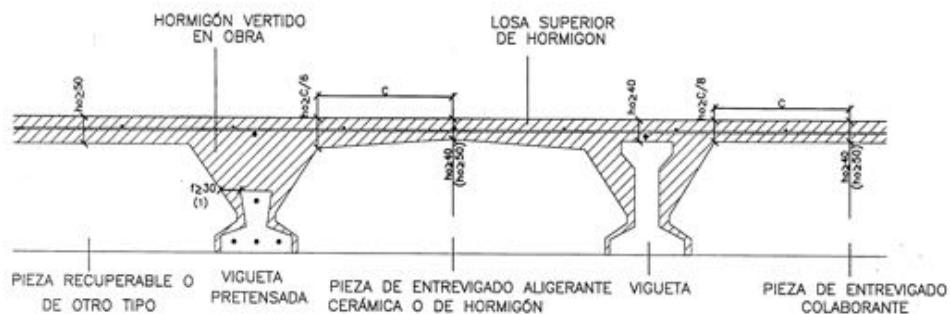
- a) Diagrama tensión-deformación (carga unitaria-alargamiento, en porcentaje).
- \* b) Carga unitaria máxima a tracción ( $r_{eu}$ ).
- \* c) Límite elástico.
- d) Alargamiento remanente concentrado de rotura ( $\epsilon_r$ ).
- \* e) Alargamiento bajo carga máxima ( $\epsilon_m$ ).
- \* f) Módulo de elasticidad ( $E_e$ ).
- g) Estricción ( $\eta$ ), expresada en porcentaje.
- \* h) Aptitud al doblado alternativo (sólo para alambres).
- \* i) Relajación.
- j) Resistencia a la fatiga.
- k) Susceptibilidad a la tracción desviada (sólo para cordones de diámetro nominal igual o superior a 13mm).

\* Garantizadas por el fabricante





## CONDICIONES GEOMÉTRICAS:



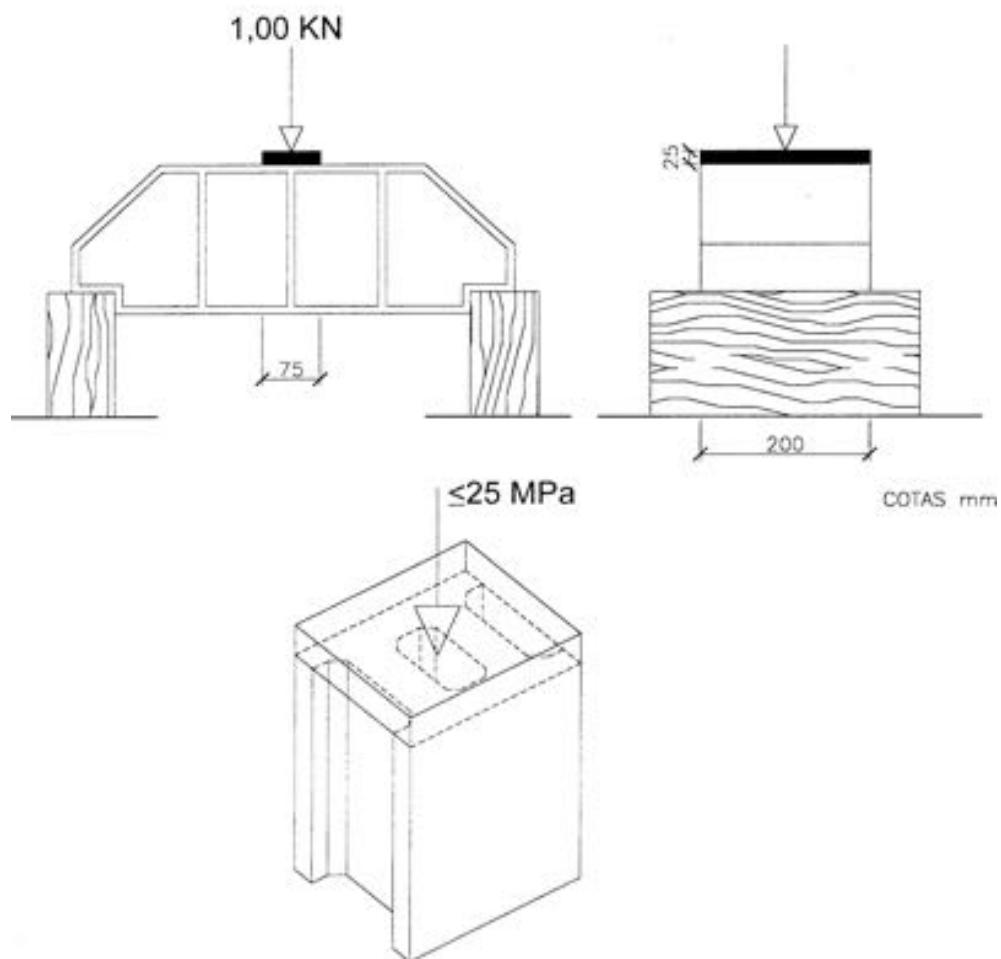
(1) SALVO SI EXISTEN ARMADURAS TRANSVERSALES DE CONEXIÓN

## PIEZAS DE ENTREVIGADO:

ALIGERANTES: NO FORMAN PARTE DE LA SECCIÓN RESISTENTE (CERÁMICA, HORMIGÓN, POLIESTIRENO)

RESISTENTES O COLABORANTES: FORMAN PARTE DE LA SECCIÓN RESISTENTE DEL FORJADO (HORMIGÓN O CERÁMICA). SU RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN ENSAYADA EN LA DIRECCIÓN INDICADA, NO SERÁ MENOR QUE LA RESISTENCIA DE PROYECTO DEL HORMIGÓN PUESTO EN OBRA (NO INFERIOR A 25 MPa).

