

Documento:



Eh-9

► **UNIDAD CONSTRUCTIVA**

**CONTROL DE LA RESISTENCIA
DEL HORMIGÓN FRESCO**

► **DESCRIPCIÓN**

Proceso metodológico, matemático y documental para proceder a la determinación de la resistencia a compresión del hormigón en masa en estado fresco, según se prescribe en la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08).

► **DAÑO**

FALTA DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

► **ZONAS AFECTADAS DAÑADAS**

Todas las estructuras realizadas con ese hormigón

► **INDICACIONES PARA EL CONTROL DE CALIDAD**

Según la EHE-08, la Dirección Facultativa (DF) –en nombre de la Propiedad–, tiene la obligación de comprobar la conformidad de los materiales y sistemas en función de lo establecido en el proyecto y la normativa vigente. Así, la DF durante la ejecución de las obras posibilitará que se efectúen los controles siguientes: control de la conformidad de los productos que se suministren a la obra, control de la ejecución de la estructura y control de la estructura terminada. De igual forma, y en uso de sus atribuciones, tendrá las siguientes obligaciones: aprobar un programa de control de calidad para la obra (que desarrolle el plan de control incluido en el proyecto) y velar por el correcto desarrollo de las actividades de control; estos aspectos –en el ámbito de la edificación– recaerán normalmente en el Director de Ejecución de la Obra (DEO).

La Propiedad encomendará la realización de los ensayos a un Laboratorio de Control de Calidad (LCC). Asimismo, podrá encargar a una Entidad de Control de Calidad (ECC) actividades de asistencia técnica relativas al control de proyecto, de los productos o de los procesos de ejecución empleados en la obra. Los LCC y las ECC tendrán que ser independientes respecto al resto de los agentes involucrados en la obra y deberán disponer de la correspondiente acreditación oficial según la reglamentación específica aplicable que otorgan las Administraciones Autonómicas. En términos generales, el control de recepción de los productos y el control de ejecución serán cometidos propios del DEO, si bien los mismos podrán ser realizados también de manera complementaria por una ECC. Por otra parte, en el caso de que un laboratorio no pudiese realizar con sus medios alguno de los ensayos establecidos para el control, podrá subcontratarlo a un segundo laboratorio, previa aprobación de la Dirección Facultativa. En obras de la Administración Pública, se registrará por la Ley de Contratos vigente en referencia a la subcontratación.

A la hora de la realización de los ensayos, los LCC facilitarán sus resultados acompañados de la indicación de la ubicación de la muestra y la fecha de realización del mismo. Copia de los citados resultados deberá facilitarse al agente autor del encargo, y en todo caso, al DEO.

Todas las actividades del control realizado quedarán documentadas en su correspondiente registro (físico o electrónico), de forma que se puedan consultar y constatar todas las comprobaciones y actas de ensayo. Estos archivos deberán ser incluidos en la documentación final de obra.

La conformidad de la resistencia de un hormigón se comprobará durante su recepción en obra, pudiendo incluir su comportamiento en relación a la durabilidad u otra característica que se establezca. Este control de recepción incluirá también las necesarias comprobaciones de carácter documental. La toma de muestras se realizará en el punto de vertido del hormigón, entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ del proceso de descarga. La comprobación de las especificaciones se llevará a cabo a la edad de 28 días mediante la determinación del valor medio de rotura de 2 o más probetas.



Fig. 1: Llegada y desmoldeo de probetas de hormigón en un LCC



Fig. 2: Proceso de refrentado de probetas con mortero de azufre

La resistencia del hormigón se comprobará mediante ensayos de resistencia a compresión efectuados sobre probetas fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-3. Por su parte, la docilidad del hormigón se comprobará mediante la determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del asentamiento, según UNE EN 12350-2. En el caso de hormigones autocompactantes la evaluación de la fluidez se hará con el ensayo de escurrimiento (UNE 83.361) o por embudo en V (UNE 83.364).

En España, las probetas que usamos son de tipo cilíndrico (de 15x30cm) si bien también pueden realizarse de forma cúbica (de arista 10 o 15cm). En el caso de las primeras, será necesario refrentarlas o pulirlas cuando sus irregularidades superficiales sean superiores a 0,1mm o que presenten desviaciones respecto al eje de la probeta que sean mayores de 0,5°. Una vez fabricadas las probetas, se mantendrán en el molde, convenientemente protegidas, durante al menos 16 horas y nunca más de tres días. Durante su permanencia en la obra no deberán ser golpeadas ni movidas de su posición y se mantendrán a resguardo del viento y del sol directo.

