

Comentarios a la EH-88

JESUS BARRIOS
 Dr. Ciencias Químicas
 Catedrático de la E. U. de Arquitectura Técnica
 Prof. Titular de Materiales de Construcción de E.T.S.A. SEVILLA

Con fecha 28 de Julio de 1988 aparece en el B.O.E. número 180, páginas 23.258 a 23.295, el Real Decreto 824/1988 de 15 de Julio por el que se aprueba "La Instrucción para el Proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88)", y la "Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-88)".

Con este motivo se ha redactado la presente comunicación con la pretensión de resaltar aquellos artículos que han sido modificados en relación con la EH-82, señalando las nuevas limitaciones y ensayos de los diferentes materiales que componen el hormigón, y el hormigón mismo. En algunos apartados se realizan comentarios en relación con las nuevas disposiciones o se amplían con datos que puedan resultar de interés.

En este primer trabajo se comentan solamente los capítulos I, II, III y IX, esto es, todo lo relativo a los materiales y su control de calidad. Las modificaciones introducidas a los demás capítulos afectan a los artículos 25, 26, 31, 37, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 47, 50, 52, 55, 56, 58, 61 y 62.

Hay que indicar que queda derogada la EHPRE-72 "Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón preparado" cuya temática queda englobada en la EH-88, y más concretamente en el artículo 15.

Estas nuevas instrucciones entrarán en vigor a los seis meses de su publicación en el B.O.E.

En las disposiciones del Real Decreto se dice en el artículo 3º:

"El ámbito de aplicación de estas Instrucciones (EH-88 y EF-88) se extenderá con carácter obligatorio a todas las obras, tanto de las Administraciones Públicas como las de carácter privado.

Estas Instituciones también se aplicarán, con el mismo ámbito, a los productos prefabricados de hormigón".

CAPITULO I. INTRODUCCION

Artículo 1º. Campo de aplicación de la Instrucción

En la EH-82 se excluían los hormigones armados con acero de límite elástico nominal superior a 6.100 kg/cm². En la EH-88 no se excluyen.

Al hablar de obras especiales (obras marítimas, reactores nucleares, etc...) se indicaba en la EH-82 la adopción de "medidas derivadas de las características de la propia obra y de su utilización". En la EH-88 se avanza y se añade: "Tales medidas pueden requerir una juiciosa adaptación de los preceptos de esta Instrucción al tipo de obra correspondiente como puede ser el caso de las especificaciones relativas al control del hormigón (y en particular, el tamaño del lote) cuando se aplican a presas".

Artículo 4º. Documentos del Proyecto

• En el apartado 4.1. Generalidades, no había comentario alguno en la EH-82. En la EH-88 se dice "La calidad de la obra depende, en primer lugar, de la calidad del proyecto. Por ello se recomienda que éste sea supervisado por un técnico distinto del autor que lo realizó, como es el caso de las Ofi-

nas de Supervisión de Proyectos de los Organismos Públicos".

• En el apartado de comentarios del 4.4., "Pliego de prescripciones Técnicas particulares", se añade a lo que en la anterior Instrucción se decía "Con respecto a las decisiones derivadas del Control de resistencia del hormigón (69.4) en el pliego de cláusulas administrativas particulares o en el pliego de condiciones de cada obra cuando no exista aquél, se pueden especificar posibles penalizaciones económicas en particular para el caso en que resulte:

$$F_{ck} > f_{est} \geq 0.9 \times F_{ck}$$

En definitiva se faculta para establecer las penalizaciones económicas cuando el hormigón no cumpla los mínimos exigidos de resistencia.

• Se añade un apartado nuevo, el 4.9., que dice "El director de la obra entregará, al menos, a la propiedad, en el momento de finalizar la misma, una Memoria que recoja las incidencias principales de ejecución, una colección de planos que reflejen el estado final de la obra tal como ha sido construida, así como una demostración documental de que se han cumplido las especificaciones que se prescriben en el título III del control de esta Instrucción". En este apartado se incluye por tanto, la obligación que existe de entregar al finalizar la obra, copias de los resultados obtenidos en los controles de los materiales y del hormigón.

UNE-80-301-88	RC-75
Tipo I-0 y I Portland	Portland P-
Tipo II. Compuestos: II-S II-Z II-C II-F	Portland con adiciones activas PA-El II F no tiene equivalencia.
Tipo III. Horno alto III-1 III-2	Siderúrgico. S-I S-II S-III
Tipo IV. Puzolánico	Puzolánicos. PUZ-I PUZ-II
Tipo V. Cementos mixtos	No tiene homólogo
Tipo VI. Aluminoso	Aluminoso: A-



CAPITULO II. MATERIALES

Artículo 5º. Cemento

5.1. Cementos utilizables

La EH-88 indica que "Podrá utilizarse cualquier tipo de cemento con tal de que cumpla la Reglamentación vigente para dicho material". No se indica si es la RC-75 (Pliego de prescripciones Técnicas Generales para la recepción de cementos del año 1975), o las normas UNE.

Al pertenecer España al Mercado Común Europeo debe adaptar sus normativas a las dictadas por los Organismos europeos. Comoquiera que las normas UNE se han redactado siguiendo estas pautas es lógico pensar que la UNE 80-301-88 "Cementos: definiciones, clasificación y especificaciones" es la que tiene visos de ser la futura "reglamentación vigente".

A continuación se indican los diferentes tipos de cemento según la norma UNE y su equivalencia con los que se especificaban en la RC-75. (Ver cuadro página anterior).

Las categorías de los cementos eran en la RC-75: 350-450 o 550. En la norma nueva son:

Resistencia	N/mm. ²	Kg./cm. ²
Muy alta	55	550
Alta	45	450
Media	35	350
Baja	25	250

Estos valores se refieren al mínimo exigido a la edad de 28 días. En la categoría 45 y 35 se indican valores máximos a esa edad, y que son 65 y 55 N/mm.² respectivamente.

La Norma UNE 80.303 añade además los siguientes tipos de cemento:

SR= Resistente a la acción de los sulfatos cálcico o magnésico en aguas o terrenos.

MR= Resistente a la acción del agua de mar (sulfatos y cloruros alcalinos y alcalinotérreos).

BC= Bajo calor de hidratación.

La norma UNE 80.305 los siguientes:

Cementos Blancos con la denominación: B

Pueden ser:

I-B

II-B

V-B

Para las recomendaciones de utilización puede seguirse el anejo 3 de la EH-82, de acuerdo con las equivalencias indicadas anteriormente, para los distintos tipos y categorías de cemento, entre la RC-75 y las normas UNE.

Al igual que en la EH-82 la categoría mínima exigida es la de 250.

En los documentos de origen deberá figurar: tipo, clase y categoría del cemento, así como la garantía del fabricante de que cumple con las especificaciones. "El fabricante enviará si se le solicita, copia de los resultados de análisis y ensayos correspondientes a la producción de la jornada a que pertenezca la partida servida".

Como novedad aparece en la EH-88 una referencia al ión cloro remitiéndose al artículo 10.1 que dice "El ión cloro total aportado por los distintos componentes, no excederá del 0'4% del peso del cemento cuando se trate de obras de hormigón armado". Independientemente de esto, la norma UNE 80-301-88 limita el contenido de cloruros en los distintos tipos de cementos a un máximo de 0'1%.

Artículo 6º. Agua

En la nueva Instrucción aparece el mismo párrafo que en el apartado del cemento referido al contenido de ión cloro total, además de la limitación de ión cloro Cl⁻ a 6 gr./litro, como en el anterior EH-82. Se va a un concepto nuevo que es el de limitar el contenido global de cloruros en el hormigón.

En este apartado no se especifica nada en relación con el agua que está en contacto con el hormigón. Es en el artículo 24.4 "Limitaciones a los contenidos de agua y de cemento" en el que se dice: "... para hormigones en masa como para los armados, el cemento deberá ser resistente a los sulfatos si el contenido en sulfatos del agua es mayor o igual que 400 mg./kg., o si en suelos es mayor o igual que 300 mg./kg."

Como orientación se da a continuación una tabla con recomendaciones a tomar en cuanto al cemento a utilizar para la confección del hormigón de la

cimentación, según las diferentes concentraciones de sulfatos tanto en agua como en terreno. (Ver cuadro).

Por lo tanto deben considerarse estos valores como los límites para el uso de un cemento resistente a los sulfatos para la confección del hormigón que va a estar en contacto con ese terreno o agua. Es el caso de pozos, zapatas, vigas, pilotes, losas, etc...

Artículo 7º. Aridos

En este artículo se han introducido varias modificaciones que son de gran interés. La primera de ellas se refiere a la utilización de áridos de naturaleza desconocida o que va a tener una utilización diferente de la normal.

En este caso se exige la realización de "... ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos físicos o químicos, según convenga al caso". Se establecen métodos analíticos precisos para conocer la naturaleza y composición de estos materiales.

A las escorias siderúrgicas se les exige que no contengan silicatos inestables, ni compuestos ferrosos.

En la EH-82 se prohibían los áridos que tuvieran piritas o cualquier otro tipo de sulfuros. En ésta se dice "Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables". En el apartado de comentarios de la EH-88 se amplía lo indicado anteriormente añadiendo "Los sulfuros oxidables (por ejemplo), aún en pequeña cantidad, resultan muy peligrosos para el hormigón, pues por oxidación y posterior hidratación se transforman en ácido sulfúrico y óxido de hierro hidratado con gran aumento de volumen". Del mismo modo se amplía este criterio a rocas de naturaleza silicea (ópalos, dacitas, etc...) y a las que tienen carbonatos magnésicos, (por ejemplo dolomitas) que pueden producir fenómenos expansivos.

Igualmente se especifican las reacciones entre el hidróxido cálcico liberado en la hidratación del cemento y los áridos procedentes de ciertas rocas magmáticas o metamórficas más o menos alteradas.

Es importante lo indicado en el párrafo anterior ya que amplía el estudio previo que ha de realizarse necesariamente a aquellos áridos que tengan una procedencia desconocida.

TIPO	AGUA CORRIENTE mg/l SO ₃ ⁻	AGUA ESTANCADA mg/l SO ₃ ⁻	TERRENO % SO ₃	ATAQUE	TIPO DE CEMENTO
1	<150	<300	<0,15	Ninguno	P
2	150 a 450	300 a 900	0,15 a 0,30	Moderado	PY (AC ₃ <5%)
3	450 a 1.500	900 a 3.000	0,30 a 0,50	Fuerte	PY (AC ₃ <4%)
4	> 1.500	> 3.000	> 0,50	Muy fuerte	PY (AC ₃ = 0)

Los fenómenos de expansión aparecidos por estas causas en diferentes zonas, podrán evitarse si los áridos han sido estudiados de acuerdo con lo indicado en párrafos anteriores.