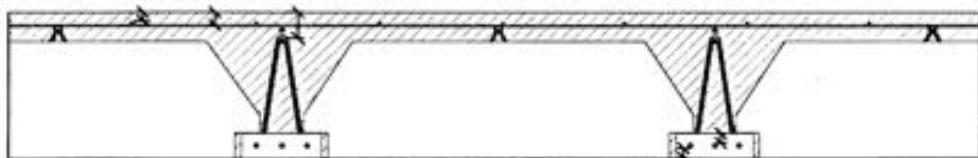
LA CARGA DE ROTURA A FLEXIÓN PARA CUALQUIER FUERZA DE ENTREVIGADO DEBE SER MAYOR QUE 1,00 KN (UNE 53981:98)



## PROPIEDADES DE LOS MATERIALES:

EL PERIODO DURANTE EL QUE EL HORMIGÓN DEL RECURBIMIENTO  
PROTEGE A LAS ARMADURAS ES FUNCIÓN DEL CUADRADO DEL  
ESPESOR DE RECURBIMIENTO

UNA DISMINUCIÓN DEL RECURBIMIENTO A LA MITAD (1/2) DE SU VALOR  
NOMINAL, SE TRADUCE EN UNA REDUCCIÓN DEL 25% DEL PERIODO  
DE PROTECCIÓN



- ARMADURA DE REPARTO: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO
- ARMADURA DE NEGATIVOS: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 10 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO (5 mm)
- ARMADURA PASIVA: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 5 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO O TIENEN UN DISTINTIVO OFICIALMENTE RECONOCIDO (0 mm).

NOTA: LOS RECURBIMIENTOS SE GARANTIZAN MEDIANTE LA DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS SEPARADORES DISPUESTOS EN OBRA, SEGÚN ART. 66.2 DE LA EHE Y ESTAN CONSTITUIDOS POR MATERIALES RESISTENTES A LA ALCALINIDAD DEL HORMIGÓN, Y NO INDUCIR CORROSIÓN A LAS ARMADURAS (ART. 37.2.5 DE LA EHE). SE PROHIBE EL EMPLEO DE MADERA, LADRILLO U HORMIGÓN RESIDUAL. EN HORMIGÓN VISTO SE PROHIBE EL EMPLEO DE ELEMENTOS METÁLICOS.

## ARTÍCULOS DE LA EFHE RELACIONADOS CON LA DURABILIDAD

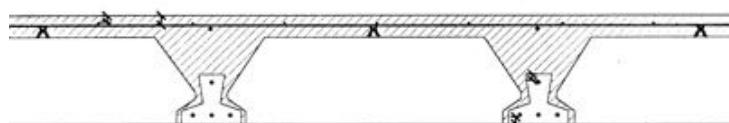
- ART.3. : DOCUMENTACIÓN DEL FORJADO.
- ART.5. : REQUISITO ESENCIAL: "SOPORTE SU VIDA DE SERVICIO".
- ART.5.1 : "GESTIÓN DE LA CALIDAD QUE ABARQUE LA CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA."
- ART.5.3 : BASES DE CÁLCULO ORIENTADAS A LA DURABILIDAD.
- ART.10.1, 10.2, 10.3, 11.1, 12 : CRITERIOS PARA LOS MATERIALES.
- ART.13 : DURABILIDAD.
- ART.28, 29, 30 : COLOCACIÓN DE ARMADURAS, HORMIGONADO Y CURADO.
- ART.34.2 Y 34.3 : CONTROL.

## NOVEDADES

- HORMIGÓN ARMADO:  $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$  (Art 12).
- EL TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO EN mm, SERÁ MENOR QUE 0,4 VECES EL ESPESOR MÍNIMO DE LA LOSA SUPERIOR HORMIGONADA EN OBRA Y NO PUEDE SUPERAR LOS 20mm.
- DESCRIPCIÓN DE AMBIENTES DE EXPOSICIÓN FRENTE A LOS AGENTES DE DETERIORO
- CONTROL INDIRECTO DE RELACIÓN a/c Y MÍNIMO CONTENIDO DE CEMENTO MEDIANTE EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD
- SELECCIÓN DE CEMENTOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AMBIENTE
- TOMA EN CONSIDERACIÓN DE PRECAUCIONES ADICIONALES FRENTE A LA AGRESIVIDAD AMBIENTAL.

EL PERÍODO DURANTE EL QUE EL HORMIGÓN DEL RECURBIMIENTO  
PROTEGE A LAS ARMADURAS ES FUNCIÓN DEL CUADRADO DEL  
ESPESOR DE RECURBIMIENTO

UNA DISMINUCIÓN DEL RECURBIMIENTO A LA MITAD (1/2) DE SU VALOR  
NOMINAL, SE TRADUCE EN UNA REDUCCIÓN DEL 25% DEL PERÍODO  
DE PROTECCIÓN

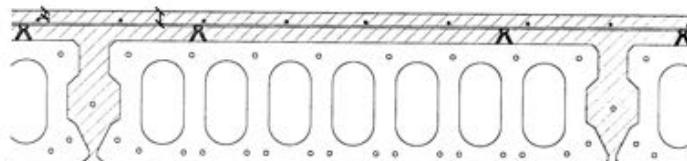


- ARMADURA DE REPARTO: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO
- ARMADURA DE NEGATIVOS: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 10 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO (5 mm)
- ARMADURA ACTIVA: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 5 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO O TIENEN UN DISTINTIVO OFICIALMENTE RECONOCIDO (0 mm).

NOTA: LOS RECURBIMIENTOS SE GARANTIZAN MEDIANTE LA DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS SEPARADORES DISPUESTOS EN OBRA, SEGÚN ART. 66.2 DE LA EHE Y ESTAN CONSTITUIDOS POR MATERIALES RESISTENTES A LA ALCALINIDAD DEL HORMIGÓN Y NO INDUCIR CORROSIÓN A LAS ARMADURAS (ART. 37.2.5 DE LA EHE). SE PROHIBE EL EMPLEO DE MADERA, LADRILLO U HORMIGÓN RESIDUAL. EN HORMIGÓN VISTO SE PROHIBE EL EMPLEO DE ELEMENTOS METÁLICOS.

EL PERÍODO DURANTE EL QUE EL HORMIGÓN DEL RECURBIMIENTO  
PROTEGE A LAS ARMADURAS ES FUNCIÓN DEL CUADRADO DEL  
ESPESOR DE RECURBIMIENTO

UNA DISMINUCIÓN DEL RECURBIMIENTO A LA MITAD (1/2) DE SU VALOR  
NOMINAL, SE TRADUCE EN UNA REDUCCIÓN DEL 25% DEL PERÍODO  
DE PROTECCIÓN



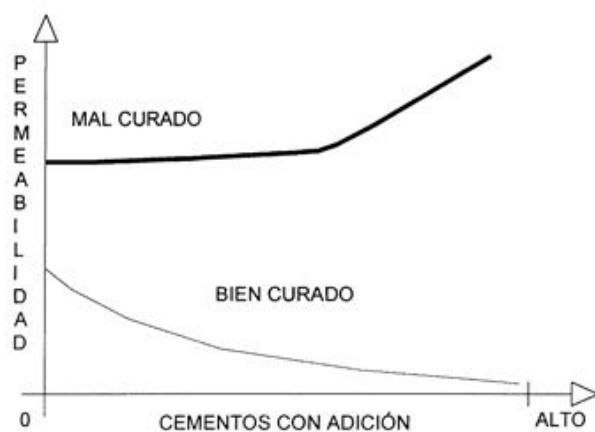
- ARMADURA DE REPARTO: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO
- ARMADURA DE NEGATIVOS: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 10 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO (5 mm)
- ARMADURA ACTIVA: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 5 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO O TIENEN UN DISTINTIVO OFICIALMENTE RECONOCIDO (0 mm).
- ARMADURA PASIVA: RECURBIMIENTO NOMINAL = REC. MÍNIMO + 10 mm SALVO SI ES CONTROL INTENSO (5 mm) O LAS PIEZAS TIENEN UN DISTINTIVO OFICIALMENTE RECONOCIDO (0 mm).

NOTA: LOS RECURBIMIENTOS SE GARANTIZAN MEDIANTE LA DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS SEPARADORES DISPUESTOS EN OBRA, SEGÚN ART. 66.2 DE LA EHE Y ESTAN CONSTITUIDOS POR MATERIALES RESISTENTES A LA ALCALINIDAD DEL HORMIGÓN, Y NO INDUCIR CORROSIÓN A LAS ARMADURAS (ART. 37.2.5 DE LA EHE). SE PROHIBE EL EMPLEO DE MADERA, LADRILLO U HORMIGÓN RESIDUAL. EN HORMIGÓN VISTO SE PROHIBE EL EMPLEO DE ELEMENTOS METÁLICOS.

#### REGLAS BÁSICAS DE LA DURABILIDAD

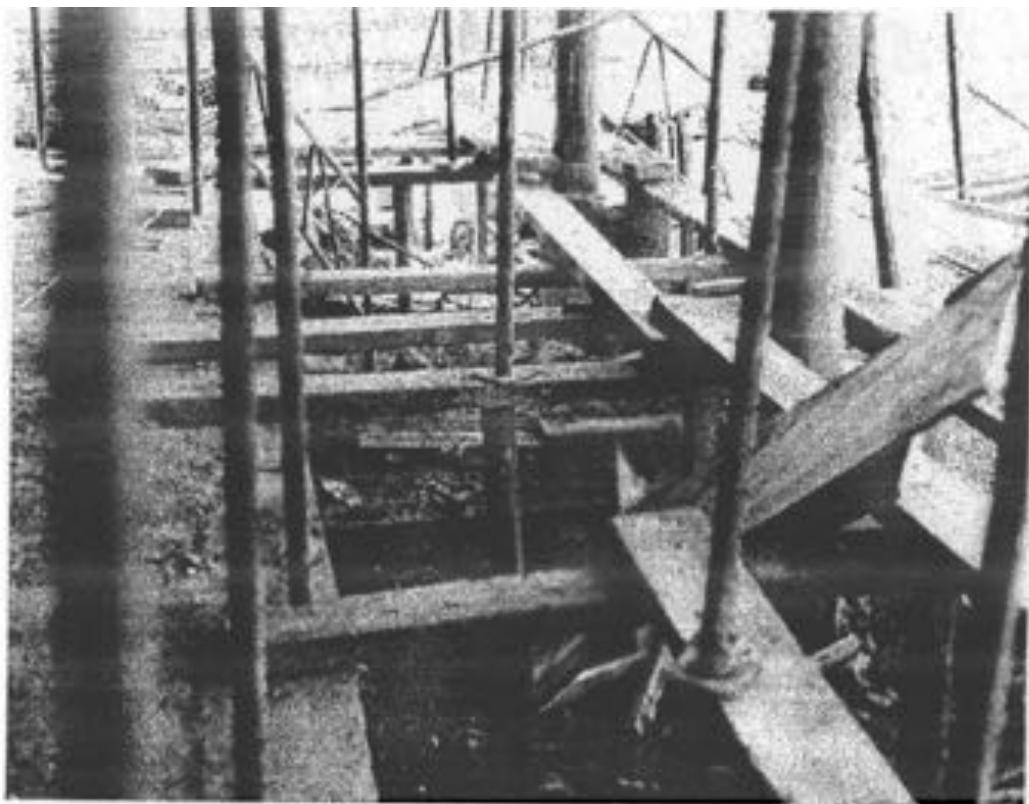
- UTILIZAR SUFFICIENTE CEMENTO.
- EMPLEAR BAJA RELACIÓN A/C.
- RECURRIR A LOS SUPERFLUIDIFICANTES SI HACE FALTA, PARA TENER SUFFICIENTE DESCENSO DE CONO (7 u 8 cm EN LOS CASOS ORDINARIOS) CON BAJA RELACIÓN A/C. (NO OBTENER LA RESISTENCIA EXIGIDA EN PROBETAS CON HORMIGONES DE CASI NULO DESCENSO DE CONO, QUE NO PUEDEN COLOCARSE ADECUADAMENTE EN OBRA).
- EMPLEAR SEPARADORES.
- COMPACTAR ENÉRGICAMENTE.
- CURAR ADECUADAMENTE.