❖ Comprobación documental

Con la entrega de cada amasada de hormigón, el suministrador proporcionará una hoja de suministro (coloquialmente conocido como 'albarán del hormigón') la cual debería ser comprobada por el responsable que determinara la empresa constructora, para cotejar así que los datos contractuales, técnicos y normativos que ahí figuran son correctos. Un seguimiento de que se realiza esta sistemática de control documental sería deseable que fuera exigido por parte de la DF, así como la comprobación directa de algunos casos por parte de la misma, coincidiendo con el proceso de ejecución que lleve a cabo. La información que debe figurar esa hoja de suministro, como mínimo, es la que a continuación se detalla:

- Identificación del suministrador
- 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 (*resistencia, consistencia, tamaño máximo de árido y tipo de ambiente*)
- Dosificación real del hormigón (*contenido de cemento, adiciones y aditivos, así como relación agua/cemento*)
- 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

Además, en el caso de hormigones que no estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (DOR), el suministrador de hormigón deberá presentar a la DF una copia del certificado de dosificación al que hace referencia el Anejo 22 de la EHE-08, así como del resto de los ensayos previos y característicos, los cuales no deberán tener una antigüedad mayor de seis meses.

❖ Tipos de ensayos

➤ Ensayos previos (de laboratorio): Su objetivo es demostrar con ensayos realizados sobre hormigones fabricados en laboratorio, que es posible conseguir un hormigón que posea las condiciones de resistencia y durabilidad que se exigen en proyecto. Este tipo de ensayos no serán necesarios, salvo en aquellos casos en los que no haya experiencia previa que pueda justificarse documentalmente del empleo de hormigones con los materiales, dosificación y proceso de ejecución que estuvieran previstos en una obra concreta.

➤ Ensayos característicos de resistencia (de planta): Tienen por objeto comprobar, antes del comienzo del suministro, que las características del hormigón que se va a colocar en la obra no son inferiores a las previstas en el proyecto. Este tipo de ensayos no serán necesarios, salvo que no pueda justificarse documentalmente el empleo previo en otros casos, de hormigones con los materiales, dosificación y procesos de ejecución como los que están previstos para la obra.

➤ Ensayos de conformidad de la resistencia durante el suministro: Tienen la finalidad de comprobar que la resistencia del hormigón realmente suministrada a la obra es conforme a la resistencia característica especificada en el proyecto y de acuerdo con los criterios de seguridad y garantía de la EHE-08. Hay 3 modalidades posibles:

- ❑ Control al 100 por 100. Puede ser de aplicación a cualquier estructura, si se adopta antes del inicio del suministro del hormigón. Se determina la resistencia de todas las amasadas ($f_{c,real}$).
- ❑ Control Indirecto. Solo podrá aplicarse en hormigones con DOR, en edificios con un máximo de dos plantas y luces de 6m, siempre que el ambiente sea I o II y que la resistencia $f_{cd} \leq 10N/mm^2$.
- ❑ Control Estadístico. Esta modalidad de control es la de aplicación general a todas las obras de hormigón estructural. Es la que más se utiliza de entre las tres existentes (Artº 86.5.4 de EHE-08).

▶ CONTROL ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN DURANTE EL SUMINISTRO

❖ Configuración de los lotes de control para los ensayos

Antes del inicio del suministro del hormigón, la obra se dividirá en lotes¹ de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1. En obras pequeñas, el número de lotes deberá ser al menos 3, en cuyo caso –en la medida de lo posible– se intentará que cada lote corresponda a cada una de las columnas de la citada tabla (A, B o C).

A la hora de configurar los lotes se tendrán en cuenta estos criterios:

- Todas las amasadas² de un lote procederán del mismo suministrador de hormigón, y además, estarán elaboradas con los mismos materiales componentes y tendrán la misma dosificación nominal.
- No se mezclarán en un lote hormigones que pertenezcan a columnas distintas de la referida tabla.

De igual manera, para una distribución de los lotes de forma eficaz y entendible desde el punto de vista constructivo³, es conveniente también considerar los siguientes principios, aun cuando suponga un ligero incremento del número de lotes estrictamente legal:

- Adecuación a la configuración geométrica y volumétrica de la obra (nº de edificios, proporcionalidad del tamaño de unas plantas respecto a otras, sistemas constructivos existentes –para permitir tener resultados independientes unos de otros–, conocimiento a priori del número de suministradores de hormigón –para su ubicación y delimitación por zonas de manera estricta y controlada–, etc.).
- Evolución y secuencia de la ejecución de los distintos elementos estructurales, lo que permitirá que no se sobrepasen los plazos de tiempo de hormigonado u otros límites establecidos en la Tabla 1.

