

Documento:



Eh-9

UNIDAD CONSTRUCTIVA

CONTROL DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN SUMINISTRADO

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 el Código Estructural.

DAÑO

DEFICIENTE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.

ZONAS AFECTADAS

Los elementos estructurales afectados por ese hormigón.



Fig. 1: Desmoldeo de probetas de hormigón en un LCC



Fig. 2: Proceso de pulido de probeta de hormigón

INDICACIONES PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Según el Código Estructural, 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. En obras de la Administración Pública, se regirá 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 con la durabilidad u otra característica que se establezca. Este control de recepción incluirá también las necesarias comprobaciones de carácter documental.

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.

La toma de muestras se realizará en el punto de vertido del hormigón, entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ del proceso de la descarga.

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, se llevará a cabo lo indicado en el artículo 33 del Código Estructural. Se obtiene como el valor de una única determinación conforme a las normas UNE-EN 12350-8-9-10-11 y 12 sobre la misma muestra de hormigón.

La resistencia del hormigón se comprobará mediante ensayos de resistencia a compresión realizados según la norma UNE-EN 12390-3 efectuados sobre probetas fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-2.

Todos los métodos de cálculo y las especificaciones del Código Estructural se refieren a características del hormigón endurecido obtenidas mediante ensayos sobre probetas cilíndricas de 150x300mm de diámetro y altura nominales, con tolerancias conformes a lo especificado en la norma UNE-EN 12390-1. No obstante, para la determinación de la resistencia a compresión, podrán emplearse también:

- probetas cúbicas de 100 mm de dimensión nominal con tolerancias conformes a lo especificado en la norma UNE-EN 12390-1, en el caso de hormigones con $f_{ck} \geq 50 \text{ N/mm}^2$ y siempre que el tamaño máximo del árido sea inferior a 12 mm. Podrán utilizarse estas probetas, siempre que el laboratorio tenga la aceptación de la dirección facultativa y disponga de coeficientes de conversión obtenidos a partir de correlaciones fiables con probetas cilíndricas de 150x300 mm.
- probetas cúbicas de 150 mm de dimensión nominal con tolerancias conformes a lo especificado en la norma UNE-EN 12390-1, en cuyo caso los resultados, a efectos de control de calidad, deberán transformarse según la siguiente expresión:

$$f_c = \lambda_{cil,cub15} f_{c,cúbica}$$

Donde:

f_c Resistencia a compresión, en N/mm^2 , referida a probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura nominales.

$f_{c,cúbica}$: Resistencia a compresión, en N/mm^2 , obtenida a partir de ensayos realizados en probetas cúbicas de 150 mm.

$\lambda_{cil,cub15}$: Coeficiente de conversión.

Coeficiente de conversión (Tabla 57.3.2 del Código Estructural)	
Resistencia en probeta cúbica, f_c (N/mm^2)	$\lambda_{cil,cub15}$
$f_c < 60$	0,90
$60 \leq f_c < 80$	0,95
$f_c \geq 80$	1,00

❖ Comprobación documental durante el suministro del hormigón

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 control de ejecución que lleve a cabo. La información que debe figurar en esa hoja de suministro, como mínimo, es la que a continuación se detalla, según el anejo 4 del Código Estructural:

- 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 por propiedades (*resistencia, consistencia, tamaño máximo de árido y tipo de ambiente*).
- Designación por dosificación (*contenido de cemento en kg/m^3 , consistencia, tamaño máximo del árido y ambiente*)
- Dosificación real del hormigón que incluirá, al menos:
 - en los ambientes XC3, XC4, XD, XS, XF, XA y XM se incluirá la referencia recogida en el apartado 13 de la declaración responsable contenida en el apartado 1.1.6 del anejo 4 del Código Estructural,
 - tipo y contenido de cemento,
 - relación agua/cemento
 - contenido de adiciones, en su caso,
 - tipo y cantidad de aditivos,
 - identificación completa 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, así como del resto de los ensayos previos y característicos, los cuales no deberán tener una antigüedad mayor de seis meses.

❖ Modalidades de control de la conformidad de la resistencia del hormigón en el suministro

El control de la resistencia tiene la finalidad de comprobar que la resistencia del hormigón realmente suministrado a la obra es conforme a la resistencia característica especificada en el proyecto y de acuerdo con los criterios de seguridad y garantía del Código Estructural.