#### CALIDAD DEL HORMIGÓN Y SU DURABILIDAD



#### 4. PATOLOGÍA DE LOS FORJADOS

DEFECTOS DE APUNTALAMIENTO:

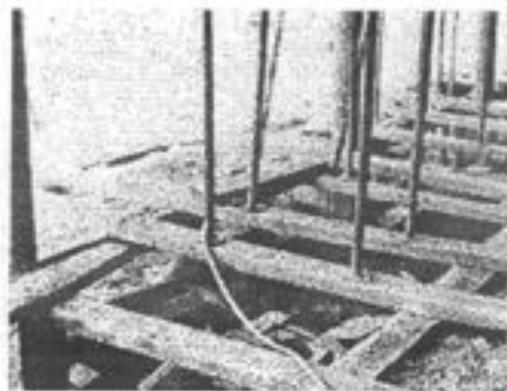


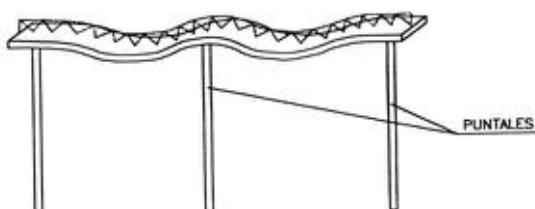
##### DESCRIPCIONES DE LA POSIBLE PATOLOGÍA

- SALVO EN EL CASO EXTREMO EN QUE EL SISTEMA DE PUNTALES LLEGA A COLAPSAR, ESTOS DEFECTOS SE TRADUCEN EN DEFORMACIONES EN LA ESTRUCTURA TALES COMO: ABOMBAMIENTOS, NO MANTENIMIENTO DE LAS DIMENSIONES, GRANDES REBABAS, ETC., QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA OBRA CONSTRUIDA.

##### CAUSAS

- LA EXCESIVA DEFORMABILIDAD DEL SISTEMA DE APUNTALAMIENTO PUEDE PROVENIR DE:
  - PUNTALES QUE TENGAN LA PLETINA INFERIOR CURVADA Y QUE COMO CONSECUENCIA DE ELLA NO DISTRIBUYAN UNOS ESFUERZOS UNIFORMES SOBRE EL DURMIENTE O SOBRE EL SUELO SOPORTANTE.
  - PUNTALES QUE APOYEN SOBRE DURMIENTES DEVENIDOS EN VIGAS MUY DEFORMABLES AL SALVAR UNA LUZ IMPORTANTE, SIN QUE NI SQUIERA ESTÉN DISPUESTOS EN EL SENTIDO DE SU MAYOR MOMENTO DE INERCIA.





VIGUETA DEFORMADA  
FIGURA N° 1

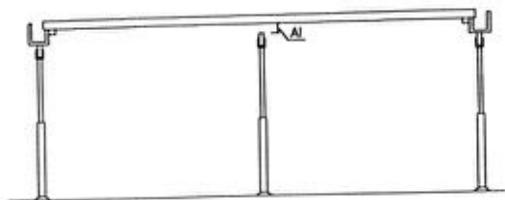


FIGURA N° 3

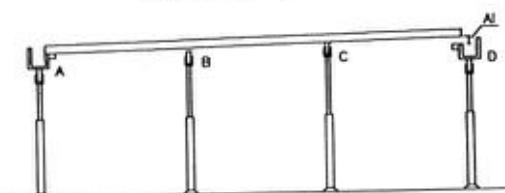


FIGURA N° 2



FIGURA N° 4

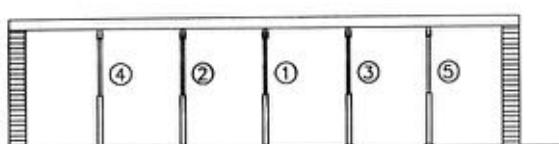


FIGURA N° 5

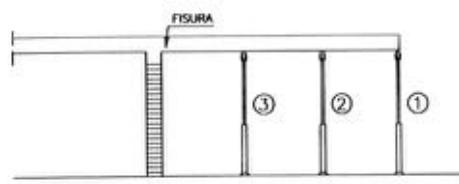
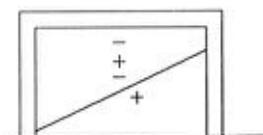
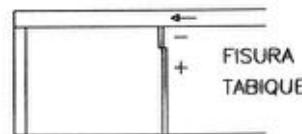
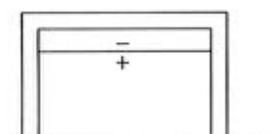
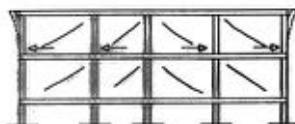
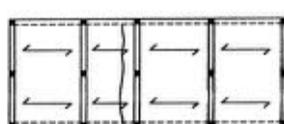
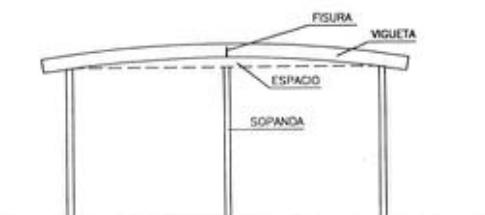
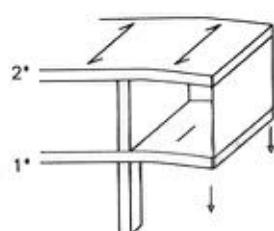
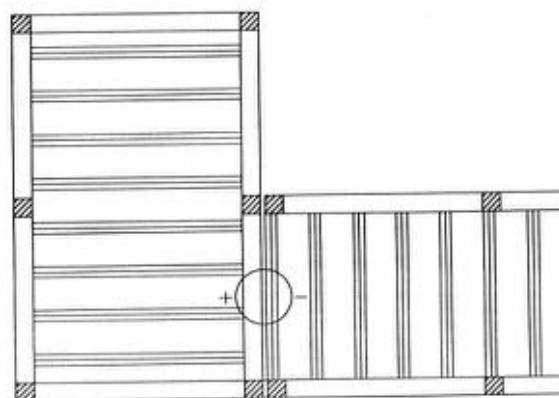
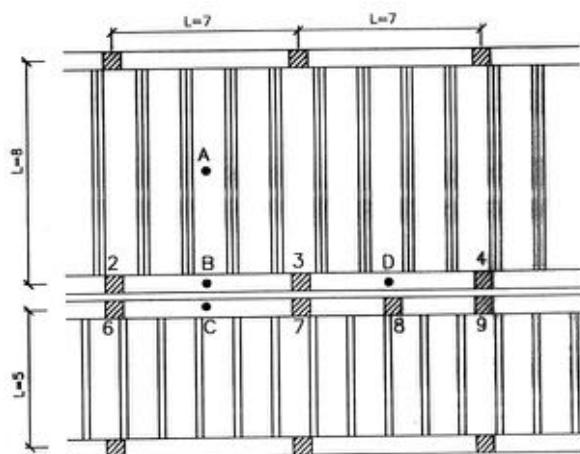
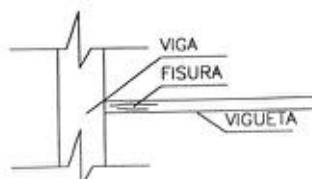
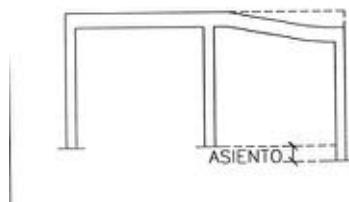
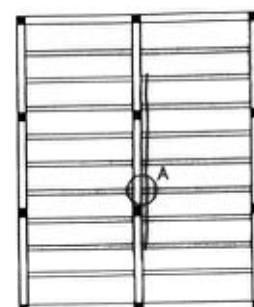
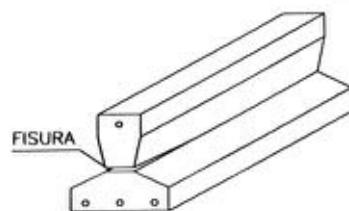
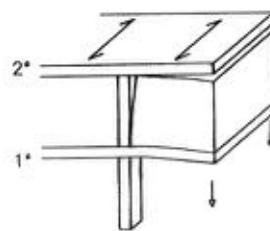


FIGURA N° 6

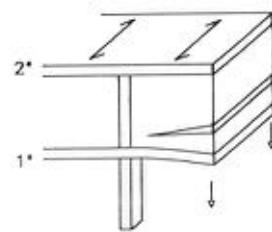




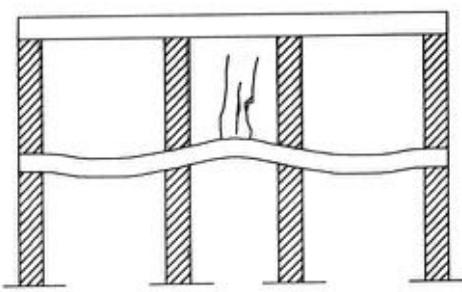
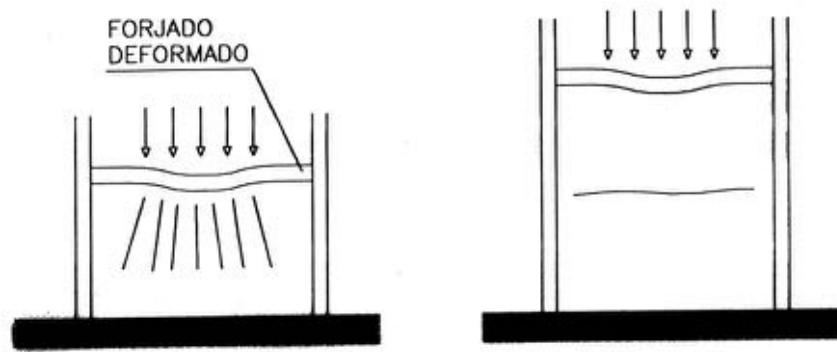
VOLADIZO A



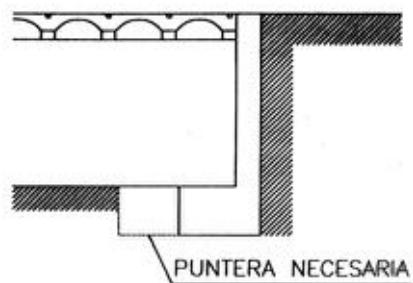
VOLADIZO B



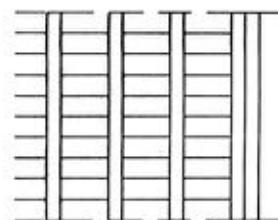
VOLADIZO B



PÓRTICO

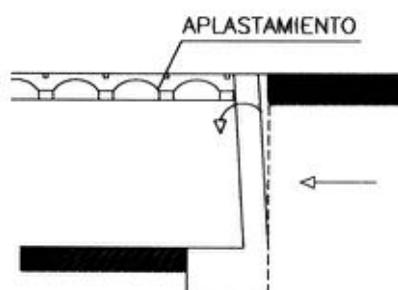


SECCIÓN MURO

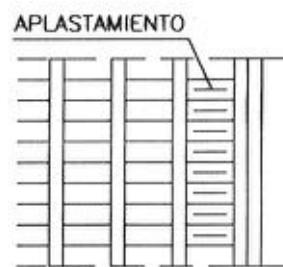


PLANTA FORJADO

FIGURA N° 1



SECCIÓN MURO



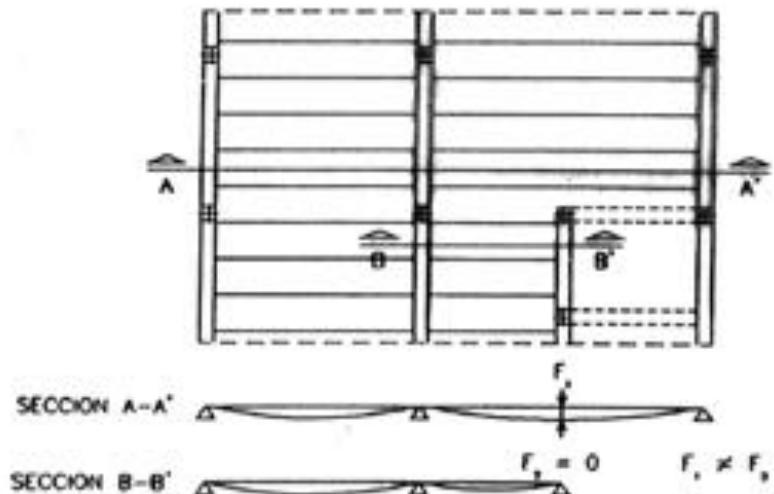
PLANTA FORJADO

## FORJADO DE CON CRUJÍA DE LUCES DESIGUALES ALTERNATIVAS:

**CUANDO EL FORJADO PRESENTA LUCES DISTINTAS CON VALORES SUPERIORES AL 20/25% LAS FISURACIONES SON MÁS QUE PROBABLES**

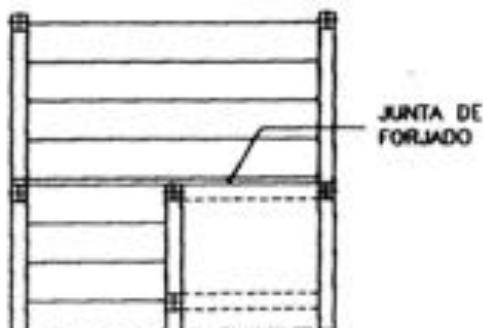
**POSIBLES SOLUCIONES**

- a) Con Junta acusada en ambas partes del forjado
- b) Macizando la zona correspondiente a la desigualdad de la crujía
- c) Cambiando la disposición de las viguetas en el forjado
- d) Prolongando el zuncho de atado
- e) Incrementando la cuantía de la armadura de reparto

**a) CON JUNTA ACUSADA EN AMBAS PARTES DEL FORJADO**

Solo recomendable para grandes luces y fuertes cargas

Nota. Para conseguir la máxima deformación en la junta y que ésta sea lo más homogénea posible, debemos pavimentar y enlucir el forjado cuando éste haya entrado en carga (a través de la carga permanente) y lo más tarde posible.



**b) MACIZANDO LA ZONA CORRESPONDIENTE A LA DESIGUALDAD DE LA CRUJÍA**

Es la solución más compleja debido a la necesidad de encofrado continuo en toda la zona y requiere un cálculo preciso.

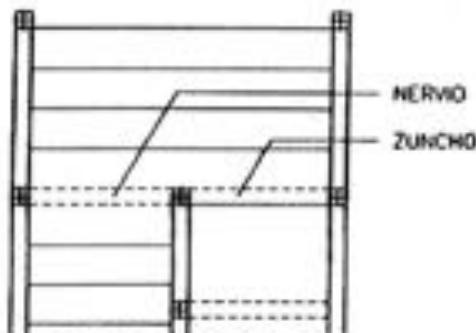
**c) CAMBIO EN LA DISPOSICIÓN DE LAS VIGUETAS EN EL FORJADO**

Se trata de una solución muy aconsejable siempre y cuando sea posible modificar el sentido de las viguetas

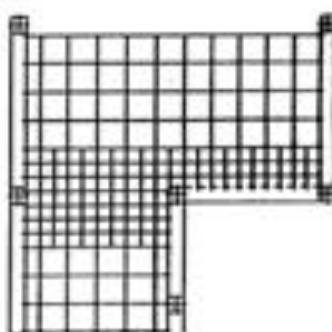
Nota. Puede haber problemas de diferencia de flechas entre viguetas de los paños A y B

**d) PROLONGANDO EL ZUNCHO DE ATADO**

El zuncho actúa de nervio, de manera que independiza las bovedillas en ambas partes de la crujía desigual.

**e) INCREMENTANDO LA CUANTÍA DE LA ARMADURA DE REPARTO**

Solución recomendable sólo para luces y cargas moderadas.



## COLAPSO DE UN TECHO POR FALLO DE VIGUETAS SEMIRESISTENTES PRETENSADAS:



## DESCRIPCIONES DE LAS LESIONES

- TANTO LAS VIGAS ESTIBADAS COMO LAS COLOCADAS EN OBRA, NO PRESENTABAN LAS TÍPICAS CONTRAFLECHAS QUE DEMUESTRAN LA EFICACIA DE SU PRETENSADO.
- ALGUNOS DE LOS TRAMOS DE TECHO YA ACABADOS PRESENTABAN FLECHAS DESMESURADAS EN SU CENTRO.
- EN LA MAYOR PARTE DE LAS VIGAS SE OBSERVARON CORRIMIENTOS DE LOS CABLES EN LOS EXTREMOS, EN ALGUNOS CASOS SUPERIORES A 1mm.

## CAUSAS

- LOS CABLES FUERON CORTADOS O BIEN EN UNA FASE EN QUE EL HORMIGÓN AÚN NO HABÍA ENDURECIDO O BIEN QUE ESTABA MUY LEJOS DE TENER LA RESISTENCIA DE 400 kp/cm<sup>2</sup> ESPECIFICADA EN LA FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

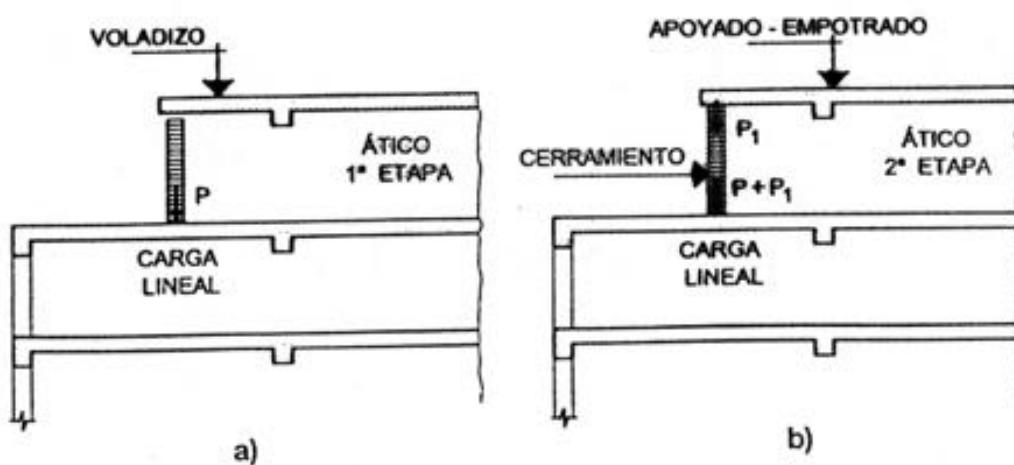
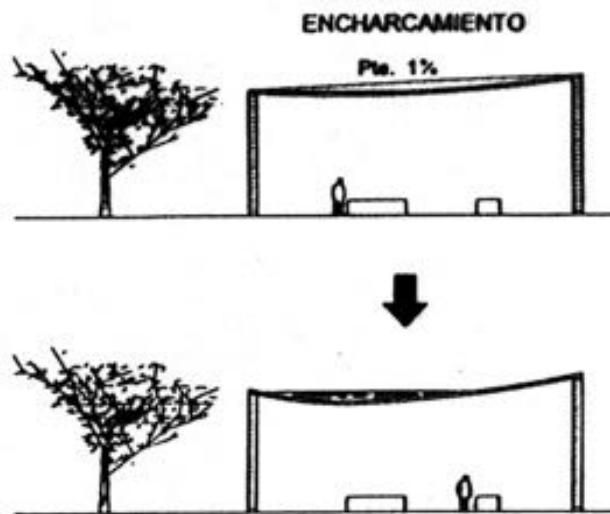
## OBSERVACIONES

- CUANDO SE PRESENTA EL CASO PLANTEADO, LA SOLUCIÓN IDÓNEA ES LA SUSTITUCIÓN DEL FORJADO.

NO OBSTANTE PUEDE SER VÁLIDA CUALQUIER SOLUCIÓN DE REFUERZO DE UN TECHO:

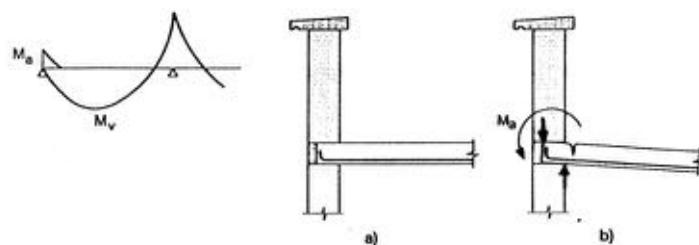
- COLOCACIÓN DE NUEVAS VIGUETAS EN LAS ZONAS DE BOVEDILLAS PARALELAMENTE A LAS LESIONADAS.
- REDUCIR LA LUZ MEDIANTE UNA JÁCENA PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DE LAS VIGUETAS.

## ERRORES EN LA COMBINACION DE ACCIONES:

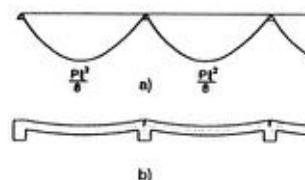


## ERRORES DE CÁLCULO:

## 1. EVALUACIÓN ERRONEA DE LAS CONDICIONES DE BORDE



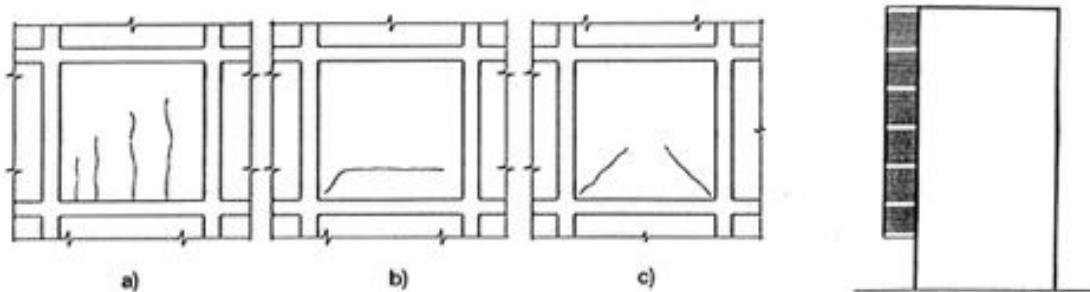
## 2. FORJADOS ISOSTÁTICOS



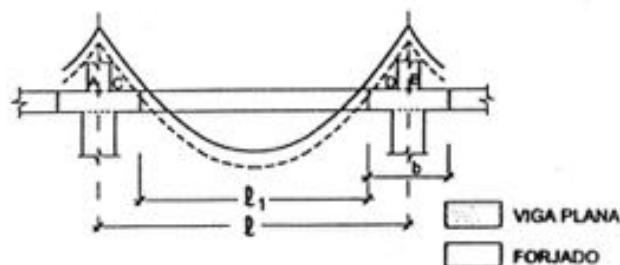
## 3. ESFUERZO RASANTE

## 4. CÁLCULO DE FLECHAS

## 5. DAÑOS POR DEFORMABILIDAD EXCESIVA DEL FORJADO



## 6. FORJADOS CON VIGAS PLANAS

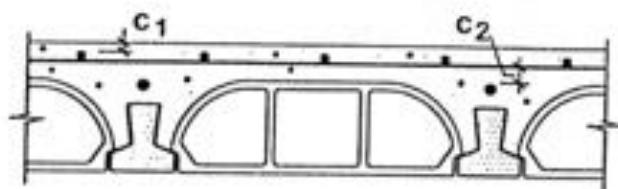


## 7. CÁLCULO DE EDIFICIOS CON FORJADOS SIN VIGAS SOMETIDAS A ACCIONES HORIZONTALES

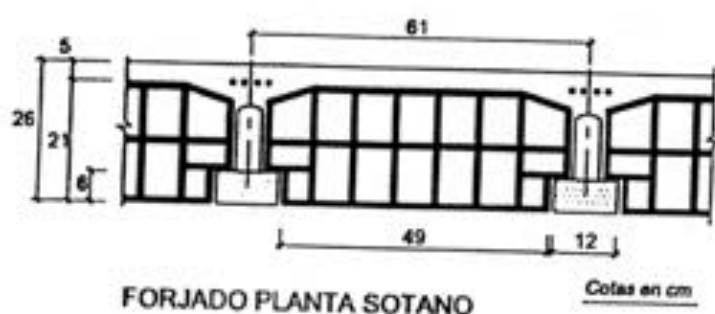
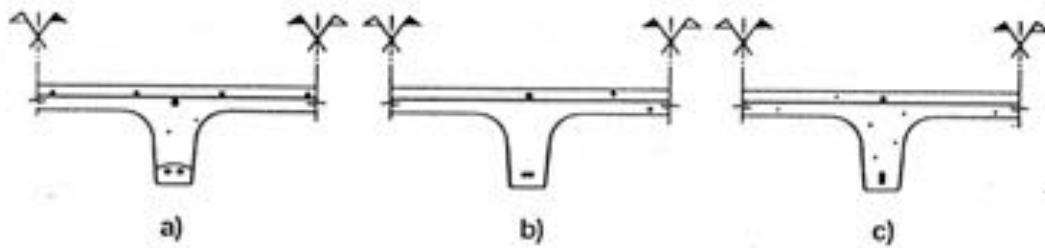
## 8. ERRORES EN MATERIALES DE CÁLCULO

ERRORES CONSTRUCTIVOS:

### 1. RECUBRIMIENTOS

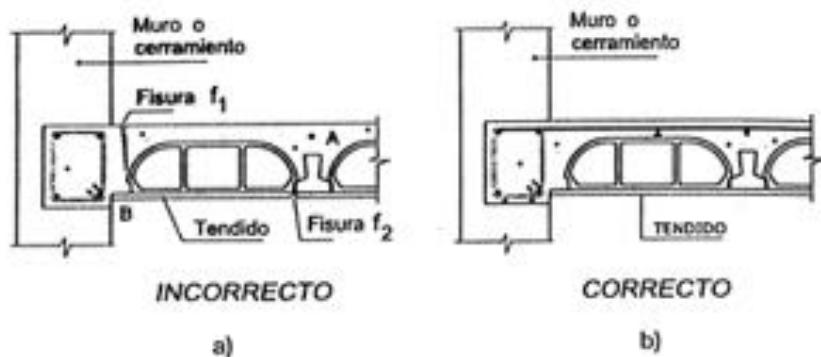


### 2. SEPARACIONES DE BARRAS

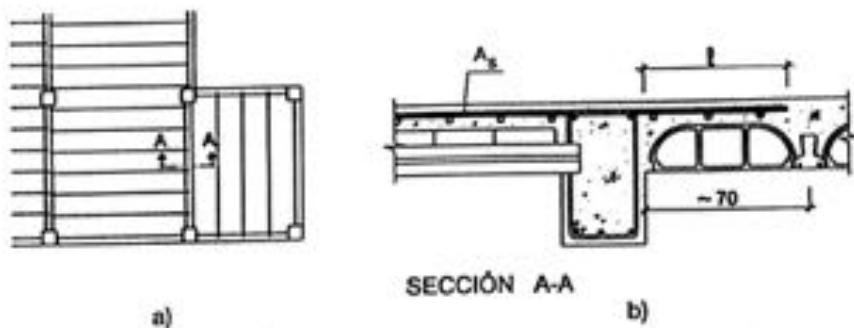


### 3. AUSENCIA DE ARMADURA DE REPARTO

## 4. FISURACIÓN POR EMPOTRAMIENTO DE BORDE



## 5. PROBLEMAS PLANTEADOS POR LA DISPOSICIÓN DE FORJADOS CONTIGUOS EN DIRECCIONES ORTAGONALES



## 6. ENLACES INCORRECTOS