TAMAÑO MÁXIMO DE LOS LOTES DE CONTROL DE LA RESISTENCIA						
Límite superior	TIPOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES					
	Elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión (pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc.) -A-		Elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a flexión (vigas, forjados de hormigón, tableros de puente, muros de contención, etc.) -B-		Macizos: zapatas, estribos de puente, bloques, etc. -C-	
	sin DOR	con DOR	sin DOR	con DOR	sin DOR	con DOR
Volumen de hormigón	100m ³	500m ³	100m ³	500m ³	100m ³	500m ³
Tiempo de hormigonado	2 semanas	6 semanas	2 semanas	6 semanas	1 semana	5 semanas
Superficie construida	500m ²	2.500m ²	1.000m ²	5.000m ²	---	---
Número de plantas	2	10	2	10	---	---

Tabla 1

❖ Realización de los ensayos

En función de la resistencia característica que tengamos especificada en nuestro proyecto y de si el hormigón que vamos a verter en la obra en cuestión tiene o no un distintivo de calidad oficialmente reconocido, determinaremos el número de amasadas controladas por cada lote (N); lo cual conlleva a establecer también el número de series⁴ de probetas por cada lote de control. En gran parte de las ocasiones ($f_{ck}=25$ y plantas suministradoras con hormigón en 'otros casos') utilizaremos tres⁵ amasadas (N=3), según indica la Tabla 2.

Por tanto, la conformidad del lote se comprobará a partir de los valores medios de los resultados obtenidos sobre las dos probetas (n_{28}) tomadas para cada una de las amasadas controladas.

¹ **Lote de material:** cantidad de producto que se somete a recepción en su conjunto.

² **Amasada o partida:** cantidad de producto de la misma designación y procedencia contenido en una misma unidad de transporte (contenedor, cuba, camión, etc.) y que se recibe en la obra o en el lugar destinado para su recepción.

³ **Adecuación constructiva de los lotes:** La adaptación de los lotes es importante porque facilita la toma de decisiones en caso de que los valores de rotura de las probetas obtengan resultados inferiores a los especificados y hubiera que quedar en cuarentena una zona, o incluso tener que reforzar o llegar a la demolición.

⁴ **Serie o familia de probetas:** Antes de la EHE-08, la determinación de la resistencia a 28 días del hormigón había que efectuarla mediante los valores medios de rotura de 3 probetas a 28 días. Actualmente solo es obligatorio hacerlo con 2 determinaciones ($n_{28}=2$). A estas probetas hay que sumarles otras 2 que se fabrican conjuntamente con ellas y que se rompen a 7 días ($n_7=2$); por tanto, podemos establecer que el nº de probetas de una serie o familia sería de 4 en total. Como se sabe, el sentido de romper probetas a 7 días es para tener una valoración genérica previa de la resistencia de ese hormigón cuando llegue a su edad adulta. Sin bien depende de muchos factores, podemos considerar -grosso modo- que el valor debe rondar el 80% del de 28 días (de forma orientativa). Esta información puede ser de ayuda a la DF para tomar ciertas medidas decisorias y ejecutivas en la obra en caso de que los valores sean muy bajos y se sospeche que será complicado que durante los 21 días restantes la resistencia pueda remontar lo suficiente para llegar al valor esperado.

⁵ **Número de amasadas habituales:** Con la promulgación de la actual norma, se intentó fomentar que entre las plantas suministradoras de hormigón se optara voluntariamente por los distintivos de calidad, reduciendo el valor de N. Por el contrario, cuando esto no ocurría se aumentó éste, de tal forma que para hormigones de $f_{ck}=25$ se pasó de N=2 a N=3, aspecto que en la práctica supuso un encarecimiento de los controles de realizar, dado que comercialmente en el sector son más habituales los hormigones sin DOR.

NÚMERO DE AMASADAS DE CADA LOTE DE HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA		
Resistencia característica especificada en proyecto f_{ck} (N/mm ²)	Hormigones con distintivos de calidad oficialmente reconocidos con nivel de garantía conforme con el apartado 5.1 del Anejo 19 de EHE-08	Otros casos
$f_{ck} \leq 30$	$N \geq 1$	$N \geq 3$
$35 \leq f_{ck} \leq 50$	$N \geq 1$	$N \geq 4$
$f_{ck} > 50$	$N \geq 3$	$N \geq 6$

Tabla 2

❖ **Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón**

Para que todos los agentes implicados tengan conocimiento claro de las ‘reglas de juego’ que se aplicarán a una obra, debe establecerse y conocerse a priori todos los parámetros que determinarán el cálculo de las *resistencias finales*⁶ del hormigón según los criterios de aceptación. Por esta razón, antes de iniciarse el suministro del hormigón, la DF comunicará al constructor, y éste al suministrador, el criterio de aceptación aplicable. De esta manera, la formulación matemática a aplicar para la aceptación de los lotes se hará según lo expresado en la Tabla 3. Como se ve, por tanto, no se acepta o rechaza en su conjunto el hormigón vertido en una obra, sino que debe hacerse lote a lote.

En obras de tamaño medio o grande, y en las que se viertan hormigones sin DOR, lo habitual será que utilicemos los criterios de aceptación 2 y 3. Así, para $N=3$, llegaremos a 36 amasadas cuando se configuren 12 lotes, en los cuales se aplicará la formulación del caso 2. A partir de aquí (en 37ª amasada –lote 13 en adelante–) se aplicará la formulación del caso 3.

Para que el proceso de control del hormigón sea claro, es preciso que la planificación de los lotes esté bien organizada y que se sepa en todo momento a cuál lote pertenece cada parte de la obra (ya sean, pilares, forjados, zapatas, etc...). Dentro de cada lote, también hay que saber a qué amasada pertenecen cada uno de ellas, para que los resultados de resistencias se puedan extrapolar (en lo positivo o negativo) al resto del volumen de hormigón existente, pero que no fue controlado directamente. Una forma interesante de complementar esta información es señalar en los planos las áreas y fechas en que se ha llevado a cabo cada proceso de hormigonado.

Fig. 3: Vista de una hoja de suministro de hormigón. En ella se dan distintas carencias de identificación y control del proceso.

⁶ **Resistencia final:** Denominación utilizada por el autor de este Documento para referirse al valor de resistencia del hormigón que resulta de la aplicación de una de las funciones de aceptación previstas en la 'Tabla 86.5.4.3.a' de la EHE-08 (control estadístico). Estas funciones de aceptación son la forma de cálculo actual que ha sustituido al concepto de 'resistencia estimada' que se utilizaba en versiones anteriores de la Instrucción de Hormigón Estructural (valor de la operación algebraica que se compara con la resistencia característica para decidir la aceptación/rechazo, en función de los criterios definidos en la norma).

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL HORMIGÓN EN LA MODALIDAD DE CONTROL ESTADÍSTICO
Casuísticas de aplicación de los criterios de aceptación según el de Caso de Control

Caso 1	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 EHE-08
Caso 2	Hormigones sin distintivo
Caso 3	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

Tipo de control	Caso de control estadístico	Criterio de aceptación	Observaciones
Control de identificación	1	$x_i \geq f_{ck}$	---
Control de recepción	2	$f(\bar{x}) = \bar{x} - K_2 r_N \geq f_{ck}$	---
	3	$f(x_{(1)}) = x_{(1)} - K_3 s_{35}^* \geq f_{ck}$	A partir de la amasada 37ª $3 \leq N \leq 6$. A las amasadas anteriores a la 37ª, se les aplicará el criterio nº2

Donde :

$f(\bar{X}); f(X_i)$ Funciones de aceptación

X_i Cada uno de los valores medios obtenidos en las determinaciones de resistencia para cada amasada

\bar{X} Valor medio de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

σ Valor de la desviación típica correspondiente a la producción del tipo de hormigón suministrado, en N/mm², y certificado en su caso por el distintivo de calidad

δ Valor del coeficiente de variación de la producción del tipo de hormigón suministrado y certificado en su caso por el distintivo de calidad

f_{ck} Valor de la resistencia característica especificada en el proyecto

$X_{(1)}$ Valor mínimo de los resultados obtenidos en las últimas N amasadas

$X_{(N)}$ Valor máximo de los resultados obtenidos en las últimas N amasadas

r_N Valor del recorrido muestral definido como $r_N = x_{(N)} - x_{(1)}$

s Valor de la desviación típica poblacional, definida como

$$s_N = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

s_{35}^* Valor de la desviación típica muestral, correspondiente a las últimas 35 amasadas

K_2 y K_3 Coeficientes que toman los valores reflejados en el siguiente cuadrante

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 3

❖ Cálculo de las resistencias finales de los lotes del hormigón

A título de recordatorio, hay que indicar que el valor de rotura de las probetas a la edad de 28 días no se ha de comparar directamente con el valor de resistencia prevista en proyecto (para la aceptación o rechazo del hormigón), sino que es necesario proceder previamente al cálculo estadístico según la Tabla 2.

