

CONTROL DE LA CONFORMIDAD DEL HORMIGÓN EN LA EHE-08 (I)

Comenzamos en este número del boletín una serie de artículos relacionados con el control de la conformidad del hormigón que establece la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Este primero trata los aspectos generales, el control documental y el de componentes.

El capítulo XVI de la EHE-08 establece el control de la conformidad de los productos. Los cuatro primeros artículos, del 83 al 86, se dedican a los componentes y al propio hormigón. De ellos, se extractan seguidamente los aspectos más significativos.

1. Aspectos generales

La dirección facultativa tiene la obligación de comprobar la conformidad con lo establecido en el proyecto, de los productos que se reciben en la obra y, en particular, de aquéllos que se incorporan a la misma con carácter permanente. Las actividades del control deberán reflejarse en el programa de control y serán conformes a lo indicado respecto al plan de control en el apartado 79.1 de la EHE-08.

2. Materiales componentes del hormigón

El control de los componentes del hormigón corresponde al responsable de recepción de la central de hormigón preparado o de la central de obra, salvo que se empleen áridos de autoconsumo en centrales de obra, en cuyo caso su control compete a la dirección facultativa. Conviene recordar que la Instrucción sólo contempla, para ejecución de estructuras, la utilización del hormigón fabricado en central (de obra o de hormigón preparado). Solamente en el caso de usos no estructurales podrá utilizarse el hormigón no fabricado en central (hormigón de obra). Así pues, en pocas ocasiones el director de ejecución de obra habrá de programar y dirigir el control de los componentes del hormigón.

Como criterios para la comprobación de la conformidad de los componentes del hormigón y de las armaduras, la Instrucción distingue entre aquellos para los que es obligatorio que dispongan del marcado CE y para los que no existe tal prescripción. Para el primer caso, será suficiente verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al citado marcado CE permiten deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el proyecto. Lo que no es óbice para que la dirección facultativa pueda disponer, en cualquier momento, la realización de comprobaciones o ensayos sobre los



materiales que se empleen para la elaboración del hormigón que se suministra a la obra.

En el caso de productos para los que no es obligatorio que dispongan de marcado CE, la comprobación de su conformidad comprenderá:

- a) Un control documental.
- b) En su caso, un control mediante distintivos de calidad o procedimientos que garanticen un nivel de garantía adicional equivalente.
- c) En su caso, un control experimental, mediante ensayos.

Además, el pliego de prescripciones técnicas particulares podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

3. Control del hormigón

El control de calidad del hormigón comprende el control de su comportamiento, en relación con la durabilidad, la docilidad (consistencia) y la resistencia, así como de cualquier otra característica que pueda establecer el proyecto. Se lleva a efecto mediante comprobaciones documentales y experimentales. En este texto nos referiremos solamente a las primeras, dejando el tratamiento de los ensayos, por motivos de espacio, para un próximo artículo.

Preferiblemente antes del suministro, la dirección

facultativa valorará la conveniencia de realizar una visita a la central para comprobar que las instalaciones de fabricación del hormigón cumplen las especificaciones de la Instrucción, en cuanto al almacenamiento de materiales, instalaciones de dosificación, equipos de amasado, equipos de transporte y control de producción. Dicha inspección es recomendable en hormigones que no dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (DOR) y, en particular, en los siguientes casos:

- Centrales de obra.
- Hormigones con características especiales: autocompactantes, de áridos reciclados,...
- Hormigones con resistencias $\geq 50 \text{ N/mm}$

4. Control documental del hormigón

El suministro del hormigón deberá cumplir las exigencias documentales recogidas en los apartados 79.3.1 y 86.4.1, así como en los Anejos 21 y 22 de la EHE-08. Sobre dichos documentos deberán realizarse las oportunas comprobaciones, según el momento en que se encuentre el suministro del hormigón:

4.1. ANTES DEL SUMINISTRO

Las comprobaciones previas al suministro tienen por objeto verificar la conformidad de la dosificación y de las instalaciones de fabricación.

Dependiendo de si el hormigón está en posesión de distintivo de calidad oficialmente reconocido (DOR) o no, la documentación que el suministrador ha de aportar a la dirección facultativa será:

Hormigón con distintivo reconocido

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente, en la que conste que el hormigón está en posesión de un distintivo DOR.

Hay que tener presente que hasta el 31 de diciembre de 2010, con carácter transitorio, además del distintivo con las garantías previstas en el apartado 5.1 del Anejo 19 de la EHE-08, podían estar reconocidos distintivos que no alcanzaran dicho nivel de garantía, según lo dispuesto en el apartado 6 de dicho Anejo. Este plazo se ha ampliado hasta el 1 de Julio de 2011, siempre que la obra haya comenzado antes del 1 de enero de 2011 (ver la página web del Ministerio de Fomento: www.fomento.es/cph en el apartado Reconocimiento de Distintivos). Por ello, es importante que en esta declaración figure claramente el nivel de garantía.

Hormigón sin distintivo reconocido

- Copia compulsada por persona física con representación suficiente, del certificado de



dosificación al que hace referencia el Anejo 22, emitido por un laboratorio de control, con una antigüedad máxima de seis meses.

El certificado constará de los siguientes datos:

- Acreditación del laboratorio.
- Identificación de la central.
- Designación tipificada del hormigón.
- En su caso, distintivo de calidad que posea el hormigón y referencia completa de la disposición por la que se ha efectuado su reconocimiento oficial.
- Dosificación real del hormigón ensayado, incluida la identificación completa de las materias primas empleadas.
- Resultados individuales de la resistencia a compresión obtenidos en los ensayos y valor calculado para $f_{c,dosif}$.
- Resultados de la profundidad de penetración de agua obtenidos en los ensayos.
- En su caso, mención explícita de la conformidad del hormigón ensayado con las exigencias del Anejo 22.
- Fecha de realización de los ensayos y período de validez del certificado, que no podrá ser superior a los seis meses desde aquélla.

Salvo en el caso de hormigón con clase de exposición ambiental I, IIa y IIb que no tengan clase de exposición específica, habrá que comprobar que los valores obtenidos del ensayo de profundidad de penetración de agua cumplen las especificaciones del apartado 3 del Anejo 22.

Asimismo en lo que respecta a los valores de resistencia a compresión, la dirección facultativa aceptará el inicio del suministro si el valor de $f_{c,dosif}$ no es inferior al valor de f_{ck} establecido en proyecto, ni es inferior en más de 5 N/mm² respecto a la resistencia establecida, según la clase de exposición, en la tabla 37.3.2.b. Esta última condición transforma los valores de resistencia de la citada tabla, que se presentan en el articulado como meramente orientativos, en prescriptivos, resultando de este modo obligatoria la coherencia de la resistencia con el ambiente al que va a estar sometido el hormigón.

CERTIFICADO DE SUMINISTRO

Nombre de la empresa suministradora: _____

Nombre y cargo del responsable del suministro: _____

Dirección: _____

(Identificación del declarante (nombre, domicilio, teléfono/fax, documento de identificación CIF/NIF/Pasaporte))

Certifico

Que la empresa _____

(Identificación del declarante (nombre, domicilio, teléfono/fax, documento de identificación CIF/NIF/Pasaporte))

ha entregado en _____ los suministros que a

(Lugar de recepción del material o producto)

continuación se detallan:

Fecha	Nº Albarán	Identificación del producto o material	Cantidad

Durante el periodo transcurrido entre la declaración de estar en posesión de un distintivo de calidad reconocido oficialmente y el último suministro, no se ha producido ni suspensión, ni retirada del citado distintivo. (*En el caso de que fuese aplicable*)

Declaro bajo mi responsabilidad la conformidad del suministro arriba detallado con las disposiciones establecidas en la Instrucción de Hormigón Estructural, aprobada mediante Real Decreto de _____ de _____.

Lugar, fecha y firma.

Modelo con la información mínima que deberá contener el certificado de suministro (Anejo 21 de la EHE-08).

4.2 DURANTE EL SUMINISTRO

Tanto si el hormigón dispone de DOR como si no, el fabricante presentará la siguiente documentación:

- Hoja de suministro de cada partida o remesa que, de acuerdo con lo indicado en el Anejo 21, recogerá como mínimo la siguiente información:
 - Número de serie de la hoja de suministro.
 - Nombre de la central de hormigón.
 - Identificación del peticionario.
 - Fecha y hora de entrega.
 - Cantidad de hormigón suministrado.
 - Designación del hormigón (según apartado 39.2 de EHE-08), debiendo contener siempre la resistencia a compresión, la consistencia, el tamaño máximo del árido y el tipo de ambiente al que va a ser expuesto.
 - Dosificación real del hormigón que incluirá, al menos:
 - Tipo y contenido de cemento.
 - Relación agua/cemento.
 - Contenido en adiciones, en su caso.
 - Tipo y cantidad de aditivos.
 - Identificación del cemento, aditivos y adiciones empleados.
 - Identificación del lugar de suministro.
 - Identificación del camión que transporta el hormigón.
 - Hora límite de uso del hormigón.

La dirección facultativa deberá comprobar que los valores reflejados en la hoja de suministro son conformes con las especificaciones de la Instrucción y no se aprecian discrepancias con el certificado de dosificación aportado previamente. A estos efectos, el comentario al apartado 86.5.1, considera que las desviaciones en la dosificación no son significativas si se cumple simultáneamente que las cantidades declaradas en la hoja de suministro, respecto a las del certificado de dosificación, presentan desviaciones comprendidas:

- Entre 0 y + 15 Kg para la suma de cemento y adiciones. . Entre - 0,02 y 0 para la relación agua/cemento.

4.3. DESPUÉS DEL SUMINISTRO

Con independencia de que el hormigón disponga o no de DOR.

- . Al finalizar el suministro de un hormigón a la obra, el constructor facilitará a la dirección facultativa un certificado de los hormigones suministrados, con indicación de los tipos y cantidades de los mismos, elaborado por el fabricante y firmado por persona física con representación suficiente, cuyo contenido, conforme a lo establecido en el Anejo 21, recogerá la totalidad de los materiales o productos suministrados. El certificado de

suministro deberá mantener la necesaria trazabilidad de los materiales o productos certificados (ver modelo de certificado del Anejo 21).

- . En el caso de haberse suministrado hormigones con cemento resistente a sulfatos (SR), y con el fin de garantizar la trazabilidad de los mismos, el suministrador de hormigón adjuntará al certificado de suministro anteriormente definido, una copia de los albaranes o del certificado de entrega de dicho cemento en la central suministradora de hormigón, correspondientes al periodo de suministro del hormigón.

Almudena Jardón Giner y Gustavo Furest Aycarrt
Colegios Oficiales de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Valencia y Alicante

CONTROL DE LA CONFORMIDAD DEL HORMIGÓN EN LA EHE-08 (II)

Ensayos del hormigón en la EHE-08

Continuamos en este número del boletín la serie de artículos relacionados con el control de la conformidad del hormigón que establece la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. En éste se abordan los ensayos para comprobar la docilidad, resistencia y durabilidad del hormigón.

La conformidad de un hormigón con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en la obra, e incluirá su comportamiento en relación con la docilidad, la resistencia y la durabilidad.

El control de recepción incluye una serie de comprobaciones de carácter documental y experimental. En los apartados siguientes se desarrollan las especificaciones relativas a estas últimas.

I. DOCILIDAD DEL HORMIGÓN

Referencias en la EHE-08: Apartados 31.5, 86.3.1 y 86.5.2.

Descripción

La docilidad del hormigón será la necesaria para que, con los métodos previstos de puesta en obra y compactación, el hormigón rodee las armaduras sin solución de continuidad con los recubrimientos exigibles y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueras. La docilidad se valora determinando su consistencia, por medio del ensayo de asentamiento, según UNE-EN 12350-2.

Nueva consistencia líquida

El apartado 31.5 de la EHE-08 establece las distintas consistencias y los valores límite del asentamiento. Destaca en la Instrucción el nuevo tipo de consistencia líquida, al que corresponde un asentamiento entre 16 y 20 cm, y que debe conseguirse mediante el empleo de aditivos superplastificantes.

Tipo de consistencia	Asentamiento en cm
Seca (S)	0 – 2
Plástica (P)	3 – 5
Blanda (B)	6 – 9
Fluida (F)	10 – 15
Líquida (L)	16 – 20



Ensayo de consistencia, mediante cono de Abrams.

Consistencias seca y plástica

Si bien ya la anterior Instrucción EHE recomendaba que el asiento en el cono no fuera inferior a 6 centímetros, ahora la EHE-08 establece que, salvo en aplicaciones específicas que así lo requieran, se evitará el empleo de las consistencias seca y plástica. Además, aconseja para consistencias plásticas la realización del ensayo Vebe (UNE-EN 12350-3).

Hormigones vistos y bombeados

Para hormigones vistos se indica la conveniencia de alcanzar consistencias fluidas, obtenidas mediante el empleo de aditivos superplastificantes. En cuanto a los hormigones para bombeo, se recomienda el empleo de consistencias fluidas, especialmente en el caso de hormigones fabricados con áridos de machaqueo.

Aridos reciclados

En el caso de utilizar áridos procedentes de residuos en la confección del hormigón, conviene requerir estudios previos para analizar su influencia en la docilidad.

Realización de los ensayos

Los ensayos de consistencia se realizarán cuando se produzca alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando se fabriquen probetas para controlar la resistencia.
- En todas las amasadas que se coloquen en obra con un control indirecto de la resistencia.
- Siempre que lo indique la Dirección Facultativa o lo establezca el Pliego de prescripciones técnicas particulares.

Conformidad de la consistencia

La especificación para la consistencia se considerará conforme cuando el asentamiento obtenido en los ensayos se encuentre dentro de los límites de la tabla 86.5.2.1. El incumplimiento de los criterios de aceptación, implicará el rechazo de la amasada.



probetas cúbicas, en cuyo caso habrá que aplicar determinados coeficientes de conversión. .

Distintivos oficialmente reconocidos (DOR)

El Anejo 19 de la Instrucción detalla los niveles de garantía y requisitos para los distintivos oficialmente reconocidos (DOR). En el apartado 5.1 se establecen los específicos para el hormigón. Asimismo en el apartado 6 de este mismo Anejo 19 se especifica el reconocimiento de otro distintivo para el hormigón, con carácter transitorio hasta el 31 de diciembre de 2010. Este plazo se ha ampliado hasta el 1 de julio de 2011, siempre que la obra haya comenzado antes del 1 de enero de 2011. Como veremos a continuación, las ventajas en la utilización de hormigones que posean un DOR conforme al apartado 5.1 ó al 6 del Anejo 19 son muy diferentes, ya que también son distintos los niveles de garantía entre ambos casos. En la sección "Reconocimiento de distintivos" de la página web de la Comisión Permanente del Hormigón (www.fomento.es/CPH) pueden consultarse los hormigones que están en posesión de un DOR.

Tabla 86.5.2.1 de la EHE-08.

II. RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Referencias en la EHE-08:

Ensayos de resistencia: Apartado 86.3.2

Distintivos de calidad: Anejo nº 19

Modalidades del control de resistencia: Apartado 86.5.3

Control estadístico: Apartado 86.5.4

Control al 100 por 100: Apartado 86.5.5

Control indirecto: Apartado 86.5.6

Ensayo de rotura por compresión

Ensayos de resistencia del hormigón

La resistencia del hormigón se comprobará mediante ensayos de resistencia a compresión efectuados sobre probetas cilíndricas de hormigón endurecido de 15 x 30 cm, fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-2. Podrán emplearse también

Modalidades del control de resistencia durante el suministro

Al igual que en la anterior Instrucción, se establecen tres modalidades de control que pasan a denominarse:

Modalidad 1: Control estadístico.

Modalidad 2: Control al 100 por 100.

Modalidad 3: Control indirecto.

1. Control estadístico

Esta modalidad de control es de aplicación general en estructuras de hormigón. Presenta novedades que, aunque no modifican la metodología general, dan como resultado diferencias importantes en la intensidad del muestreo respecto a la anterior EHE.

		TIPOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
Límite superior		Elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión (pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc, ...)	Elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a flexión (vigas, forjados de hormigón, tableros de puente, muros de contención, etc, ...)	Macizos (zapatas, estribos de puente, bloques, etc,...)
Volumen de hormigón	100 m ³	100 m ³	100 m ³	
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semanas	
Superficie construida	500 m ²	1.000 m ²	-----	
Número de plantas	2	2	-----	

Tabla 86.5.4.1 de la EHE-08

1.1. FORMACIÓN DE LOTES

Se mantienen los tamaños máximos para los distintos tipos de elementos estructurales pero hay que destacar que desaparece la posibilidad recogida en la anterior EHE, de aplicar la columna izquierda de la tabla de formación de lotes, de forma conjunta, a los hormigones destinados a pilares y a forjados, cuando se trata del mismo tipo de hormigón. En la EHE-08 no se puede incluir en un mismo lote el hormigón de elementos a compresión y a flexión y esto supone, en la práctica, la formación de un número de lotes mayor que con la EHE.

Cuando un lote esté constituido por amasadas de hormigones en posesión de un DOR, podrá aumentarse su tamaño, multiplicando los valores de la tabla por 5 ó por 2, en función de que el nivel de garantía sea conforme con el apartado 5.1 ó con el 6 (transitorio) del Anejo 19, respectivamente. Estas reducciones tienen dos límites:

- Como mínimo deberán ensayarse 3 lotes.
- El hormigón de un mismo lote debe haberse suministrado en un plazo máximo de 6 semanas.

Ejemplos de formación de lotes.

Para comparar el número mínimo de lotes a ensayar, según se aplique una u otra Instrucción, se plantea el caso de una cimentación por zapatas, con muros de sótano, seis forjados de 500 m² de superficie y otros tantos tramos de pilares, con HA-25 para toda la obra. En este caso práctico, a la hora de aplicar los criterios de formación de lotes de la anterior EHE, se ha agrupado de forma conjunta el hormigón de pilares y forjados. El ejemplo recoge cinco posibilidades: dos para la EHE (según que el hormigón disponga o no de DOR) y tres para la EHE-08 (en función de que el hormigón no disponga de

DOR o de que éste sea conforme al apartado 6 ó al 5.1 del citado Anejo 19), arrojando los siguientes resultados:

	Hormigón con DOR	Nº mínimo lotes por elemento estructural	Nº mínimo de lotes totales
EHE	No	Estructura total: 8 Zapatas: 3	11 lotes
EHE	Sí	Estructura total: 4 Zapatas: 2	6 lotes
EHE-08	No	Pilares y muro: 7 Forjados: 7 Zapatas: 3	17 lotes
EHE-08	Sí (Ap. 6 Anejo 19)	Pilares y muro: 4 Forjados: 4 Zapatas: 2	10 lotes
EHE-08	Sí (Ap. 5.1 Anejo 19)	Pilares y muro: 3 Forjados: 3 Zapatas: 1	7 lotes

Como puede observarse, la dispersión en el número de lotes es muy elevada. Cabe resaltar que aún aplicando los criterios de la nueva Instrucción para hormigones con DOR, según el apartado 5.1 del Anejo 19, en los que se multiplican los valores de la tabla por 5, el número de lotes (7) es mayor que si se calculan con la EHE (6).

1.2. NÚMERO DE AMASADAS

La conformidad del lote se comprobará a partir de los valores medios de los resultados obtenidos sobre dos probetas, tomadas para cada una de las N

amasadas controladas, de acuerdo con la Tabla 86.5.4.2.

Resistencia característica especificada en proyecto f_{ck} (N/mm ²)	Hormigones con distintivos de calidad oficialmente reconocido con nivel de garantía conforme con el apartado 5.1 del Anejo 19	Otros casos
$F_{ck} \leq 30$	$N \geq 1$	$N \geq 3$
$35 \leq F_{ck} \leq 50$	$N \geq 1$	$N \geq 5$
$F_{ck} > 50$	$N \geq 2$	$N \geq 6$

Tabla 86.5.4.2 de la EHE-08.

Como vemos, a los lotes de hormigones sin DOR, con f_{ck} de 25 ó 30 N/mm², les corresponde un mínimo de 3 amasadas por lote.

Ejemplos de número de amasadas.

Continuando con el ejemplo anterior, para los lotes de ese HA-25 se obtendrían los siguientes números mínimos de amasadas:

	Hormigón con DOR	Nº mínimo de lotes totales	Nº mínimo de amasadas por lote	Nº mínimo total de amasadas
EHE	No	11 lotes	2 amasadas	22 amasadas
EHE	Sí	6 lotes	2 amasadas	12 amasadas
EHE-08	No	17 lotes	3 amasadas	51 amasadas
EHE-08	Sí (Ap. 6 Anejo 19)	10 lotes	3 amasadas	30 amasadas
EHE-08	Sí (Ap. 5.1 Anejo 19)	7 lotes	1 amasada	7 amasadas

Como puede apreciarse, la dispersión de resultados es aún mayor que en el número de lotes.

Se da la circunstancia de que al aplicar los criterios de formación de lotes y sus correspondientes amasadas mínimas, en obras de edificación, a hormigones sin DOR en pilares, resulta que en numerosas ocasiones se ensayarán todas las amasadas del lote y, en consecuencia, aunque en proyecto se prescriba la modalidad de control estadístico, en la práctica se estará aplicando un control al 100 por 100. Es conveniente tener en cuenta esta cuestión en la programación del control del hormigón, ya que, como se verá en el siguiente apartado, el control al 100 por 100 debe adoptarse antes del suministro del hormigón.

1.3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Los criterios de aceptación han sufrido cambios significativos, que por su extensión (cuatro posibles

casos) y complejidad desarrollaremos, junto con las decisiones derivadas del control de resistencia, en un artículo posterior.

2. Control al 100 por 100

Esta modalidad de control es de aplicación a cualquier estructura siempre que se adopte antes del suministro. Consiste en la determinación de la resistencia de todas las amasadas del hormigón sometidas a control. Si el número de amasadas no excede de 20, la condición de aceptación es que el valor de la resistencia de la amasada más baja sea igual o superior a la resistencia característica especificada en proyecto ($f_{c,real} \geq f_{ck}$). Si hubiera más de 20 amasadas se tendrá en cuenta el valor de la que ocupa el lugar $n = 0,05 \cdot N$, ordenadas las N amasadas de menor a mayor resistencia, redondeándose n por exceso.

Ejemplo 1 de control al 100 por 100.

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

6 amasadas ($N < 20$): 27, 29, 30, 30, 31 y 33.

$$f_{c,real} = 27 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow \text{Aceptación}$$

Ejemplo 2 de control al 100 por 100.

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

21 amasadas ($N > 20$): 27, 28, 28, 29, 29... y 34.

$$n = 0,05 \cdot N = 0,05 \cdot 21 = 1,05 \approx 2 \text{ (redondeo por exceso)}$$

$$f_{c,real} = 28 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow \text{Aceptación}$$

3. Control indirecto

En esta modalidad de control, designada en la EHE como control reducido, la novedad más significativa es que sólo puede aplicarse a hormigones que posean el derecho de uso de un DOR. Además deben concurrir las siguientes condiciones:

- Elementos de edificio de viviendas de hasta 2 plantas, con luces inferiores a 6 m, o elementos a flexión de edificio de viviendas de hasta 4 plantas, con luces inferiores a 6 m.
- El ambiente del elemento estructural sea I ó II.
- En el proyecto se habrá adoptado una resistencia de cálculo $f_{cd} \leq 10 \text{ N/mm}^2$.

La aplicación del control indirecto supone la realización de, al menos, cuatro determinaciones del

ensayo de consistencia espaciadas a lo largo de cada jornada de suministro. En obra han de quedar archivados los correspondientes registros, con los valores obtenidos y las decisiones adoptadas.

Para la aceptación del hormigón sometido a esta modalidad de control, es necesario que los resultados de los ensayos de consistencia sean conformes con la especificación de docilidad de proyecto y que durante el tiempo que dure el suministro esté vigente el DOR del hormigón y su reconocimiento.

III. DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

Referencias en la EHE-08

Durabilidad: 37.3, 37.3.1, 37.3.3. Ensayos de penetración de agua en el hormigón: 86.3.3.

Decisiones derivadas del control de la durabilidad: 86.7.3.2. Ensayos previos y característicos del hormigón: Anejo nº 22.

Descripción

La durabilidad del hormigón es la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas agresivas y proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el hormigón, durante la vida de servicio de la estructura.

Requisitos

Para conseguir una durabilidad adecuada del hormigón se deben cumplir unos requisitos generales:

- Máxima relación agua/cemento.
- Contenido mínimo de cemento.
- Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad.

Y otros adicionales, si fuera el caso:

- Mínimo contenido de aire ocluido.
- Cemento resistente a los sulfatos.
- Cemento resistente al agua de mar.
- Resistencia frente a la erosión.
- Resistencia frente a las reacciones álcali-árido.

Ensayo de impermeabilidad

La determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión (UNE EN 12390-8) permite comprobar si el hormigón será suficientemente impermeable para el ambiente en el que va a estar ubicado.

Según la clase de exposición

Esta comprobación se deberá realizar cuando las clases generales de exposición sean III ó IV, o cuando presente cualquier clase específica de exposición (Qa, Qb, Qc, H, F ó E). El ensayo que se debe realizar de profundidad de agua bajo presión



Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión

forma parte del control que lleva a cabo el fabricante del hormigón y sus resultados deben estar incluidos en el certificado de dosificación.

Conformidad de la impermeabilidad

El control de impermeabilidad que realiza la Dirección Facultativa consiste en una verificación meramente documental del mencionado certificado de dosificación. No obstante, la D.F. puede prescribir la realización de este ensayo si lo considera conveniente. Si fuera el caso, habrá que tener en cuenta que un hormigón se considera suficientemente impermeable si los resultados del ensayo de penetración de agua cumplen simultáneamente las siguientes especificaciones:

Clase de exposición ambiental	Especificación para la profundidad máxima	Especificación para la profundidad media
IIIa, IIIb, IV, Qa, E, H, F, Qb (en el caso de elementos en masa o armados)	50 mm	30 mm
IIIC, Qc Qb (sólo en el caso de elementos pretensados)	30 mm	20 mm

Decisiones derivadas del control de la durabilidad

Si un hormigón presenta cualquier incumplimiento de las exigencias de durabilidad, la Dirección Facultativa valorará la realización de comprobaciones experimentales y la adopción de medidas de protección superficial. Se valorarán las

desviaciones entre los resultados del control de recepción respecto de los reflejados en el certificado de dosificación, por si pudieran deducirse alteraciones en la dosificación.

Almudena Jardón Giner y Gustavo Furest
Aycart Colegios Oficiales de Aparejadores,
Arquitectos Técnicos e Ingenieros de
Edificación de Valencia y Alicante

CONTROL DE LA CONFORMIDAD DEL HORMIGÓN EN LA EHE-08 (y III)

Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón

Finalizamos la serie de artículos sobre el control de la conformidad del hormigón según la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 con éste en el que se analizan los criterios y casos de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón, mediante varios ejemplos.

Los criterios de aceptación o rechazo dependen de la modalidad de control de la resistencia del hormigón adoptada. Por tanto, hay que comenzar distinguiendo las tres posibilidades que contempla la Instrucción:

- Control indirecto.
- Control al 100 por 100.
- Control estadístico.

1. CONTROL INDIRECTO

Referencia en la EHE-08: Apartado 86.5.6

El control indirecto es similar al que la anterior Instrucción EHE denominaba reducido. Consiste en comprobar cuatro determinaciones de la consistencia, durante cada jornada de suministro.

Como se expuso en el artículo del número anterior del Boletín, para poder aplicar el control indirecto es preceptivo el cumplimiento de determinados requisitos. Entre ellos destaca, por ser novedoso, la obligatoriedad de que el hormigón disponga del derecho de uso de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (DOR). Es importante señalar que hasta enero de 2010 no se produjo el reconocimiento oficial para ningún distintivo de calidad a los hormigones, conforme a la EHE-08. Desde esa fecha primero se reconocieron el DOR de Aidico y de AENOR con un nivel de garantía conforme al apartado 5.1 del Anexo 19, a diversos hormigones de unas 60 plantas de hormigón preparado de toda España. El listado de distintivos se puede consultar en la sección

"Comisión Permanente del Hormigón" ubicada en la página web del Ministerio de Fomento: www.fomento.es/cph (accediendo al apartado "Reconocimiento de distintivos").

En caso de aplicar esta modalidad de control, se aceptará el hormigón suministrado si se cumplen simultáneamente estas tres condiciones:

- Los resultados de los ensayos de consistencia cumplen lo indicado en 86.5.2.
- Se mantiene, en su caso, la vigencia del distintivo de calidad para el hormigón empleado durante la totalidad del período de suministro a la obra.
- Se mantiene, en su caso, la vigencia del distintivo de calidad oficialmente reconocido.

El control de hormigones con DOR conforme al ap. 5.1. del Anexo 19 es de identificación, no de recepción.

Este nivel de control presupone aceptar un valor reducido de la resistencia de cálculo y exige una vigilancia continuada por parte de la Dirección Facultativa que garantice que la dosificación, la consistencia.

2. CONTROL AL 100 POR 100

Referencia en la EHE-08: Apartado 86.5.5

Esta modalidad de control es de aplicación a cualquier estructura, siempre que se adopte antes del inicio del suministro del hormigón. La conformidad de la resistencia se comprueba determinando la misma en todas las amasadas sometidas a control y calculando, a partir de sus resultados, el valor de la resistencia característica real ($f_{c,real}$).

La EHE-08 indica que este tipo de control no suele utilizarse en la mayoría de las obras, por el elevado número de probetas que implica, la complejidad de todo orden que supone para la obra y el elevado coste del control. Sin embargo hay que añadir a este comentario de la Instrucción que, tal como exponíamos en el artículo anterior, en obras de edificación puede ser interesante prever esta modalidad de control para el hormigón de los pilares.

El criterio de aceptación se define por la expresión:

$$f_{c,real} \geq f_{ck}$$

2.1. Menos de 20 amasadas

Si el número de amasadas N no excede de 20, la condición de aceptación es que el valor de resistencia más bajo de esa serie de amasadas sea igual o superior a la resistencia característica especificada en proyecto ($f_{c,real} \geq f_{ck}$).

Ejemplo para $N < 20$:

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

6 amasadas: 27, 29, 30, 30, 31 y 33.

Se adopta como $f_{c,real}$ el valor más bajo.

$$f_{c,real} = 27 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow \text{Aceptación}$$

2.2. Más de 20 amasadas

Si hubiera más de 20 amasadas se tendrá en cuenta el valor de la que ocupa el lugar $n = 0,05 \cdot N$, ordenadas las N amasadas de menor a mayor resistencia, y redondeándose n por exceso.

Ejemplo para $N > 20$:

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

21 amasadas (ordenadas de menor a mayor):

27, 28, 28, 29, 29... y 34.

$$n = 0,05 \cdot N = 0,05 \cdot 21 = 1,05 \approx 2 \text{ (redondeo por exceso)}$$

Al resultar $n = 2$, se adopta como $f_{c,real}$ el segundo valor más bajo.

$$f_{c,real} = 28 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow \text{Aceptación}$$

3. CONTROL ESTADÍSTICO

Referencia en la EHE-08: Apartados 86.5.4.3 y 86.7.3.1

Los criterios de aceptación de la resistencia del hormigón para esta modalidad de control se definen a partir de la siguiente casuística:



CASO 1: HORMIGONES CON DOR CONFORME AL APDO. 5.1 ANEJO 19

Hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, con un nivel de garantía conforme al apartado 5.1 del Anejo nº 19 de la Instrucción.

Este caso se entiende como un control de identificación, no de recepción como en los restantes, pues los criterios tienen por objeto comprobar la pertenencia del lote a una producción muy controlada, con una resistencia certificada y estadísticamente evaluada con un nivel de garantía muy exigente.

Como criterio de aceptación se establece que cada uno de los valores de las resistencias de las amasadas controladas deben ser iguales o superiores al de la resistencia característica de proyecto:

$$x_i \geq f_{ck}$$

Por tanto, en principio, los valores de todas las amasadas deben cumplir ese criterio. Si alguno de esos resultados no lo alcanzara, la EHE-08 establece que la Dirección Facultativa aceptará el lote cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

1º Los valores individuales (x_i) sean iguales o superiores al 90% de la resistencia característica de proyecto: $x_i \geq 0,90 f_{ck}$

2º Si tras revisar los resultados de control de producción correspondientes al período más próximo a la fecha de suministro del mismo, se cumple que el valor medio del conjunto de valores que resulta al incorporar el "no conforme" a los catorce resultados del control de producción que sean temporalmente más próximos al mismo, menos 1,645 multiplicado por el valor de la desviación típica correspondiente a la producción

del tipo de hormigón suministrado y certificado por el DOR, e igual o superior al 90% de la resistencia característica de proyecto:

$$x - 1,645 \cdot \sigma \geq 0,90 \cdot f_{ck}$$

Ejemplo:

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

7 amasadas controladas (ordenadas de menor a mayor):

23, 28, 28, 29, 30, 30 y 32 N/mm².

Todos los valores son superiores a f_{ck} excepto x_1 (23 N/mm²).

1º. Se comprueba si $x_1 \geq 0,90 \cdot f_{ck}$

En este caso, $23/25 = 0,92 \cdot f_{ck}$ (Cumple)

2º. Se incorpora el valor 23 N/mm² a los 14 resultados del control de producción que sean temporalmente más próximos. Una vez realizada esa operación, supongamos que el valor medio resultante fuera 29,7 N/mm². Este valor lo multiplicaríamos por la desviación típica σ del hormigón que deberá aportarnos el fabricante. Según la tabla del apartado 5.1 del Anejo nº 19, para un HA-25 σ no debe ser superior a 3,6 N/mm². Si la desviación típica certificada por el suministrador fuera 3,2 N/mm² obtendríamos:

$$29,7 - 1,645 \cdot 3,2 = 24,4 \text{ N/mm}^2$$

$$0,90 \cdot f_{ck} = 0,90 \cdot 25 = 22,5 \text{ N/mm}^2$$

$24,4 > 0,90 \cdot f_{ck} \rightarrow$ Aceptación

Hay que destacar que esta “segunda oportunidad” se dispone exclusivamente para los hormigones con el distintivo conforme al apartado 5.1 del Anejo nº 19. Y no es de aplicación en los restantes casos, ni siquiera para los que tienen el DOR transitorio.

CASO 2: HORMIGONES SIN DISTINTIVO

En este control de recepción se establece como función de aceptación que el valor medio de los resultados obtenidos en las amasadas controladas de un lote, menos el coeficiente K_2 (de la Tabla 86.5.4.3.b) multiplicado por el valor del recorrido r_N debe ser igual o superior al de la resistencia característica de proyecto:

$$f(\bar{x}) = \bar{x} - K_2 r_N \geq f_{ck}$$

Coeficiente	Número de amasadas controladas (N)			
	3	4	5	6
K_2	1,02	0,82	0,72	0,66
K_3	0,85	0,67	0,55	0,43

Tabla 86.5.4.3.b de la EHE-08

Ejemplo 1:

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Amasadas controladas en el lote nº 1: 28, 30 y 32 N/mm²

Valor medio de las amasadas del lote: 30 N/mm²

Según Tabla 86.5.4.3.b, $K_2 = 1,02$ Recorrido

$$\text{muestral } r_N = x_{(N)} - x_{(1)} = 32 - 28 = 4$$

Función de aceptación = $30 - 1,02 \cdot 4 = 25,9 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow$ Aceptación Comentarios: A pesar de que los tres valores de las amasadas superan ampliamente la resistencia característica, se observa que el recorrido minora el valor de la función de aceptación casi hasta el límite admisible.

Ejemplo 2:

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

Amasadas controladas en el lote nº 2: 26, 28 y 30 N/mm²

Valor medio de las amasadas del lote: 28 N/mm²

Según Tabla 86.5.4.3.b, $K_2 = 1,02$

$$\text{Recorrido muestral } r_N = x_{(N)} - x_{(1)} = 30 - 26 = 4$$

Función de aceptación = $28 - 1,02 \cdot 4 = 23,9 \text{ N/mm}^2 < f_{ck} \rightarrow$ NO Aceptación

Comentarios: En este segundo ejemplo tenemos el mismo recorrido que en el anterior pero al haberse obtenido menores valores en las resistencias de las amasadas, el resultado final está por debajo del admisible, por tanto el lote no sería aceptable. Posteriormente se expone la forma de actuar en consecuencia.

CASO 3: HORMIGONES SIN DISTINTIVO Y MÁS DE 36 AMASADAS

Hormigones sin distintivo, fabricados de forma continua en central de obra o suministrados de forma continua por la misma central de hormigón preparado, en los que se controlan en la obra más de 36 amasadas del mismo tipo de hormigón. Esto ocurre, por ejemplo, cuando tenemos más de 12 lotes de HA-25 o HA-30.

Hay que destacar que la Instrucción no indica expresamente que cuando se superen esas 36 amasadas sea preceptivo pasar a este caso, de lo que se deduce que será el técnico el que decide cuál prefiere adoptar: bien el anterior Caso 2 o bien éste que nos ocupa.

Se establece como función de aceptación que el menor valor de los resultados obtenidos en las amasadas controladas de un lote, menos el coeficiente K_3 (de la Tabla 86.5.4.3.b) multiplicado por el valor de la desviación típica muestral correspondiente a las últimas 35 amasadas debe

ser igual o superior al de la resistencia característica de proyecto:

$$f(x_{(1)}) = x_{(1)} - K_3 S^{*35} \geq f_{ck}$$

Obsérvese que en el Caso 3 se opera partiendo del valor de la menor de las amasadas que componen el lote y no con la media, como en el anterior. En cambio, el coeficiente K_3 es menos restrictivo que K_2 . En cuanto a la dispersión de resultados, se tiene en cuenta la desviación de las 35 últimas amasadas, en vez del recorrido del lote en estudio.

Ejemplo 1:

$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ Amasadas controladas en el lote nº 13: 28, 30 y 32 N/mm^2

Menor valor de las amasadas del lote, $x_{(1)} = 28 \text{ N/mm}^2$

Según Tabla 86.5.4.3.b, $K_3 = 0,85$

A continuación hay que calcular la desviación típica muestral de las últimas 35 amasadas, definida como

$$S^{*35} = \sqrt{\frac{1}{34} \sum_{i=1}^{35} (x_i - \bar{x})^2}$$

Supongamos que, realizada esa operación, el valor resultante fuera $S^{*35} = 3,2$

Función de aceptación = $28 - 0,85 \cdot 3,2 = 25,3 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow$ Aceptación

Comentarios: Con los valores propuestos que incluyen una desviación típica S^{*35} razonablemente buena a juicio de los propios fabricantes consultados, se ha obtenido un resultado similar al del ejemplo 1 del Caso 2.

Ejemplo 2:

$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

Amasadas controladas en el lote nº 14: 26, 28 y 30 N/mm^2

Menor valor de las amasadas del lote, $x_{(1)} = 26 \text{ N/mm}^2$ Según Tabla 86.5.4.3.b, $K_3 = 0,85$

Supongamos la misma desviación típica muestral que en el ejemplo anterior, $S^{*35} = 3,2$

Función de aceptación = $26 - 0,85 \cdot 3,2 = 23,3 \text{ N/mm}^2 < f_{ck} \rightarrow$ NO Aceptación

Comentarios: Al igual que ocurría en el ejemplo 2 del Caso 2, al haberse obtenido menores valores en las resistencias de las amasadas de este lote, el resultado final está por debajo del admisible y, por tanto, el lote no sería aceptable.



CASO 4: HORMIGONES CON DOR TRANSITORIO

Transitoriamente, hasta el 1 de julio de 2011, podrá considerarse el caso de hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido con un nivel de garantía conforme al apartado 6 del Anejo nº 19 de la Instrucción. Hay que hacer notar que la EHE-08 no lo denomina Caso 4 sino que, simplemente, lo incorpora tras los anteriores.

Como criterio de aceptación a emplear se establece que el valor medio de los resultados obtenidos en las amasadas de un lote, menos 1,645 por el valor de la desviación típica → del hormigón suministrado debe ser igual o superior a la resistencia característica de proyecto:

$$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1,645 \sigma \geq f_{ck}$$

Ejemplo 1:

$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

Amasadas controladas en el lote nº 1: 28, 30 y 32 N/mm^2

Valor medio de las amasadas del lote: 30 N/mm^2

Supongamos que la desviación típica σ

certificada por el fabricante fuera 3 N/mm^2

Función de aceptación = $30 - 1,645 \cdot 3 = 25$

$\text{N/mm}^2 = f_{ck} \rightarrow$ Aceptación

Comentarios: En este ejemplo, el resultado coincide con la resistencia característica especificada en proyecto f_{ck} y, por consiguiente, el lote se acepta.

Ejemplo 2:

$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

Amasadas controladas en el lote nº 2: 26, 28 y 30 N/mm^2

Valor medio de las amasadas del lote: 28 N/mm^2

Desviación típica $\sigma = 3 \text{ N/mm}^2$

Función de aceptación = $28 - 1,645 \cdot 3 = 23$

$\text{N/mm}^2 < f_{ck} \rightarrow$ NO Aceptación

Comentarios: En este otro ejemplo al reducirse la media de las amasadas, el resultado final queda por debajo del admisible, por lo que el lote no sería aceptable.

4. DECISIONES DERIVADAS DEL CONTROL

La Dirección Facultativa aceptará el lote, en lo relativo a su resistencia, cuando se cumpla el criterio de aceptación que se haya seleccionado, según la modalidad de control adoptada.

Como se ha expuesto, hay que considerar la excepcionalidad del hormigón que disponiendo de distintivo conforme al apartado 5.1 del Anejo nº 19, no cumple el criterio de aceptación definido para el control de identificación. Solamente en esta circunstancia, se facilita la "segunda oportunidad" comentada y desarrollada en el Caso 1.

Para los restantes casos, la Dirección Facultativa, sin perjuicio de las sanciones que fueran contractualmente aplicables y conforme al pliego de prescripciones técnicas particulares, valorará la aceptación, refuerzo o demolición de los elementos construidos con el hormigón del lote a partir de la información obtenida mediante la aplicación gradual de los siguientes procedimientos:

a) En primer lugar, para comprobar si la resistencia característica del hormigón real de la estructura se corresponde con la especificada en proyecto, la Dirección Facultativa dispondrá la realización de ensayos de información complementaria recogidos en el apartado 86.8:

- Rotura de probetas conservadas en condiciones parecidas a las del hormigón que se quiere estimar.
- Rotura de probetas testigo de hormigón endurecido.
- Métodos no destructivos fiables.

b) Si los ensayos de información confirman los resultados obtenidos en el control, la Dirección Facultativa encargará la realización de un estudio específico de la seguridad de los elementos afectados por el hormigón del lote sometido a aceptación. Se comprobará que es admisible el nivel de seguridad que se obtiene con los valores de resistencia del hormigón realmente colocado en la obra. Para ello, deberá estimarse la resistencia característica del hormigón a partir de los resultados del control o, en su caso, a partir de ensayos de información complementaria.

c) En su caso, la Dirección Facultativa podrá ordenar el ensayo del comportamiento estructural del elemento realmente construido, mediante la realización de pruebas de carga.



La Dirección Facultativa podrá también considerar los resultados obtenidos en ensayos realizados sobre probetas adicionales, siempre que se hubieran fabricado en la misma toma de muestras que las de control y procedan de las mismas amasadas que las que se están analizando.

En el control indirecto de la resistencia del hormigón, si se obtienen resultados no conformes, la Dirección Facultativa valorará la aceptación a partir de la información del control de producción del hormigón, facilitada por el suministrador. Todo ello sin perjuicio de las penalizaciones contractuales y de lo previsto en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

**Almudena Jardón Giner y Gustavo Furest
Aycart Colegios Oficiales de Aparejadores,
Arquitectos Técnicos e Ingenieros de
Edificación de Valencia y Alicante**