En el proyecto se podrá adoptar una de las siguientes modalidades de control:

- Control Estadístico. Esta modalidad de control es la de aplicación general a todas las obras de hormigón estructural.
- Control al 100 por 100. Esta modalidad de control se aplica a cualquier estructura, siempre que se adopta antes del inicio del suministro del hormigón. Se determina la resistencia de todas las amasadas ($f_{c,real}$).
- Control Indirecto. Esta modalidad solo podrá aplicarse para hormigones en masa o armados en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, en elementos de edificios de viviendas con un máximo de dos plantas y luces inferiores a 6m, de hasta cuatro plantas que trabajen a flexión, con luces inferiores a 6 metros y en obras de ingeniería de pequeña importancia.

CONTROL ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN DURANTE EL SUMINISTRO

❖ Configuración de los lotes de control de la resistencia

Antes del inicio del suministro del hormigón, la obra se dividirá en lotes (1) de acuerdo con lo indicado en la tabla 1. En obras pequeñas, el número de lotes deberá ser al menos tres correspondientes a cimentación, elementos sometidos a compresión y elementos sometidos a flexión.

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

- Todas las amasadas (2) de un lote procederán del mismo suministrador, 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 constructivo (3), 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 siguiente.

(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.

Tabla 1. Tamaño máximo de los lotes de control de la resistencia y nº de amasadas a ensayar por lote (N). EDIFICACIÓN

Tipo de elemento	Volumen de hormigón	Tiempo de hormigonado	Nº de elementos o dimensión	Nº de amasadas a controlar en cada lote Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	Nº de amasadas a controlar en cada lote Hormigón con Distintivo oficialmente reconocido
Cimentaciones con elementos de volumen superior a 200 m ³	V. vertido de forma continua	1 semana	1 elemento	$N \geq V/35$ $N \geq 3$	$N \geq V/105$ $N \geq 1$
Cimentaciones superficiales con elementos de volumen inferior a 200 m ³	100 m ³	1 semana		$N \geq 3$	$N=1$
Vigas, forjados, losas para pavimentos y otros elementos trabajando a flexión	100 m ³	2 semanas	1000 m ² de superficie construida 2 plantas (**)	$N \geq 3$	$N=1$
Losa superior o inferior en marcos	200 m ³ V. vertido de forma continua	2 días	totalidad del elemento (losa superior o losa inferior)	$N \geq V/30$ $N \geq 3$	$N=1$
Pilares y muros portantes de edificación	100 m ³	2 semanas	500 m ² de superficie construida (*) 2 plantas (**)	$N \geq 3$	$N=1$

(*) En el caso de que el número de amasadas necesarias para ejecutar los pilares de un lote sea igual o inferior a tres, el límite de 500 m² se podrá elevar a 1000 m².

(**) En el caso de que un lote esté constituido por elementos de dos plantas, se deberán tener resultados de ambas plantas.

(***) A los efectos de la definición de lotes, se entiende por fase aquella parte de la estructura que se hormigona de una sola vez, de acuerdo con lo previsto en el proyecto y de manera que transcurra el tiempo suficiente para que desarrolle la resistencia requerida antes de que se ejecute la siguiente fase.

❖ Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón

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 2. 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 hasta 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, zapatas, pilares, forjados, etc...). Dentro de cada lote, también hay que saber a qué amasada pertenecen cada uno de ellos, 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.

Tabla 2. Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón

Casuísticas de aplicación de los criterios de aceptación según el de caso de Control

Caso 1	Hormigones con la dispersión certificada dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido
Caso 2	Hormigones sin distintivo de calidad oficialmente reconocido suministrados de forma continua por la misma central de hormigón preparado en los que se controlan en la obra más de treinta y seis amasadas del mismo tipo de hormigón.
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.

Caso de control estadístico	Criterio de aceptación	Observaciones
1	$f(\bar{x}) = \bar{x}(1 - 1.66\delta^*) \geq f_{ck}$	Hormigones con la dispersión certificada dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido
2	$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1.66s_{35}^* \geq f_{ck}$	Se han controlado más de 36 amasadas
3	$f(x_1) = x_1 K_n \geq f_{ck}$	Hasta la 36ª amasada

donde:

$f(\bar{x}); f(x_1)$	Funciones de aceptación
\bar{x}	Valor medio de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas por lote de obra.
x_1	Valor mínimo de los resultados obtenidos en las últimas N amasadas controladas del lote de obra.
f_{ck}	Valor de la resistencia característica especificada en el proyecto.
K_n	Coefficiente que toma los valores reflejados en la tabla 3.
s_{35}^*	Valor de la desviación típica muestral, correspondiente a las últimas 35 amasadas.

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

δ^* Coeficiente de variación certificado.

Coeficiente	Número de amasadas controladas (N)								
	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
K_n	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	1

Tabla 3. Coeficiente K_n para criterio de aceptación hasta la 36ª amasada

❖ Cálculo de las resistencias estimadas 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 previsto en proyecto para la aceptación o rechazo del hormigón, siendo necesario proceder previamente al cálculo estadístico según la tabla 2.

A continuación, se realiza un ejemplo de una estructura objeto del control de una vivienda unifamiliar aislada.

Se trata de una edificación de dos plantas (baja y primera) destinadas a vivienda. La estructura está compuesta por una losa de cimentación, pilares y forjados unidireccionales, el hormigón utilizado es H, la cimentación siendo los datos para el control, los siguientes

Control estadístico						
Elemento estructural	Medición	Tipo de hormigón	Límite considerado	Nº de lotes	Denominación del lote	Nº de tomas/lote N=3
Cimentación (Losa armada)	81 m ³	HA-25/F/20/xC2	100 m ³	1	LC1	3
Pilares	560 m ²	HA-25/F/20/xC2	2 plantas	1	LP2	3
Forjado 1 y 2	390+170 m ²	HA-25/F/20/xC2	1.000 m ²	1	LF3	3

Tabla 4. Lotificación del control de hormigones sin distintivo de calidad (DCOR)

El número de lotes ha sido el mínimo establecido: 3. Dado que el hormigón es sin DOR, el total se series de probetas es 9 (3x3); con DOR, las series hubieran sido de 3 (3x1).

Se proponen los datos que deben figurar en este cuadrante, el cual está dividido en tres grupos de información: datos del ensayo y suministro, resultados de rotura y criterios de aceptación (Tabla 5).

Datos de ensayo y suministro									
Nº Lote	Toma y nº muestra	Localización	Fabricante	Posesión de D.O.R.	F _{ck}	Nº amasadas	Fecha	Elemento suministrado	Cono (cm)
LC1	Acta 1 M-386	Cimentación	Hormigones A	NO	25	N=3	02/05/25	Zapata 12 a 16	6
							02/05/25	Zapatas 1ª7	7,5
							03/05/25	Zapatas 21 a 25.	8,5
LP2	Acta 2 M-394	Estructura (Pilares)	Hormigones A	NO	25	N=3	01/02/18	Pilares baja 7 a11.	5,5
							08/02/18	Pilares baja 25 a 31	5,5
							15/02/18	Pilares 13 a 19	7
LF3	Acta 3 M-444	Estructura (Forjados)	Hormigones A	NO	25	N=3	06/02/18	Forjado 1	8,0
							13/02/18	Forjado 1	9,0
							20/02/18	Forjado 1	9,0

Nº de Lote	Resultados de rotura					Criterio de aceptación		
	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	Resist. Estimada F _{est} (N/mm ²)	Aceptación
LC1	26,6	26,8	32,7	33,1	32,90	3	25,54	Aceptado
	26,6	25,3	32,0	32,1	32,10			
	25,7	24,7	29,4	28,0	28,70			
LP2	25,3	26,0	32,6	34,2	33,40	3	27,32	Aceptado
	27,3	27,9	31,0	30,4	30,70			
	26,8	28,0	32,7	33,4	33,10			
LF3	26,6	26,3	29,6	30,7	30,20	3	24,03	No Aceptado
	25,3	25,9	33,1	33,9	33,50			
	23,8	24,5	27,6	27,0	27,30			

Tabla 5. Cálculo de la resistencia estimada del hormigón para la aceptación o no del lote

Como puede apreciarse por los resultados obtenidos, de los tres lotes, el tercero (L3=24,03 N/mm²) no puede aceptarse al obtener un valor por debajo de 25 N/mm². Si bien cada uno de los 6 valores de rotura a 28 días –así como sus 3 medias– están por encima de 25N/mm², la fórmula de cálculo para la resistencia estimada penaliza la dispersión existente entre los valores medios a 28 (F_{28}) y no supera el listón mínimo exigido.

