

## Consideraciones acerca de los nuevos criterios de control de hormigones según la Instrucción EH-91

DOMINGO PELLICER DAVIÑA. DR. ARQUITECTO

### INDICE GENERAL

1. Variaciones respecto a la anterior redacción.
2. El aumento del número de probetas según el artículo 10.3.
3. ¿Es necesario el aumento del número de probetas para dar mayor garantía a los ensayos de control ?
4. Análisis de resultados.
5. La cualificación normativa de los centros de fabricación de los hormigones.

#### 1. VARIACIONES RESPECTO A LA ANTERIOR REDACCION

Recientemente ha tenido lugar la entrada en vigor de una nueva redacción de la **Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa y Armado, EH-91**, que viene a sustituir al anterior documento que, bajo el mismo nombre, se conocía como Instrucción EH-88.

No son demasiadas las variaciones respecto a la anterior redacción; en realidad se limitan a 16 artículos de los 73 que contenía aquélla, y a dos de los 18 anexos ya existentes. En general se trata además de modificaciones parciales de los artículos afectados.

Sin embargo, alguna de las variaciones merece ser comentada, porque parece revestir cierta trascendencia, a la que no son ajenas, como suele ser usual, las consecuencias económicas, que dada la magnitud del sector de la Edificación sobre el que recaen, pueden tener importancia.

En este artículo se va a tratar de las modificaciones que se han producido en aspectos relativos al control de los hormigones, en los artículos 10 y 69.

#### 2. EL AUMENTO DEL NUMERO DE PROBETAS SEGUN EL ART. 10.3

En el apartado 3 del artículo 10, relativo a las características mecánicas del hormigón, se indica que *"...La resistencia del hormigón a compresión, a los efectos de esta Instrucción, se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada y se obtiene a partir de*

*los resultados de ensayos de rotura a compresión, en número igual o superior a tres, realizadas sobre probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, de veintiocho días de edad, fabricadas a partir de la amasada..."*

La variación respecto a la anterior redacción consiste en el paso de dos probetas por amasada, a tres.

Veamos ahora cómo se desarrolla en la actualidad la operación de toma de muestras de hormigón para la práctica del control.

Por lo general, se tiende a fabricar el mínimo número de probetas por amasada; pero en la práctica usual del control de hormigones en edificación, este número no es de dos, —como sería preceptivo—, sino de tres: aunque sólo dos de ellas se ensayan a los veintiocho días; la tercera se rompe antes, a los siete días, no obstante no tratarse de una condición obligatoria; sin embargo, ello facilita la toma de decisiones, pues da un indicio a edad temprana, de la previsible calidad del hormigón y puede orientar hacia una posible intervención sobre las mezclas que se vayan haciendo, sin necesidad de llegar a esperar un mes.

La fabricación y conservación de las probetas debe hacerse conforme a lo dispuesto en la Norma UNE-83.301-84. En este documento se indica que tras la fabricación de las probetas, *"...con el fin de evitar la desecación de la masa, las probetas se han de mantener en sus moldes y con su superficie cubierta con arpillera húmeda o similar, y protegida de la intemperie, de forma tal que la temperatura alrededor de las probetas esté comprendida entre 16 y 27 °C hasta el momento de ser depositadas en la cámara de conservación..."* y también que *"...Las probetas no deben mo-*

*verse ni desmoldarse hasta transcurridas al menos 24 horas desde el momento de su fabricación."*

¿De qué modo se cumplimenta todo esto? Es evidente que se puede hacer de muchas maneras; pero subsisten condiciones tales como las de límites de temperatura, o inmovilidad de las probetas durante las operaciones de manipulación y transporte que parecen requerir algún cuidado adicional respecto a lo que de modo genérico señala la Norma, y que probablemente debería concretarse aún más en ésta misma.

En muchos Laboratorios se han resuelto satisfactoriamente estas cuestiones mediante el empleo de cajas cerradas cuya capacidad es de tres probetas. Ello permite independizar las muestras correspondientes a la misma amasada. La caja llena pesa unos 90 Kg., y puede ser manejada, –aunque ya con ciertas dificultades–, por dos personas.

La primera repercusión del cambio de número de probetas por amasada vendría a ser probablemente la modificación de este modo de actuación, a la que ya están habituados los laborantes. Como no parece razonable prescindir del ensayo de una probeta a siete días, será necesario fabricar ahora cuatro probetas para dar cumplimiento a lo dispuesto por la Instrucción.

Si se desean mantener las condiciones previstas de conservación y transporte, garantizadas de modo razonable por el sistema de cajas, ha de descartarse una que llegue a contener cuatro probetas, por inmanejable. Habrá que recurrir entonces a dos cajas de dos probetas por amasada. Si se prescinde de ese sistema, pero no se sustituye por otro que ofrezca similares garantías, es posible que sí resulte necesario hacer tres o más probetas, porque no parece fácil cumplir de modo preciso la exigencia de la Norma UNE.

Todos estos cambios en el modo de trabajo son molestos, sin duda, pero posibles. Y deseables además, en el caso de que supusiesen realmente una mejora en las condiciones de control de hormigones.

### **3. ¿ES NECESARIO EL AUMENTO DEL NÚMERO DE PROBETAS PARA DAR MAYOR GARANTÍA A LOS ENSAYOS DE CONTROL?**

La pregunta inevitable ahora es, ¿realmente suponen una mejora en tales condiciones? Vamos a intentar demostrar que **no**; si lo conseguimos, quedará claro que la modificación es inútil, y además perturba sin ninguna necesidad una práctica que la experiencia daba como buena.

En los comentarios al **Art. 10.3**, la Instrucción señala que *"...La definición dada para la resistencia a compresión no es más que un convenio que permite asociar, a cada unidad de producto o amasada de hormigón, un valor relacionado con el concepto físico de*

*resistencia del material que, aún distinto de aquél, es lo suficientemente representativo para el fin práctico de esta Instrucción..."* y continúa señalando que *"...En lo anterior se presupone la homogeneidad completa del hormigón componente de cada amasada, lo cual implica atribuir a errores propios de los métodos de ensayo (...) las discrepancias en los resultados..."*

*"...Cuando la desviación entre los resultados de una misma unidad de producto sobrepase ciertos límites, parece razonable no concederles absoluta representatividad sin haber realizado una verificación del proceso seguido..."* Y concluye diciendo que *"...Actualmente pueden considerarse en tal situación resultados que difieran de la media en un  $\pm 15\%$ "*.

Cabe expresar cierta preocupación ante el desconocimiento de muchos de los técnicos que manejan estas cuestiones, del procedimiento por el que se llega a tales cuantificaciones. La falta de material específico publicado al respecto en España, es cuando menos, alarmante; en concreto, se echan en falta estudios estadísticos fiables y rigurosos sobre el particular, no obstante la existencia de una gran cantidad de laboratorios homologados, que a buen seguro suponen una fenomenal fuente de datos.

Junto a ello puede constatar de modo fehaciente que la práctica de control de hormigones que se ha venido efectuando hasta la aparición de la Instrucción **EH-91**, con dos probetas por amasada, no ha presentado demasiados inconvenientes si hemos de juzgar por la escasa siniestralidad al respecto.

Esta misma práctica de control se va generalizando aún de modo trabajoso, como por lo demás ocurre con cualquier actividad que tiene carácter preventivo, es decir, que no es una respuesta a un problema patente, sino que es un intento de evitar que el problema llegue siquiera a plantearse. En efecto, aún existe, un indeterminado pero cierto, –y con toda probabilidad importante–, porcentaje de obras en que no se procede a ningún tipo de control. Ello puede deberse a que cierta parte del conjunto de actores del sector, –casi con certeza toda ella comprendida dentro de las figuras que no requieren cualificación profesional legal–, considera dicha práctica como un gasto inútil de dinero: una más de las actuaciones que debe hacerse por imperativo legal, sin que se sepa bien para qué, puesto que, como hemos dicho, no hay siniestros que la justifiquen; aunque no los haya, precisamente porque ha crecido la preocupación por el control.

También existe un importante número de obras en las que, aunque se procede al control, se hace como un mero trámite; al menos eso se deduce de la escasa frecuencia con que se puede constatar tomas de decisiones adecuadas, que deriven de los resultados de aquél, cuando éstos son negativos.

Se estudian a continuación los datos de los ensayos de control de 14 obras en el Laboratorio de Edificación de la Escuela Técnica Superior de

Arquitectura de la Universidad de Navarra; en consecuencia, el estudio no abarca más que un pequeño panorama. Es evidente la necesidad de que similares trabajos se redacten por doquier y se complementen para arrojar luz sobre aspectos que, como decíamos, acaban teniendo, además de su importancia como motores de la mejora de la seguridad de nuestros edificios, otra, de carácter económico, vital en el sector.

**4. ANALISIS DE RESULTADOS**

Los datos a que se acaba de hacer mención proceden, como se ha dicho, del análisis del control de catorce obras de diversa importancia, en diez de los cuales se fabricó el hormigón a pie de obra, mientras en las cuatro restantes se trajo a obra de Central Hormigonera.

En todas ellas el número de probetas por amasada, que fueron ensayadas a veintiocho días, fue de dos. De modo sistemático se procedió al ensayo a siete días, de una tercera probeta. También en todas ellas, el número de amasadas por lote, fue de dos. En algún lote aislado se había adoptado un número mayor de amasadas, que fue eliminado a efectos del presente estudio.

En este caso se ha dado la circunstancia de que en cada obra se había elegido una resistencia única, la misma para todos los lotes. Los dos valores usuales fueron 175 Kp/cm<sup>2</sup> y 200 Kp/cm<sup>2</sup>. Por eso, ha parecido oportuno prescindir del manejo de valores absolutos de resistencia; y también, de consideración alguna sobre la aceptación o rechazo de lotes.

En el cuadro 1 se plantean los resultados:

- En la primera columna figura el número que se ha asignado a la obra.
- En la segunda, la procedencia del hormigón.
- En la tercera, el número de amasadas. (El de lotes será, de acuerdo con lo dicho anteriormente, la mitad de éste, y el de probetas, el doble).
- En la cuarta, el valor de la media para cada obra,  $\alpha_{med}$ , de las desviaciones que se producen entre las dos probetas que constituyen cada una de sus amasadas. Siendo los valores de ensayo de las probetas  $p_1 < p_2$  la desviación en la amasada es:

$$\alpha_p = 1 - [ 2 p_1 / ( p_1 + p_2 ) ]$$

Según la Instrucción, este valor no debe superar el  $\pm 15\%$

El valor de  $\alpha_{med}$  correspondería, para cada obra, con un número N de amasadas, a la expresión:

$$\alpha_{med} = \sum \alpha_p / N$$

- En la quinta columna figura el valor  $\alpha_{m\acute{a}x}$  de la máxima desviación,  $\alpha_p$ , que se ha producido en cada obra entre las dos probetas de una amasada que la han mostrado mayor.

- En la sexta columna se hace figurar el valor medio,  $\beta$ , por cada obra de las desviaciones que se producen entre los valores de las dos amasadas que constituyen cada lote. Siendo los valores de las amasadas  $a_1 = a_2$ , la desviación por amasada es:

$$\beta_a = 1 - [ 2 a_1 / ( a_1 + a_2 ) ]$$

OBRA nº	HORMIGON FABRICADO EN	AMASADAS CONTROLADAS nº	DESVIACION ENTRE LAS DOS PROBETAS DE CADA AMASADA		DESVIACION MEDIA EN LOS LOTES $\beta$ %	DISPERSION EN LA OBRA $\delta$ %
			$\alpha_{med}$ %	$\alpha_{m\acute{a}x}$ %		
1	Obra	60	0,8	1,9	6,0	14,3
2	Obra	44	0,9	2,4	6,0	10,6
3	Obra	58	0,9	2,0	4,7	10,1
4	Obra	34	0,9	1,5	6,1	15,7
5	Obra	36	0,9	1,9	4,0	13,4
6	Obra	36	0,8	2,1	7,7	17,3
7	Obra	32	0,7	2,0	5,5	9,9
8	Obra	28	0,9	2,0	6,5	12,7
9	Obra	24	0,8	1,7	3,1	8,4
10	Obra	24	0,8	1,7	5,8	10,3
11	Central	36	0,9	1,4	3,3	6,0
12	Central	40	0,9	2,8	5,2	12,1
13	Central	48	1,0	2,1	4,2	10,0
14	Central	69	0,6	1,8	5,9	12,3

Cuadro 1:

Resultados del control del hormigón realizado por el Laboratorio de Edificación de la E.T.S.A.U.N. sobre catorce obras

– En la séptima columna figura la dispersión,  $\delta$ , del conjunto de probetas ensayadas a veintiocho días en cada obra, para obtener una misma resistencia característica.

El análisis de las desviaciones que se producen entre los resultados de ensayos de cada par de probetas con relación a su correspondiente media, ofrece resultados abrumadores: en ningún caso la media de una obra alcanza el 1%; los valores extremos obtenidos en un número muy pequeño de pares no llegan en caso alguno al 3%. **No está justificada pues la ejecución de una tercera probeta, cuando las condiciones de la toma de muestras son adecuadas.**

Además, cabe observar los valores medios de las desviaciones de los resultados de las amasadas que conforman un lote, frente a los anteriores: oscilan entre 3 y 10 veces los de aquéllos. Y puesto que se trata de hormigones fabricados en operaciones distintas, cabe preguntarse ¿qué sucedería con esos valores si realmente se admite que los resultados entre probetas difieran de su propia media un  $\pm 15\%$ ...? No estaría de más preguntarse también de qué muestreo se ha deducido semejante posible desviación máxima. Esta segunda pregunta nos devuelve al punto de partida, es decir, a sostener que existe la necesidad perentoria de que se arbitre un banco de datos estadísticos que permita alejarse tanto como sea posible de lo aleatorio, –o peor aún, de lo arbitrario–, a la hora de cuantificar.

**5. LA CUALIFICACION NORMATIVA DE LOS CENTROS DE FABRICACION DE LOS HORMIGONES**

Otro aspecto de la Instrucción que merece algún comentario, es el que se refiere a la estimación de calidad de los puntos de producción del hormigón que aquélla establece en el cuadro 69.3.2.b, dentro del Art.69 Ensayos de Control del Hormigón.

Debe señalarse que en este caso, no se produce una variación importante en relación con la anterior redacción, salvo lo que ahora se añade sobre la posible reducción del muestreo a la mitad, **si el hormigón ha sido fabricado en una Central que dispone de un Sello de Calidad oficialmente reconocido.**

Ya en su momento manifestamos nuestro escepticismo ante la susodicha estimación. Podemos ciertamente suponer los intereses económicos en juego, y entendemos los principios teóricos que llevan a

demostrar que un hormigón fabricado con el mayor grado de industrialización posible, tiene que ser mejor que otro realizado por medios artesanales, o al menos, bastante próximos a ellos. Pero por desgracia, la experiencia práctica señala que ni los primeros son tan buenos ni los segundos tan malos como presupone la Instrucción.

Vamos a ilustrar, empleando para ello los datos del estudio, la anterior afirmación.

En el artículo 69.3.2 de la Instrucción EH-91 se indica el procedimiento a seguir para determinar la resistencia estimada de los hormigones sometidos a control normal. En el caso de que el número de amasadas por lote,  $N$ , sea inferior a 6, la determinación de dicha resistencia obedece a la expresión:

$$f_{est} = K_N x_1$$

En donde  $K_N$  es el valor del estimador que debe aplicarse según el cuadro 69.3.2.b, en función del número de amasadas que definen el lote y en función también del método de fabricación del hormigón;  $x_1$  es el valor de la amasada que lo haya tenido menor, de entre las que conforman el lote.

En el caso del estudio que analizamos, puesto que el número de amasadas ha sido siempre de dos, tendremos que los valores de  $K_N$  que habrá que usar, serán, respectivamente:

$K_N = 0,76$  para hormigones fabricados a pie de obra

$K_N = 0,88$  para hormigones fabricados en central hormigonera

Conviene recordar en este momento, el origen del estimador  $K_N$ . Procede de un estudio elaborado en 1972 por la Comisión Permanente del Hormigón, y que fue publicado por la Secretaría General Técnica del antiguo Ministerio de Obras Públicas, bajo el nombre de “Resistencia Característica y Control de Calidad”.

En aquel trabajo se determinaba el valor de  $K_N$  en función del tamaño de la muestra y de la dispersión del hormigón. El cuadro 69.3.2.b de las sucesivas redacciones de la Instrucción, –EH-73, EH-82, EH-88 y la actual, EH-91–, se ha basado siempre, con ligeras modificaciones, en la propuesta del citado trabajo.

Nos interesa señalar, en concreto, que los vigentes valores de  $K_N$ , corresponden para cada columna a una determinada dispersión del hormigón, es decir a una previsible calidad de fabricación.

$\delta$	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
$K_N$	1,00	0,97	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76

Tabla 1:

Interpolaciones de los valores de  $K_N$  para diversos valores de  $\delta$

La columna que corresponde a los hormigones fabricados en Central, supone que la dispersión del hormigón será de 0,10. La correspondiente a hormigones fabricados a pie de obra, -la Instrucción los califica como "Otros casos"-, será del 0,20.

Puesto que en nuestro propio estudio hemos determinado cual es la dispersión de los hormigones que han sido fabricados con objeto de obtener una misma resistencia predeterminada para cada obra, estamos en condiciones de comprobar si realmente existe un ajuste entre el  $K_N$  impuesto por la Instrucción y el que se deduciría del valor de la dispersión,  $\delta$ , del conjunto de las probetas de cada obra.

Puesto que los valores de  $K_N$  corresponden, como se ha dicho, a valores preasignados de dispersión, el método que emplearemos para valores intermedios, será el de interpolación. Con ello cometeremos un error de centésimas que consideramos despreciable. El cuadro de interpolaciones queda recogido en la tabla 1. Los valores obtenidos se exponen de modo comparativo en el cuadro 2

De dicho cuadro puede hacerse un resumen, sólo cualitativamente aprovechable, en tanto que nos ofrece una idea general comparativa entre hormigones de una u otra procedencia. Planteamos el citado resumen en el cuadro 3.

De donde puede deducirse de un modo genérico que la estimación para los hormigones procedentes de Central, parece acertada, mientras que la que se hace para los hormigones fabricados a

pie de obra es demasiado rigurosa. La repercusión de este hecho es evidente: en este segundo caso, los directores de obra tendrán dificultades para tomar una decisión en caso de que se produzca un incumplimiento en alguno de lotes, a no ser que decidan emplear como mecanismo corrector el análisis de las dispersiones del conjunto realizado de la obra hasta ese momento; o que, con un criterio más previsor, hayan decidido de antemano, y a la vista de la buena calidad que se está fabricando con el utillaje de obra, calificar a éste de "central hormigonera", para poder así aplicarle un  $K_N$  más adecuado.

La constatación de la dispersión media de los hormigones fabricados en Central, supera ligeramente el 10%, resulta ciertamente digno de preocupación, si tras lo expuesto volvemos a la citada modificación de la Instrucción, en lo relativo a la reducción a la mitad de los ensayos preceptivos cuando aquél posee un Sello de Calidad reconocido.

Es evidente que el contratista va a ver reducidos a la mitad sus gastos de control, lo que le hará más propenso a contratar el hormigón en una Central con esas características. Pero así, quien queda desprotegido es el garante de la seguridad real de la obra, su Director; porque hoy por hoy, ese hormigón parece estar sujeto a cierta picaresca, derivada de que la responsabilidad del fabricante de hormigón concluye en el acto de la entrega del material a pie de obra.

PROCEDENCIA	Nº DE OBRA	$\delta$ (%)	$K_N$ (EH-91)	$K_N$ AJUSTADO
Hormigón a pie de obra	1	14,3	0,76	0,83
	2	10,6	0,76	0,87
	3	10,1	0,76	0,88
	4	15,7	0,76	0,81
	5	13,4	0,76	0,84
	6	17,3	0,76	0,79
	7	9,9	0,76	0,88
	8	12,7	0,76	0,85
	9	8,4	0,76	0,90
	10	10,3	0,76	0,88
Hormigón de Central	11	6,0	0,88	0,93
	12	12,2	0,88	0,85
	13	10,0	0,88	0,88
	14	12,3	0,88	0,85

Cuadro 2:  
Ajuste del  $K_N$  en las obras analizadas

PROCEDENCIA	Nº DE PROBETAS	$\delta$ CONJUNTO (%)	$K_N$ (EH-91)	$K_N$ AJUSTADO
Pie de obra	752	12,40	0,76	0,85
Central	386	10,51	0,88	0,88

Cuadro 3:  
Ajuste de  $K_N$  según la procedencia de los hormigones

En efecto, es frecuente observar que las tomas de muestras se hacen a la salida de la cubeta del camión, punto que rara vez suele coincidir con el efectivo de puesta en obra. En el campo de la edificación arquitectónica al menos, el material puede sufrir aún diversos avatares en su recorrido entre ambos puntos. Estos avatares se suman a otros que ya hemos dado por asumidos, como por ejemplo el hecho de que no suelen coincidir los modos de compactación del hormigón en los elementos estructurales y en las probetas de ensayo, por culpa de que en la Norma **UNE-83.301-84** no se haya fijado con claridad el tiempo de vibrado de las probetas,

cuando haya sido éste el método elegido para dicha operación.

En consecuencia, los resultados de un control así realizado serán quizás intachables, sin perjuicio de que la seguridad de la obra pueda haberse visto disminuída, sin el menor conocimiento por parte del Director de obra.

Nos queda el triste consuelo de que si se produjese un siniestro, sería posible descartar por el anterior motivo, la mala calidad del hormigón como causa: una normativa imprecisa en temas tan delicados, habría desviado la atención del probablemente cierto motivo, a otro lado.