7.2. Tamaño máximo del árido

Se define en la EH-88 el tamaño máximo como el menor tamiz por el que pasa más del 90% en peso del árido, o el tamiz de mayor abertura que retiene menos del 10% en peso del árido.

Se cambian las limitaciones de la EH-82 que tenían un carácter más genérico, por otras más ajustadas a las necesidades de obra. Estas son:

- 0'8 de distancia horizontal libre entre armaduras que no formen grupo, o entre un borde pieza y una armadura que forme un ángulo mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- 1'30 de la distancia entre un borde de la pieza y una armadura que forme un ángulo no mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- 0'25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:

— 0'33 de la anchura libre de los nervios de los forjados y otros elementos de pequeño espesor que se justifique.

— 0'5 del espesor mínimo de la losa superior de los forjados.

7.3. Prescripciones y ensayos

En la nueva Instrucción se agrupan en tres apartados:

7.3.1. Condiciones físico—químicas.

7.3.2. Condiciones físico—mecánicas.

7.3.3. Granulometría y coeficiente de forma.

En el apartado 7.3.1., se contemplan las siguientes sustancias perjudiciales:

- Terrones de arcilla.
- Partículas blandas.
- Material retenido por el tamiz 0'063 y que flota en un líquido de peso específico 2.
- Compuestos de azufre.

Las limitaciones son las mismas que en la EH-82 a excepción de los compuestos de azufre que pasan del 1'2% de límite a un 0'4% en la EH-88 tanto para el árido fino como para el árido grueso. El anterior valor resultaba excesivo.

Se incluye en este apartado la materia orgánica del árido fino y la reactividad potencial con los álcalis del cemento de los áridos, al igual que en la EH-82.

Por último aparecen dos nuevos criterios de gran interés que se echaban en falta. El primero de ellos es el equivalente de arena que se limita:

- 75% para obras en ambiente I y II.
- 80% para obras en ambiente III o que hayan de soportar ciclos de hielo/deshielo.

Los distintos ambientes se definen como:

Ambiente I. Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60% de la humedad relativa más de 90 días al año).

Ambiente II. Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario.

Ambiente III. Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas.

Si las arenas proceden de machaqueo de rocas calizas (al menos un 50% de calcita) que no cumplen la especificación del equivalente de arena, podrán ser aceptadas como válidas siempre que el valor de azul de metileno sea igual o inferior a 0'6 gr. de azul por cada 100 gr. de finos para ambientes I y II ó 0'3 gr. para ambientes III ó que hayan de soportar ciclos de hielo/deshielo.

El segundo se refiere a "con respecto al contenido en compuestos de cloro se tendrá en cuenta lo prescrito en 10.1". Esto mismo se indica en el cemento y en el agua, y en otros componentes del hormigón (artículo 8). El referido artículo 10.1 se refiere a la composición de hormigones, y en el segundo apartado dice "Además el ión cloro total aportado por los componentes no excederá del 0'4% del peso del cemento cuando se trata de obras de hormigón armado, salvo justificación especial de que no altera, perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón y a las armaduras, ni a corto ni a largo plazo".

Esto supone un avance importante sobre lo indicado en la EH-82 en donde los cloruros solamente se contemplaban en el agua de amasado y curado. No se consideraba el caso de áridos que aportasen cloruros (áridos o arenas de playa o de canteras con sales) o de adiciones o aditivos con cloruros. Ahora se da una cantidad global que es el 0'4% en peso del cemento, que no debe ser sobrepasada por la suma de los cloruros de los diferentes componentes.

Por lo tanto la determinación de cloruros deberá realizarse a todos y cada uno de los componentes del hormigón. Algunos de ellos tienen limitado el contenido de cloruros, tal es el caso del cemento en el 0'1% y del agua a 6 gr./litro. El contenido de cloruros de los áridos y de los aditivos no se limita, pero sumados al del cemento y el agua no debe sobrepasarse la cifra anteriormente indicada.

Normalmente puede decirse que el cemento no aporta cloruros. Si se emplea agua de la red el aporte de cloruros puede oscilar entre 1 o 2 gr. como máximo. Los áridos por ser la fracción más importante, en torno al 81%, es la que puede aportar mayor cantidad de cloruros. Este es el caso de los áridos de cantera procedentes de antiguos lechos marinos, áridos de playa sin lavar etc... Suponiendo una composición de un hormigón por metro cúbico de 300 kg. de cemento, 180 litros de agua y 2.000 kg. de áridos, el contenido de cloruros sería: por cemento = 0; por agua = 1 gr. Para no superar la cifra del 0'4% en peso del cemento = 1.200 kg., los áridos no deben tener un contenido superior a 0'06%. Un árido de procedencia marítima sin lavar adecuadamente sobrepasa ese porcentaje.

La introducción del equivalente de arena supone la aplicación de un mejor y más rápido criterio que el de la limitación de finos, aunque ésta siga contando de acuerdo con el apartado 7.3.3 que se describe más adelante.

La aplicación del azul de metileno a las arenas de machaqueo supone un mejor criterio, ya que pocas cumplen con la limitación del equivalente de arena, pudiendo ser sin embargo aptas para su utilización en la confección del hormigón. Este ensayo es de gran utilidad a la hora de aceptar o rechazar arenas de esta procedencia.