❖ Actuaciones a las decisiones derivadas del control de la resistencia

En el caso de que algún lote resulte no conforme, de forma general, la dirección facultativa de los siguientes instrumentos de actuación, según se exponen en el apartado 57.7.3.2 del Código Estructural.

- Para hormigones que no dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se podrá disponer de las dos probetas no ensayadas de las amasadas del lote no conforme y hacer una nueva estimación de la resistencia. La dirección facultativa en el caso de ensayar probetas con más de 28 días valorará el incremento de la resistencia con la edad de la probeta.

b) Además la dirección facultativa podrá disponer la realización de ensayos de información complementaria, conforme a lo dispuesto en el apartado 57.8 del Código Estructural, al objeto de comprobar si la resistencia característica del hormigón real de la estructura se corresponde con la especificada en el proyecto. Dichos ensayos serán realizados por un laboratorio acordado por las partes y conforme con el apartado 17.2.2 del Código Estructural.

c) En el caso de que a partir de los ensayos de información se deduzca que la resistencia característica estimada del hormigón de la estructura es inferior a la especificada en el proyecto, por iniciativa propia o a petición de cualquiera de las partes, la dirección facultativa podrá encargar la realización de un estudio específico de seguridad de los elementos afectados por el hormigón del lote sometido a aceptación, en el que se compruebe que es admisible el nivel de seguridad que se obtiene con el valor de resistencia del hormigón realmente colocado en la obra estimado a partir de los ensayos de información. El estudio de seguridad lo realizará la propia dirección facultativa u otro técnico habilitado en quien delegue.

d) En casos muy específicos y una vez realizado el estudio de seguridad, la dirección facultativa podrá ordenar el ensayo del comportamiento estructural del elemento realmente construido, mediante la realización de pruebas de carga, de acuerdo con el apartado 23.2 del Código Estructural.

❖ Ensayos de información complementaria del hormigón

Estos ensayos solo son preceptivos en los casos previstos en el apartado 57.7 del Código Estructural, cuando lo contemple el pliego de prescripciones técnicas particulares o cuando así lo exija la dirección facultativa.

Los ensayos de información del hormigón pueden consistir en:

a) la rotura de probetas testigo extraídas del hormigón endurecido, conforme a la norma UNE-EN 12504-1. Este ensayo no deberá realizarse cuando la extracción pueda afectar de un modo sensible a la capacidad resistente del elemento en estudio, hasta el punto de resultar un riesgo inaceptable. En estos casos puede estudiarse la posibilidad de realizar el apeo del elemento, previamente a la extracción;

b) el empleo de métodos no destructivos fiables, como complemento de los anteriormente descritos y debidamente correlacionados con los mismos.

La dirección facultativa juzgará en cada caso los resultados, teniendo en cuenta que para la obtención de resultados fiables la realización, siempre delicada de estos ensayos, deberá estar a cargo de personal especializado.

Para un mayor detalle de los ensayos de información complementaria del hormigón, se puede acceder a los siguientes documentos de orientación técnica:

- Eh-10.Ver2. Ensayos de información. Testigos de hormigón.
- Eh-11.Ver2. Ensayos de información. Ultrasonidos e índice de rebote.

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT	
AUTORES ● Manuel Jesús Carretero Ayuso (1ª Edición) ● Alberto Moreno Cansado (Adaptación al C.E.)	Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid
	www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES
● Moreno Cansado, Alberto. Fig.1 y 2

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA	
● Código Estructural ● UNE-EN 12390-1 ● UNE-EN 12390-2 ● UNE-EN 12390-3 ● UNE-EN 12350-8-9-10-11 y 12 ● UNE 83.361 ● UNE 83.364 ●	

CONTROL:	ISSN: 2340-7573	Data: 15/1	Ord.: 5	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

Nota:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente