

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 había producido el reconocimiento oficial para ningún distintivo de calidad a los hormigones, conforme a la EHE-08. Desde esa fecha sólo están reconocidos algunos DOR transitorios (que recordemos que son los que cumplen con los requisitos del apartado 6 del Anejo nº 19 de la EHE-08 y que tendrán validez hasta el 31 de enero de 2010). Sin embargo no existe ningún hormigón en España que posea el derecho de uso de un DOR con un nivel de garantía conforme al apartado 5.1 de ese mismo Anejo. El listado de distintivos se puede consultar en la sección "Comisión Permanente del Hormigón" ubicada en la página web del

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

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.

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, el amasado y la puesta en obra se realizan correctamente, llevando un sistemático registro de los valores de la consistencia.

Cuando se aplica el Libro de Control LC-91 de la Comunidad Valenciana, estos valores se reseñan en el Impreso nº 7, tal y como hemos venido realizando para el denominado "control reducido" de la anterior EHE.

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. En la fecha en la que se elabora este artículo, abril de 2010, no hay constancia, según la web del Ministerio de Fomento, de ningún hormigón en España que disponga del derecho de uso de este distintivo, por lo que aún no puede aplicarse.

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: $x_i \geq 0,90 \cdot f_{ck}$

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, es igual o superior al 90% de la resistencia característica de proyecto:

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

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:

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

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

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

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, $K_2 = 1,02$

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

$$\text{Función de aceptación} = 30 - 1,02 \cdot 4 = 25,9 \text{ N/mm}^2 > f_{ck} \rightarrow \text{Aceptación}$$

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, $K_2 = 1,02$

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

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

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/mm²

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

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/mm²

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

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 31 de diciembre de 2010, 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 \rightarrow 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/mm²



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

Supongamos que la desviación típica σ certificada por el fabricante fuera 3 N/mm²

Función de aceptación = $30 - 1,645 \cdot 3 = 25 \text{ N/mm}^2 = f_{ck} \rightarrow \text{Aceptación}$

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/mm²

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

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

Función de aceptación = $28 - 1,645 \cdot 3 = 23 \text{ N/mm}^2 < f_{ck} \rightarrow \text{NO Aceptación}$

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