En el apartado 7.3.2., referente a condiciones físico-mecánicas introduce tres nuevos criterios de gran interés:

- Friabilidad de la arena ≤ 40
- Desgaste por ensayo de Los Angeles ≤ 40
- Absorción de agua $\leq 5\%$

Todos estos ensayos determinan la calidad de los áridos desde un punto de vista físico-mecánico.

La absorción de agua es un índice de la porosidad de los áridos, además de un dato a tener en cuenta para calcular el agua necesaria para fabricar un metro cúbico de hormigón.

La existencia de una limitación, no excesiva, permite establecer criterios de aceptación de áridos, en especial de machaqueo, de gran utilidad.

Con el ensayo de desgaste de Los Angeles se determina de forma indirecta la dureza de los áridos. Hasta ahora



se ha empleado casi exclusivamente para áridos en carretera, balasto, etc...

En el "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carretera y Puentes-PG-3" se establecen los siguientes criterios para distintos materiales:

- Sub-base granular < 50
- Zahorra artificial < 35%
- Macadam < 35
- Grava-cemento < 30 para tráfico pesado o medio.
- Tratamientos superficiales < 30 ó < 20 según los casos.
- Mezclas bituminosas en caliente < 30 ó < 25 según sea para capas de base, o intermedias o de rodadura.

Como puede apreciarse la exigencia de desgaste puede considerarse como baja si se compara con los límites indicados anteriormente.

Con el ensayo de friabilidad se determina igualmente la dureza de la arena. Al igual que en el caso anterior el límite es amplio.

Únicamente si lo indica el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares se determinará la pérdida de peso de los áridos al ser sometidos a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato sódico o sulfato magnésico (este ensayo tiene que ver con la heladicidad).

En el tercer apartado 7.3.3., que se refiere a granulometría y coeficiente de forma, limitan los finos en áridos gruesos en el 1% ó 2% en peso, según su procedencia silíceo o caliza. Para el árido fino en un 6% para arenas silíceas, y para arenas calizas un 15% en ambientes I, II y un 10% para ambientes III ó que hayan de soportar ciclos de hielo-deshielo.

Como puede comprobarse esta Instrucción es más tolerante en cuanto a los finos. En nuestra opinión deberá comprobarse la disminución de resistencias que provoca la presencia de determinados finos que aún en proporciones menores que las indicadas en la Instrucción, reducen apreciablemente las resistencias mecánicas.

En cuanto al coeficiente de forma permanece igual el criterio que en la EH-82.

Artículo 8. Otros componentes del hormigón

Este artículo sustituye al de la EH-82 que figuraba con el nombre de Aditivos, y en el que se indicaba que debían de realizarse los ensayos necesarios para comprobar que se producía el efecto deseado "sin perturbar las restantes características del hormigón ni representar peligro para la durabilidad del hormigón ni para la corrosión de armaduras". En la EH-88 se indica lo mismo, añadiéndose que deberá determinarse el contenido de cloru-

ros como un componente más del hormigón según lo indicado en el apartado 7.3.1. de áridos.

La EH-88 preve la utilización de aditivos y de adiciones.

Los primeros se definen como "aquellas sustancias o productos que incorporados al hormigón antes de o durante el amasado en una proporción no superior al 5% del peso del cemento producen la modificación deseada en estado fresco y/o endurecido de algunas de sus propiedades habituales". Las adiciones se refieren exclusivamente a la utilización de cenizas volantes en el momento de la fabricación del hormigón. La proporción en que se emplea este material es muy superior a la del aditivo.

Por su interés conviene resaltar algunas de las especificaciones:

- Tanto en el caso de aditivos como de las cenizas volantes conviene realizar ensayos previos para comprobar que se produce la función o funciones deseadas.
- Las cenizas volantes se emplearán siempre con cemento Portland con un 100% de Clinker. Esto es, no se permite utilizar esta adición con un cemento que lleve adiciones de cualquier tipo.
- El Director de obra, a la vista de los resultados de los ensayos, autorizará la adición de cenizas volantes y su proporción.
- En el caso de que las cenizas volantes se añadan en la planta de hormigón deberá figurar en los albaranes con su procedencia y cantidad.
- Hay que prestar especial atención en las cenizas volantes al contenido de óxido cálcico, y de aquellos otros que puedan considerarse expansivos.

Artículo 9. Armaduras

9.3. Barras corrugadas

En este aspecto se han producido los siguiente cambios:

- Los alargamientos de aceros estirados en frío aumentan dos puntos pasando de 12%, 10% y 8% para los AEH 400 F, AEH 500 F y AEH 600 F, a 14%, 12% y 10% respectivamente.

- La relación entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico es en todos los casos, y para los distintos tipos de barras corrugadas, de 1'05.

Artículo 10. Hormigones

10.6. Docilidad del hormigón

Las tolerancias para los distintos tipos de consistencia siguen siendo las mismas, añadiéndose:

Tolerancias definidas por su asiento

Asiento en el Cono de Abrams	Tolerancia centímetro
Entre 0-2	± 1
Entre 3-7	± 2
Entre 8-12	± 3

Resultando: (Ver cuadro al pie):

CAPITULO III. EJECUCION

13.2. Distancias entre barras de armaduras principales

En la EH-88 aparece el mismo articulado que en la anterior Instrucción, pero distribuido en dos apartados:

13.2.1 Barras aisladas. En éste se incluyen los apartados A y B de la EH-82.

13.2.2 Grupos de barras. En éste se incluyen los apartados C, D y E de la EH-82.

13.3. Distancias entre paramentos

Se modifican los recubrimientos en las armaduras principales para el caso de que "las disposiciones de armaduras respecto a los paramentos dificulte el paso del hormigón, en cuyo caso se tomará 1'25 veces el tamaño máximo del árido" (apartado a, de la EH-82 y EH-88).

Para cualquier tipo de armadura (apartado b) se dan los recubrimientos en función de los diferentes ambientes. En general aumenta el espesor de los mismos en relación con la EH-82.

Tipo de consistencia	Tolerancia cm.	Intervalo resultante
Seca	0	0-2
Plástica	± 1	2-6
Blanda	± 1	5-10
Fluida	± 2	8-15

Ambiente I. Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60% de la humedad relativa más de 90 días al año) = 20mm.

Ambiente II. Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario = 30 mm.

Ambiente III. Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas = 40 mm.

Estos valores pueden disminuirse 5 mm. en piezas protegidas y prefabricadas o en hormigones con una resistencia característica f_{ck} entre 250 y 400 kg./cm.² Se disminuirá 10 mm. para hormigones de $f_{ck} \geq 400$ kg/cm².

En ningún caso resultarán recubrimientos inferiores a 15, 20 ó 25 mm. para los ambientes I, II y III.

En el apartado d) se recomienda aumentar el recubrimiento a la par que se cuida la compacidad y no porosidad del hormigón cuando la estructura está expuesta a ambientes químicos especialmente agresivos.

En el apartado e) se contempla el caso de recubrimientos superiores a 40 mm. (protección frente a incendios o grupos de barras) y se indica la obligación de colocar "una malla de reparto en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción con una cuantía geométrica del 5% del área del recubrimiento para barras o grupos de barras de diámetro (o diámetro equivalente) igual o inferior a 32 mm., y del 10% para diámetros (o diámetro equivalente) superiores a 32 mm."

En ambientes agresivos la colocación de una malla en la zona de recubrimiento puede ser perjudicial por el peligro de corrosión.

Como resumen de lo anteriormente indicado se expone una tabla (n.º 13.3) al pie.

Artículo 15. Fabricación del hormigón y transporte a la obra en su caso

En este artículo se ha dispuesto lo relativo a hormigón fabricado en central recogido en diversos apartados dentro del general denominado:

15.2. Hormigón fabricado en central

Se indican los parámetros necesarios para comprobar la homogeneidad y uniformidad del hormigón, que son:

- Peso del metro cúbico.
- Aire ocluido.
- Consistencia.
- Resistencia a compresión.

En los distintos apartados se establecen criterios relativos a:

- 15.2.2. Almacenamiento de materias primas.
- 15.2.3. Instalaciones de dosificación.
- 15.2.4. Dosificación de materias primas: cemento, áridos, agua y aditivos.
- 15.2.5. Equipos de amasado.
- 15.2.6. Amasado.
- 15.2.7. Transporte: Generalidades y documentación.
- 15.2.8. Servicio de control de calidad.
- 15.2.9. Hormigón preparado: Definición, designación y características, y entrega y control de recepción.

15.3. Hormigón no fabricado en Central.

En estos apartados se especifican las limitaciones en cada proceso, tolerancia en los pesos de los diferentes materiales, características de las básculas, amasadoras fijas y móviles, tipos de amasadoras, características del transporte del hormigón...

Es de gran interés la comprobación de la homogeneidad del hormigón según la tabla 15.2.5 que aparece en el apartado del mismo número correspondiente a "Equipos de amasado". (Ver cuadro 1, pág. 63).

Artículo 24. Prevención y protección contra acciones físicas y químicas

A este artículo se ha añadido el apartado:

24.4. Limitaciones a los contenidos de agua y cemento

Se especifican en la tabla que se indica a continuación. En la primera columna figura el ambiente I, II ó III según las definiciones dadas con anterioridad. Se les añade unos subíndices que son h para la existencia de heladas, y con f la utilización de fundentes.

En la segunda columna figura la relación a/c, y en la tercera el contenido mínimo del cemento según sea hormigón en masa o armado. (Ver tabla 2, pág. 63). Las citas (1) y (2) de dicha tabla indican:

- (1) En este caso se emplearán aireantes que produzcan un contenido de aire ocluido igual o superior a 4'5%.
- (2) Si contiene sulfatos el contenido mínimo de los hormigones en masa se elevará a 250. kg. de cemento/m.³ Además tanto para hormigones en masa como para

Condiciones ambientales de la estructura	Elementos en general			Paramentos protegidos y piezas prefabricadas		
	$f_{ck} < 250$	$250 \leq f_{ck} < 400$	$f_{ck} \geq 400$	$f_{ck} < 250$	$250 \leq f_{ck} \leq 400$	$f_{ck} \geq 400$
I. Interior de edificios. Exteriores de baja humedad	20	15	15	15	15	15
II. Exteriores normales. Contacto con aguas normales	30	25	20	25	20	20
III. Atmósfera marina o industrial. — Contacto con el terreno. — Contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas.	40	35	30	35	30	25

	Ensayos	Diferencia máxima tolerada entre los resultados de los ensayos de dos muestras tomadas de la descarga (1/4 y 3/4 de la descarga)
Grupo A	1. Consistencia: Si el asiento medio es igual o inferior a 9 cm.	3,0
	Si el asiento medio es superior a 9 cm.	4,0
	2. Resistencia: En porcentaje respecto a la media (3 probetas cilíndricas de 15×30 cm. a comprensión y a 7 días)	7,5
Grupo B	3. Peso del hormigón en kp. por metro cúbico	16,0
	4. Contenido de aire: En porcentaje respecto al volumen del hormigón	1,0
	5. Contenido de árido grueso: En porcentaje respecto al peso de la muestra tomada	6,0
	6. Módulo granulométrico del árido	0,5

TABLA 1

Ambiente	Relación máxima a/c	Contenido mínimo de cemento kg./m. ³	
		H. en masa	H. armado
I	0,65	150	250
II	0,60	175	275
II _n	0,55	175	300
II _i (1)	0,50	200	300
III	0,55	200	300
III _n	0,50	200	300
III _i (1)	0,50	200	325
Químicamente agresivo (2)	0,50	200	325

TABLA 2

los armados, el cemento deberá ser resistente a los sulfatos si el contenido en sulfatos del agua es mayor o igual que 400 mg./kg., o si en suelos es mayor o igual que 300 mg./kg.

El contenido máximo de cemento sigue siendo 400 kg. por metro cúbico, salvo casos excepcionales.

CAPITULO IX. CONTROL DE MATERIALES

Artículo 62. Control de calidad

En la EH-88 designa de forma explícita quién efectúa el control de materiales indicando "El control de materiales se efectúa, generalmente, con intervención de Laboratorios de Control públicos o privados, pudiendo estos últimos estar homologados oficialmente".

Artículo 63. Control de los componentes de hormigón

63.1. Cemento

Los divide en diferentes apartados como se indica a continuación.

63.1.1. Especificaciones

Aparece como novedad en la EH-88 "No podrán utilizarse partidas de cemento que no lleguen acompañadas del certificado de garantía del fabricante según lo prescrito en 5.1."

63.1.2. Ensayos

No hay diferencia con la EH-82. En nuestra opinión falta el indicar de forma expresa, aunque podía figurar en el Pliego de prescripciones Técnicas particulares, la realización de ensayos tendentes a determinar las características específicas de algunos tipos de cemento, como pueden ser los cementos de bajo calor de hidratación,

resistentes a sulfatos y agua de mar, etc...

63.3. Aridos

Al igual que con el cemento, agua y otros componentes del hormigón consta de tres apartados:

- Especificaciones.
- Ensayos.
- Criterios de aceptación y rechazo.

Lo indicado en estos tres apartados es similar a la anterior Instrucción.

En los comentarios aparece esta observación que es de interés "Cuando el árido no cumple con las limitaciones de tamaño especificadas en 7.2, y ya se ha hormigonado con él algún elemento, es presumible la existencia de coqueas para cuya detección resultan adecuados los ensayos de información tales como ultrasonidos, radiografías, etc."

63.4. Otros componentes del hormigón

Tanto en las especificaciones como en los ensayos se especifican los criterios a seguir para controlar y utilizar tanto los diferentes aditivos, como las adiciones de cenizas volantes.

La abundante normativa UNE al respecto hace que puedan utilizarse con total garantía siempre que se sigan las recomendaciones marcadas en los apartados de este artículo.

Artículo 65. Control de la consistencia del hormigón

En el apartado de comentarios aparece un nuevo criterio que dice "Para evitar problemas de rechazo de un hormigón ya colocado en obra (correspondiente al primer tercio de vertido de la amasada) es recomendable efectuar una determinación de consistencia al principio del vertido, aun cuando la aceptación o rechazo debe producirse en base a la consistencia medida en el tercio central".

Artículo 69.3.2. Ensayos de Control a nivel normal

La EH-88 aporta los siguientes nuevos criterios:

- Al indicar que la obra se dividirá en lotes o partes sucesivas "inferiores cada una al menor de los límites señalados en el cuadro 69.3.2a". No se mezclarán en uno mismo los elementos de función resistente distinta, es decir que pertenezcan a columnas distintas del cuadro.
- Los lotes quedan definidos según el cuadro N.º 1 de la página 64.



Como puede apreciarse hay cambios importantes en relación con la EH-82.

- El tipo de elementos estructurales se definía en la anterior Instrucción como lineales, superficiales y grandes macizos, creando a veces un gran confusionismo en especial con los dos primeros. En la EH-88, con esta nueva clasificación, pueden distribuirse los lotes con mayor claridad y seguridad como puede comprobarse en el cuadro. Así, las vigas van en la columna 2.^a, los pilares en la 1.^a, los forjados en la 2.^a, etc.
- Los límites por volumen y n.º de amasados son muy inferiores a los indicados en la EH-82.

Aumenta el límite por superficie pasando de 500 m.² a 1.000 m.² en las dos primeras columnas. Como este criterio es el que más se utiliza significa esta disposición un cambio importante. En nuestra opinión los lotes pueden quedar así:

Cimentación

Por zapatas	1 lote por cada 100 m. ³
Pilotes	1 lote por cada 50 m. ³
Losas armadas	1 lote por cada 100 m. ³ ó 1.000 m. ²
Vigas de atado	1 lote por cada 100 m. ³ ó 1.000 m. ²

Estructura

Pilares	1 lote por cada 1.000 m. ²
Forjados	1 lote por cada 1.000 m. ² .

- Cambia igualmente el límite superior en el apartado de número de plantas pasando de una en la EH-82, a dos en la EH-88. Esto significa que en una vivienda unifamiliar tipo P.O. en la que anteriormente podían resultar dos lotes ahora solamente quedará uno. Como por cada lote se controlarán al menos dos amasadas, la EH-88 indica "Cuando el lote abarque a dos plantas, el hormigón de cada una de ellas deberá dar origen al menos a una determinación", esto es, por cada planta se hará un control.

Cambia igualmente el cuadro con los valores de Kn para el cálculo de la resistencia estimada. (Cuadro 2).

Los cambios afectan a los siguientes parámetros:

- El valor de N (número de amasadas a controlar por lote) va de 2 a 8, en lugar de 2 a 18 como figuraba en la EH-82.
- La primera columna se refería en la EH-82 a hormigones fabricados en Central de una forma global. En la

TIPOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

CUADRO 1

Límite superior	Elementos comprimidos (pilares, muros, portantes, etc.)	Elementos en flexión simple (vigas, forjados, muros de cont.)	Macizos (zapatas, estribos de puentes, bloques, etc.)
Volumen de hormigón	50 m. ³	100 m. ³	100 m. ³
Número de amasados	25	50	100
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Superficie construida	1.000 m. ²	1.000 m. ²	—
N.º de plantas	2	2	—

VALORES DE kn.

CUADRO 2

N	Hormigones fabricados en central con control de producción		Otros casos
	Con supervisión externa independiente	Sin supervisión externa independiente	
2	0,90	0,88	0,76
3	0,93	0,91	0,81
4	0,95	0,93	0,86
5	0,96	0,95	0,89
6	0,97	0,96	0,92
7	0,98	0,97	0,94
8	0,99	0,98	0,96



EH-88 la subdivide en dos apartados: Con supervisión externa independiente (es el caso de las Centrales que estén en posesión de un sello o Marca de Conformidad, las cuales para su obtención han de estar sometidas a una supervisión externa independiente. Cuando el control se realiza por un Organismo independiente a la Central proporciona la mayor fiabilidad) los valores de K_n son mayores, esto es, el coeficiente estadístico reductor es menor.

La segunda columna es cuando no hay supervisión externa independiente, y los valores de K_n son menores.

La tercera se denomina "otros casos", y se extiende a los hormigones fabricados en obra.

Para comprobar el efecto de estos factores vamos a suponer un lote en el que se han controlado dos amasadas. La media de los resultados a comprensión de las probetas cilíndricas de 15 x 30 cm. a 28 días es:

Amasada 1 200

Amasada 2 220

La resistencia estimada de ese lote será:

$$F_{est} = K_n \times 200$$

Aplicando los diferentes valores de K_n para los tres casos indicados anteriormente resulta:

H. de Central con

supervisión externa. $f_{est} = 0,90 \times 200 = 180 \text{ kg./cm.}^2$

H. de Central sin

supervisión externa. $f_{est} = 0,88 \times 200 = 176 \text{ kg./cm.}^2$

H. de obra (otros

casos).- $f_{est} = 0,76 \times 200 = 152 \text{ kg./cm.}^2$

69.4. Decisiones derivadas del control de resistencia

Son los siguientes (al igual que en la EH-82):

Si $f_{est} \geq f_{ck}$ el lote se aceptará.

Si $f_{est} < f_{ck}$ se procederá como sigue:

a) Si $f_{est} \geq 0,9 \times f_{ck}$ el lote se aceptará.

b) Si $f_{est} < 0,9 \times f_{ck}$ se podrán utilizar a juicio del Director de Obra, a costa del constructor, los estudios y ensayos que procedan de entre los siguientes, de acuerdo con la EH-88:

— Estudio de la seguridad de los elementos que componen el lote, en función de la f_{est} deducida de los ensayos de control. En este caso el Director de obra puede proponer a la propiedad como alternativa a demoler o reforzar, una limitación de las cargas de uso.

— Ensayos de información para estimar la resistencia del hormigón puesto en obra. Con los nuevos valores de resistencia obtenidos se estudiará la seguridad de los elementos como se indica en el apartado anterior.

— Pruebas de carga en los elementos estructurales sometidos a flexión.

En función de estos estudios y ensayos ordenados por el Director de la Obra "y con la información adicional que el constructor pueda aportar a su costa, aquél decidirá si los elementos que componen el lote se aceptan, refuerzan o demuelen, habida cuenta también de los requisitos referentes a la durabilidad y a los estados límites de servicio".

Una resistencia baja puede significar también un descenso en la resistencia a agentes agresivos. Por ello debe considerarse este aspecto importante al igual que el aumento de la fisurabilidad, la disminución de la durabilidad, etc.

Artículo 70. Ensayos de información del hormigón

En la parte de comentarios de este artículo se indica de forma expresa los casos en los que la realización de estos ensayos tiene interés: Se refiere a ensayos no destructivos (esclerómetro, ultrasonidos...), destructivos (probetas testigo), probetas conservadas "in situ", etc.

— Cuando no se dispone de suficiente número de resultados de control o en los casos que preve el artículo 69.4 en este apartado se incluyen los casos en que no se han realizado los controles de un lote, o cuando la resistencia de un lote no cumple con los mínimos exigidos.

— Cuando existan dudas sobre el transporte, vertido, compactación y curado del hormigón. Entran en este apartado, casos tales como la aparición de coqueas o segregación del hormigón, curado defectuoso por no haberse regado suficientemente el hormigón, en épocas de excesivo viento o calor...

— Para seguir el progresivo desarrollo de la resistencia en hormigones jóvenes. Es el caso de que se necesite conocer la curva de crecimiento de resistencias tanto para la eliminación de puntales, apeos, puesta en carga, conocimiento de resistencia a más largo plazo (60 ó 90 días), etc.

— En estructuras que han sufrido agresiones del tipo de heladas, incendios, aparición de fisuras, casos de patología, etc.

— Cuando van a cambiarse los usos de la estructura. Es el caso de un edificio que ha estado destinado a vivien-

da y que pasa a ser una oficina o local público, etc.

- Rehabilitación de edificios. En estos casos, es fundamental la realización de estos ensayos.

Es de gran interés el hecho de que en esta Instrucción se indique "Entre los ensayos no destructivos autorizados en el apartado c) del articulado, pueden considerarse los ensayos UNE 83.307 "Índice de rebote" y UNE 83.308/86 "Velocidad de propagación de ultrasonidos" cuya fiabilidad aumenta cuando se combinan ambos simultáneamente con la extracción y rotura de probetas testigo". En la anterior Instrucción se indicaban los ensayos de esclerómetro y ultrasonidos pero se añadía "muchos de los cuales (métodos no destructivos: esclerómetro y ultrasonidos) se encuentran todavía en evolución, por lo que se ha preferido no especificar ninguno de ellos en el articulado". Puede decirse por tanto que la EH-88 sanciona como bueno el sistema empleado para el estudio de una estructura basado en la combinación de esclerómetro y ultrasonidos a los diferentes elementos, y contraste de estos resultados con la extracción de probetas testigo de hormigón.

Por otra parte se sigue indicando con respecto a las probetas testigo "... y el hormigón de dichas probetas suele resistir algo menos que el del elemento que ellos representan". Parece aconsejable que los valores de resistencia de las probetas testigo la Dirección o el calculista los incrementen entre un 10-15%, de acuerdo con los diversos estudios realizados al respecto.

CAPITULO X. CONTROL DE LA EJECUCION

72.1. Generalidades

En el apartado de comentarios se ha añadido un párrafo en el que se indica: "Además del control de recepción que se realiza en representación de la Administración o de la propiedad, es siempre recomendable la existencia de un control de producción

(autocontrol) por parte del Constructor". Responde este comentario a la idea cada vez más extendida de que para conseguir un buen control de calidad, es necesario la existencia de un autocontrol por parte de la empresa constructora además de la realización del control de la obra por parte de un Laboratorio Homologado.

Se añaden algunas operaciones a realizar en el control de ejecución. Así en el apartado previo al hormigonado se citan en la EH-88 como nuevas: Excavaciones para cimientos y muros, comprobación de recubrimientos, previsión de juntas de hormigonado y retracción y previsión de juntas de dilatación.

Durante el hormigonado se añade: Acabado de superficies de hormigón visto en su caso.

En el apartado de Posterior al hormigonado se añade: Curado.

Artículo 73. Ensayos de información de la estructura

En primer lugar se cambia el título de la EH-82 que era: "Pruebas de la Obra". En la EH-88 se señalan dos causas por las que deben realizarse estos ensayos:

- Cuando debido al carácter particular de la estructura convenga comprobar que la misma reúne ciertas condiciones específicas.
- Cuando a juicio del Director de Obra existen dudas razonables sobre la seguridad o durabilidad de la estructura.
- Cuando la estructura se ha visto sometida a la acción de agentes que pueden alterar su capacidad portante (fuego, sobrecargas excesivas, tiempo, etc.).
- Cuando la estructura va a soportar acciones no previstas en el proyecto.
- En estructuras que van a rehabilitarse, como complemento de los estudios estructurales que deben realizarse.

En cuanto a las condiciones para

que el resultado sea satisfactorio siguen contando:

- Que no aparezcan fisuras cuya amplitud pueda comprometer la seguridad o durabilidad de la estructura.
 - Las flechas máximas obtenidas son inferiores a las marcadas en el proyecto como máximas.
 - La flecha residual después de retirar la carga, es lo suficientemente pequeña como para estimar que la estructura presente un comportamiento esencialmente elástico.
- Se añade en la EH-88 una cuarta que dice:
- Si la flecha máxima media es inferior a $l^2/20.000 \times h$, siendo l la luz del elemento ensayado (o el doble del vuelo si es un voladizo) y h su canto total, no se exigirá la recuperación de la flecha indicada en c).

Este nuevo apartado es de gran interés por cuanto gran número de ensayos de carga no cumplen el apartado c) al exigirse que la flecha residual fuese como máximo 1/5 de la obtenida bajo carga total, no importando cuál fuese la cuantía de la flecha máxima. Así un ensayo realizado en un forjado con una luz de 4 m. y que da una flecha bajo carga total de 0,8 mm., debería dar una residual máxima de 0,16 mm. Esta cifra se supera normalmente por lo que la prueba de carga no cumpliría. Con el nuevo criterio dada la pequeña flecha alcanzada bajo la carga total no es necesario que se cumpla con el apartado c), esto es, puede dar una flecha residual superior a 0,16 mm.

73.3. Otros ensayos no destructivos

Este es un artículo nuevo y en el que de forma genérica se admiten todos aquellos que permitan estimar características diferentes a la resistencia o a las armaduras, tales como: situación de las armaduras, espesor de recubrimiento, permeabilidad del hormigón, formación de coqueas interiores, etc.