A continuación, se hace un ejemplo del cálculo de las funciones de aceptación de la resistencia del hormigón en una vivienda unifamiliar, para que el lector observe el procedimiento a implementar. Se proponen los datos que deben figurar en este cuadrante, el cual está dividido en 4 grupos de información: conformación de lote, suministro del producto, datos del ensayo y criterio de aceptación (Tabla 4).

El número de lotes ha sido el mínimo legal: 3. Dado que el hormigón es sin DOR, el total de series de probetas que ha sido necesario llevar a cabo es 9 (3x3); con DOR, las series hubieran sido solo 3 (3x1).

Calculamos el valor resultante de esta función de aceptación para cada uno de los 3 lotes planteados (al que denominaremos en este Documento como 'resistencia final' [F_{final}]). Esta resistencia final se obtiene, en nuestro caso, aplicando el 'caso de control estadístico 2' a través del promedio de las 3 resistencias medias ($F_{\bar{28}}$) de cada una de las 3 amasadas que forman cada uno de los lotes ($N=3$), el recorrido muestral (r_N) y el valor de K (en este caso, $K_2=1,02$).

Conformación de lote			Suministro del producto						
Nº Lote	Capítulo	Tipo estructural	Nombre del suministrador	Posesión de D.O.R.	Resist. proyecto	Núm. de amasadas	Fecha	Elemento suministrado	Ref. hoja suministro
L1	Cimentación	C	Preparados Industriales Agla	NO	25	N=3	22/01/18	zapatas lateral izq.	2345
							24/01/18	zapatas lateral drc.	2474
							26/01/18	cim.esc. y foso asc.	2508
L2	Estructura (pilares)	A	Hormigones Montijo	NO	25	N=3	01/02/18	pilares nave poster.	5125
							08/02/18	pilares pta. baja	5273
							15/02/18	pilares pta. alta	5384
L3	Estructura (forjados)	B	Hormigones Montijo	NO	25	N=3	06/02/18	Fdo. F1 antihumd.	5452
							13/02/18	Fdo. F2 techo baja	5482
							20/02/18	Fdo. F3 techo alta	5498

Nº de Lote	Datos del ensayo						Criterio de aceptación		
	Código ensayo	F ₇₋₁ (N/mm ²)	F ₇₋₂ (N/mm ²)	F ₂₈₋₁ (N/mm ²)	F ₂₈₋₂ (N/mm ²)	F ₂₈ (N/mm ²)	Caso de control	Resistencia Final F _{final} (N/mm ²)	Aceptación o Rechazo
L1	A1835	22,17	21,03	27,89	28,42	28,16	2	24,51 ✖	No aceptado
	A1858	25,02	26,31	31,88	33,03	32,45			
	A1873	27,18	30,92	34,33	36,80	35,57			
L2	2574M	24,37	25,09	30,71	31,49	31,10	2	27,79 ✔	Aceptado
	2587M	23,88	24,93	28,70	29,89	29,30			
	2592M	22,18	23,04	28,35	29,85	29,10			
L3	2612M	28,01	30,83	36,95	39,05	38,00	2	25,68 ✔	Aceptado
	2632M	22,92	24,75	29,77	31,02	30,40			
	2654M	25,03	26,48	31,03	32,76	31,90			

Diseño y propuesta: Manuel Jesús Carretero

Tabla 4

Como puede apreciarse por los resultados obtenidos, de los tres lotes, el primero (L1=24,51N/mm²) no puede aceptarse al obtener un valor por debajo de 25N/mm². Si bien cada uno de los 6 valores individuales de rotura a 28 días –así como sus 3 medias– están por encima de 25N/mm², el modo de cálculo de la función de aceptación penaliza la dispersión existente entre los valores medios a 28 ($F_{\bar{28}}$) y el resultado final obtenido no supera el listón mínimo exigido.

A partir de este momento, este lote deberá ser analizado. Consultar la EHE-08, en su Artº.86.7 (decisiones derivadas del control) y en su Artº.86.8 (ensayos de información complementaria del hormigón).

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT	
AUTOR ● Manuel Jesús Carretero Ayuso	Calle del Jazmín, 66 28033 Madrid
COLABORADOR ● Alberto Moreno Cansado	www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES
● Carretero-Ayuso, Manuel Jesús (Fig.: 1, 2, y 3).

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA
● Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) ● UNE 83.361 ● UNE 83.364 ● UNE-EN 12309-2 ● UNE EN 12350-2

CONTROL:	ISSN: 2340-7573	Data: 17/1	Ord.: 11	Vol.: E	Nº: Eh-9	Ver.: 2
-----------------	-----------------	------------	----------	---------	----------	---------

NOTA: Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Entidad
Colaboradora:

bankinter.

Nota:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente