

Por JULIO JOSE VAQUERO GARCIA  
INGENIERO DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS.

# Principales novedades de la española de Hormigón Estructural

## 2<sup>a</sup> parte

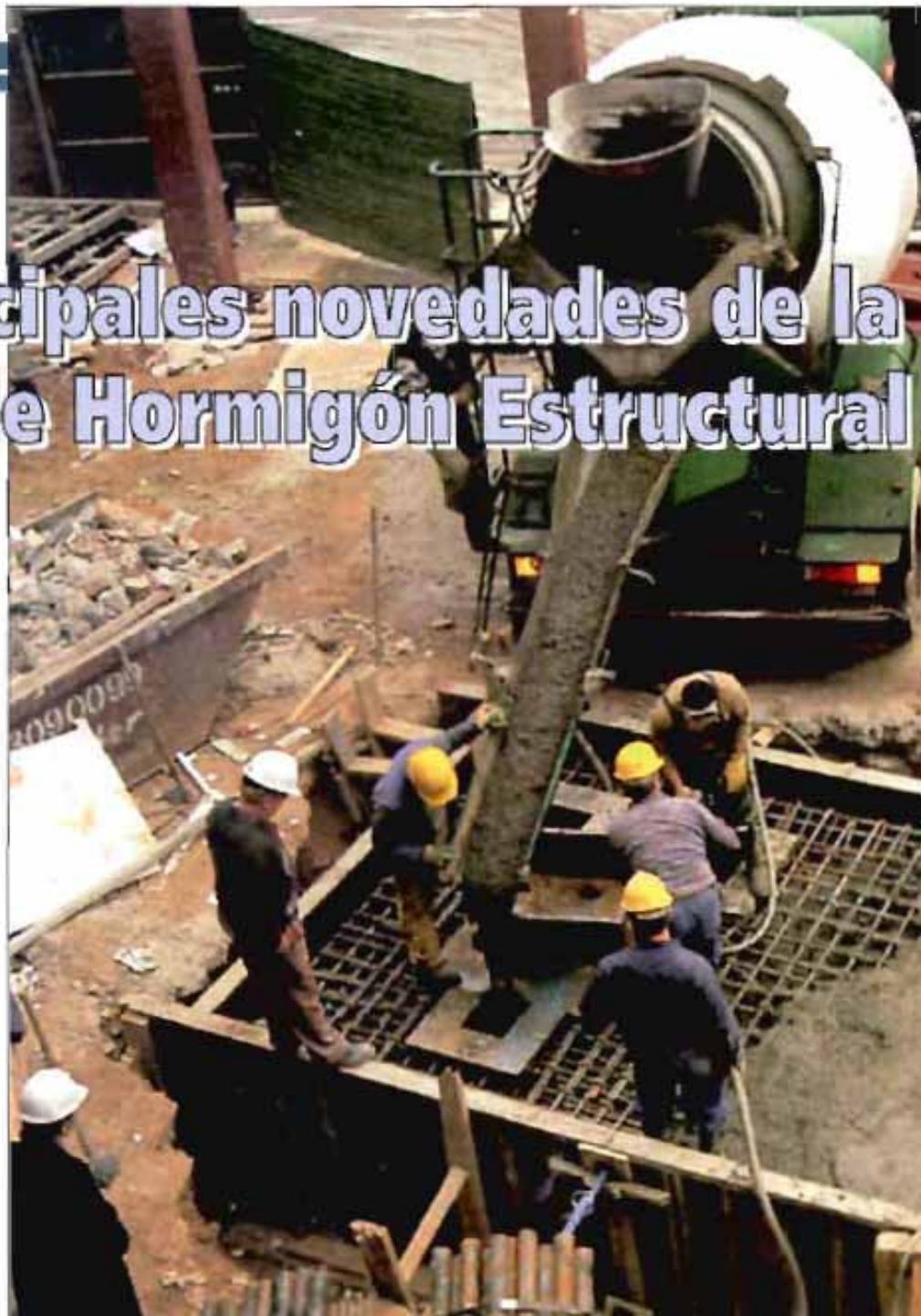
La primera parte de este artículo, en la que se describen las novedades producidas en los aspectos de cálculo, fue publicada en el número anterior de la revista.

Esta segunda parte completa el artículo, y en ella se describen los cambios producidos en la parte relativa a los materiales, la ejecución y el control.

### 5. Novedades más relevantes para las direcciones de obra, laboratorios de control y suministradores de materias primas

#### 5.1. Acreditación de los productos

Como novedad frente a Instrucciones anteriores, se incorpora un nuevo artículo (1.1) dedicado expresamente a la certificación y distintivos de calidad de productos de construcción. En principio, éstos deben suministrarse, como mínimo, con la documentación que es-



Los hormigones se tipifican de acuerdo con una "matrícula", que debe figurar no sólo

tablece la Instrucción para cada uno de ellos. La única certificación obligatoria que se establece es la relativa al "Certificado de adherencia" de barras corrugadas y alambres corrugados que formen parte de mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía (Art. 31.2, 31.3 y 31.4).

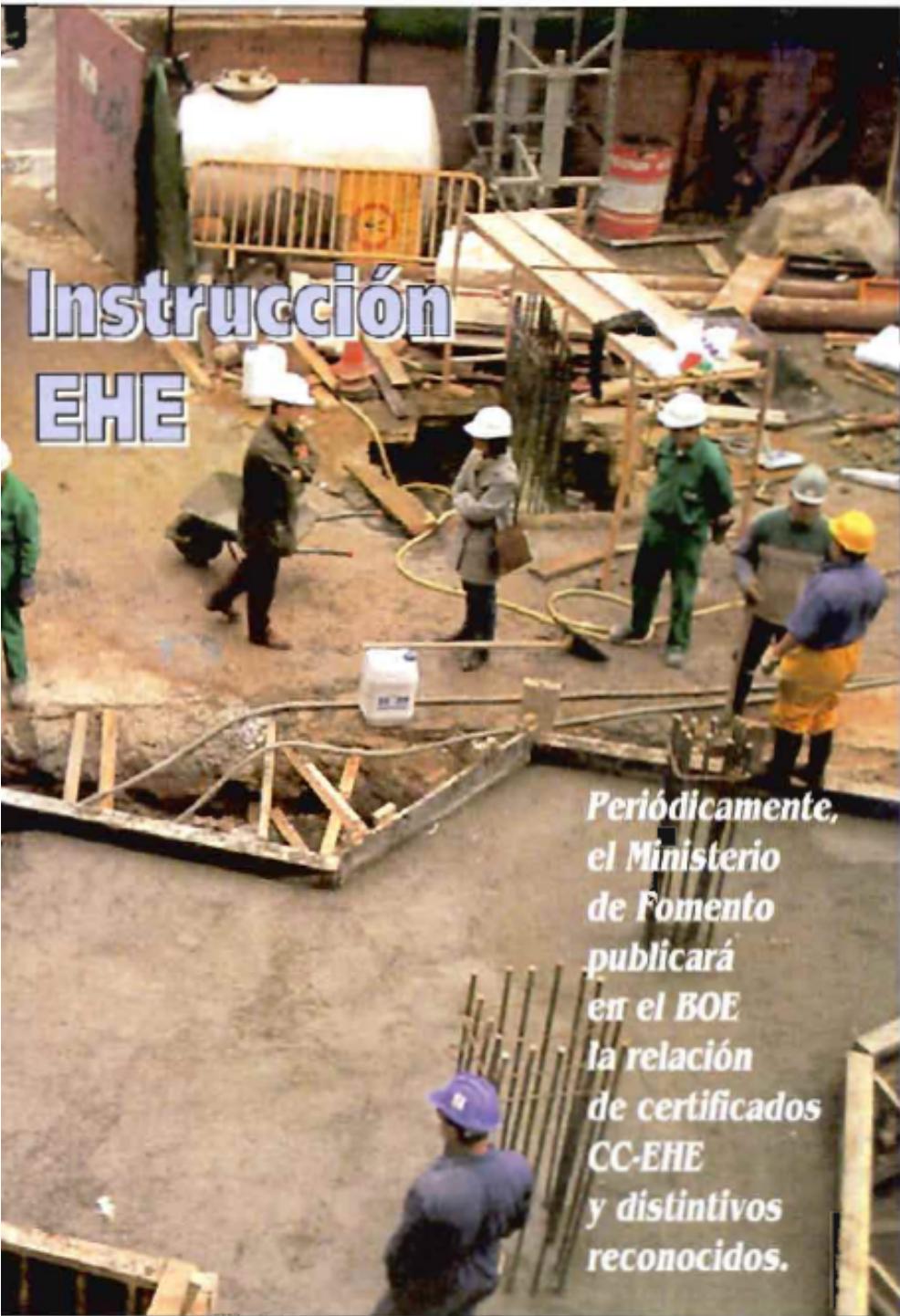
Se recoge, no obstante, que los productos pueden acompañarse voluntariamente de distintivos de calidad (como, por

ejemplo, la marca AENOR) reconocidos oficialmente por un Centro Directivo de las Administraciones Públicas con competencia en materia de edificación u obras públicas, o de un Certificado CC-EHE —acreditativo de que cumple con los requisitos establecidos por la Instrucción EHE— emitido, en este caso, por Organismos autorizados, según se detalla en el artículo 1.1.

Periódicamente, el Ministerio de Fomento publicará en el

# Instrucción EHE

**Periódicamente, el Ministerio de Fomento publicará en el BOE la relación de certificados CC-EHE y distintivos reconocidos.**



en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, sino en los planos del proyecto

BOE la relación de certificados CC-EHE y distintivos reconocidos.

El objeto de esta medida es tratar de iniciar una vía por la que los fabricantes de productos de construcción aumenten su calidad y se vayan sometiendo a sistemas de certificación en el que una tercera parte —normalmente un organismo independiente— acredite que su producto cumple con unas determinadas características. De esta manera, el control se rea-

liza antes de que los materiales lleguen a obra, pudiendo reducirse la intensidad de los ensayos de recepción, así como la incertidumbre que rodea la realización de estos ensayos: condiciones de toma de muestras, condiciones de ensayo, periodo transcurrido entre la utilización del producto y los resultados de ensayo, etc.

Por otro lado, la Instrucción va recogiendo a lo largo del articulado ventajas para los productos certificados o poseendo-

res de un distintivo de calidad, como, por ejemplo, las que se mencionan a continuación:

- Exención de la obligación de realizar ensayos de recepción sobre los cementos (en concordancia con lo indicado en el Pliego de Recepción de Cementos RC-97), así como de los ensayos indicados en el artículo 81.1.2 obligatorios antes de proceder al hormigonado y periódicamente cada 3 meses de obra.

- Exención de la realización de ensayos de identificación de áridos, así como de los correspondientes a condiciones fisico-químicas, fisico-mecánicas y granulométricas (artículo 81.3.2).

- Ventajas en los valores del coeficiente  $K_p$  para la determinación de la resistencia estimada,  $f_{ck}$ , del hormigón (artículo 88.4).

- Aumento del tamaño de los lotes de control del hormigón hasta el doble, lo que representa un menor número de probetas de control (artículo 88.4).

- Exención de la determinación del ensayo de penetración de agua bajo presión, siempre que este ensayo se incluya como objeto del sistema de calidad del hormigón (artículo 85.2).

- Aumento hasta el doble del tamaño de los lotes de control del acero (artículo 90.3.1).

- Ventajas derivadas de la puesta en obra del acero, al permitirse que la comprobación de los resultados del control se realice con la estructura en servicio, en lugar de impedir el hormigonado hasta que éstos estén disponibles.

## 5.2. Materiales

Además de lo comentado en 4.6.2 cabe destacar las novedades que se indican a continuación.

### 5.2.1. Agua

Se produce una disminución en el límite máximo del conte-

nido de ion cloruro, que pasa de 6 a 3 g/l para el caso de hormigón armado u hormigón en masa que contenga armadura para controlar la fisuración.

Se prohíbe de forma expresa la utilización de agua de mar o de aguas salinas en el amasado o curado de hormigones armados o pretensados, excepto en los casos en que existan estudios especiales.

### 5.2.2. Áridos

Las principales novedades que se producen son consecuencia de la adaptación a la nueva normativa europea. Así por ejemplo, la denominación del árido se realiza de acuerdo con el formato d/D (donde d representa el tamaño mínimo y D el tamaño máximo en milímetros), el tamaño máximo de la arena pasa de 5 a 4 mm, etc.

Además de estas modificaciones, deben resaltarse:

- Un pequeño ajuste en el tamaño máximo del árido (las limitaciones pasan de 1,30 a 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo superior a 45° con la dirección de hormigonado, y de 0,5 a 0,4 veces el espesor mínimo de la losa superior de los forjados);
- La incorporación de alguna limitación adicional al contenido de sustancias perjudiciales (sulfatos solubles en ácido y contenido de ion cloruro);
- La definición de un huso



La elaboración de la ferrula y la realización de soldaduras deben llevarse a cabo de acuerdo con UNE 36831:97 y UNE 36832:97, respectivamente.

granulométrico para el árido fino (tabla 8), dentro del cual deben encontrarse las arenas que se utilicen en la fabricación del hormigón, a menos que se justifique experimentalmente que la granulometría propuesta no afecta a las propiedades más relevantes del hormigón.

### 5.2.3. Aditivos y adiciones

Queda prohibida la utilización de cloruro cálcico como aditivo para hormigones armados y pretensados, así como todos aquellos otros que contengan cloruros, sulfuros, sulfitos

u otros componentes que puedan producir corrosión de armaduras.

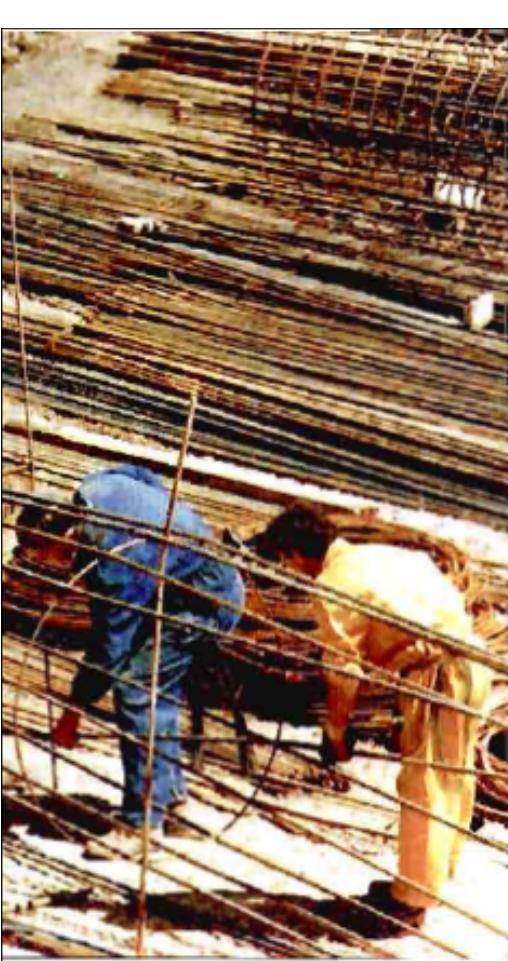
Se incorpora la microsilice como posible adición al hormigón, tanto en masa como armado o pretensado, y se prohíbe expresamente la utilización de cenizas volantes como adición a hormigones pretensados. Además, estas adiciones sólo podrán utilizarse en hormigones fabricados con cemento tipo CEM I.

En estructuras de edificación se limita el contenido máximo de adiciones al hormigón, en referencia al contenido total de cemento, 35% para el caso de cenizas volantes, y 10% para la microsilice.

El empleo de adiciones permite corregir los contenidos de cemento y las relaciones agua/cemento mediante la utilización de un coeficiente K de eficacia (artículo 37.3.2). En cualquier caso, la instrucción indica que los contenidos de cemento resultantes de aplicar este coeficiente no deben ser

Tabla 8: Huso granulométrico del árido fino (artículo 28.3.3.)

Límites	Material retenido acumulado (%) en los tamices (mm).						
	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Superior	0	4	16	40	70	82	(1)
Inferior	20	38	60	82	94	100	100
(1) 94% Áridos redondeados.							
	Áridos de machaqueo no calizos salvo en obras sometidas exclusivamente a clases generales de exposición I o II.						
90% Áridos de machaqueo no calizos en obras sometidas exclusivamente a clases generales de exposición I o II.							
	Áridos de machaqueo calizos salvo en obras sometidas exclusivamente a clases generales de exposición I o II.						
85% Áridos de machaqueo calizos en obras sometidas exclusivamente a clases generales de exposición I o II.							



...en los procedimientos y sistemas normativos.

inferiores en ningún caso a 200, 250 o 275 kg/m<sup>3</sup>, según se trate de hormigones en masa, armados o pretensados.

#### 5.2.4. Hormigones

El hormigón es uno de los materiales sobre el que más atención se ha prestado en la elaboración de esta Instrucción, destacándose el hecho de que no sólo deben tenerse en cuenta sus características mecánicas,

sino también sus características reológicas y sobre todo su durabilidad.

Partiendo de unos condicionantes mínimos similares a los que establecía la anterior Instrucción EH-91, se ha elaborado un completo conjunto de limitaciones a los contenidos mínimos de cemento y a las máximas relaciones agua/cemento con que deben dosificarse los hormigones para alcanzar una adecuada durabilidad, teniendo en cuenta no sólo el tipo de ambiente al que éstos van a estar expuestos, sino también la aplicación prevista para ellos: en masa, armados o pretensados (artículo 37.3.2).

Pero la EHE llega aún más lejos. No sólo establece estas limitaciones, sino que advierte al proyectista, y a los demás agentes que intervienen en la construcción, que no basta especificar un hormigón "durable" en un determinado tipo de ambiente, siendo necesario, además, que la resistencia característica que se especifique para él sea congruente con los contenidos de cemento y agua que se han especificado (el lector comprenderá rápidamente que no es lógico solicitar un hormigón para armar, sometido a un ambiente IIIc, de 25 N/mm<sup>2</sup> de resistencia caracte-

ristica, cuando, por razones de durabilidad, se le exige un contenido mínimo de cemento de 350 kg/m<sup>3</sup>, y una relación agua/cemento inferior a 0,45, dosificación con la que, dependiendo del tipo de árido utilizado, podrían obtenerse resistencias características del orden de 35 N/mm<sup>2</sup>).

Para garantizar la mencionada congruencia, se han incorporado en comentarios unos valores de resistencia orientativos que, lógicamente, deberán ajustarse en cada zona en función de las características de las materias primas utilizadas (tabla 9).

Otra importante novedad introducida es la designación del hormigón, tipificándose éste de acuerdo con una "matrícula" que debe figurar no sólo en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, sino también en los planos del proyecto, como ya se ha comentado en 4.6.

Esta "matrícula" del hormigón tiene el siguiente formato (artículo 39.2):

T - R / C / TM / A

Siendo:

T: Siglas del tipo de hormigón: en masa (HM), armado (HA) o pretensado (HP) (esta información permite conocer las limitaciones específicas que le son de aplicación al hormigón en su dosificación —tipo de adi-

Tabla 9: Limitaciones a los contenidos de agua y de cemento, y resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad del hormigón

Clase de exposición	Máxima relación a/c			Mínimo contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )			Resistencia mínima (N/mm <sup>2</sup> )		
	HM	HA	HP	HM	HA	HP	HM	HA	HP
I	0,65	0,65	0,60	200	250	275	20	25	25
IIa	-	0,60	0,60	-	275	300	-	25	25
IIb	-	0,55	0,55	-	300	300	-	30	30
IIIa	-	0,50	0,50	-	300	300	-	30	30
IIIb	-	0,50	0,45	-	325	325	-	30	35
IIIc	-	0,45	0,45	-	350	350	-	35	35
IV	-	0,50	0,45	-	325	325	-	30	35
Qa	0,50	0,50	0,50	275	325	325	30	30	30
Qb	0,50	0,50	0,45	300	350	350	30	30	35
Qc	0,45	0,45	0,45	325	350	350	35	35	35
H	0,55	0,55	0,55	275	300	300	30	30	30
F	0,50	0,50	0,50	300	325	325	30	30	30
E	0,50	0,50	0,50	275	300	300	30	30	30

HM: Hormigón en masa

HA: Hormigón armado

HP: Hormigón pretensado

ciones que se pueden emplear, limitaciones a los contenidos de agua y de cemento—, e incluso en su resistencia).

**R:** Resistencia característica especificada, en N/mm<sup>2</sup> (la serie tipificada para hormigones convencionales es la siguiente: 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50, añadiéndose para el caso de hormigones de alta resistencia los valores: 55, 60, 70, 80, 90 y 100).

**C:** Letra inicial del tipo de consistencia: seca (S), plástica (P), blanda (B) o fluida (F).

**TM:** El tamaño máximo del árido, en mm.

**A:** La designación del tipo de ambiente.

Así, por ejemplo, un hormigón armado de resistencia característica a compresión a 28 días de 25 N/mm<sup>2</sup> (el antiguo H-250), de consistencia plástica, con tamaño máximo de árido 20 mm, en un ambiente exterior con una precipitación media (ambiente IIb), se designaría como:

HA - 25 / P / 20 / IIb

### 5.2.5. Aceros

Al unificarse en una sola Instrucción los hormigones armados y pretensados, se recogen las características y especificaciones tanto para las armaduras pasivas como activas.

Además de las novedades comentadas en 4.3.1, merece la pena destacar las siguientes:

1. Se introduce un nuevo tipo de armadura pasiva: la armadura básica electrosoldada en celosía, constituida a partir de alambres lisos o corrugados, para la que se contempla la siguiente serie de diámetros:

5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 y 12 mm.

2. Entre los diámetros nominales de las barras corrugadas no sólo se incorpora de nuevo el Ø 14 mm, sino que desaparecen los diámetros de 4, 5 y 50 mm.

3. En el caso de los alambres

corrugados utilizados en mallas electrosoldadas, desaparecen los diámetros 4, 4,5 y 13 mm, y se incorpora un nuevo valor de 11,5 mm. Además, para los casos normales se recomienda la utilización de mallas de la serie:

5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 y 12 mm.

4. Los diámetros y características de cables y cordones utilizados como armaduras activas se ha adaptado a la normativa UNE correspondiente (UNE 36094:97 para cables y UNE 36094:97 para cordones), por lo que existen novedades en los diámetros, en la desaparición del término torzal, o en la desaparición de los alambres de grado de relajación R-5, etc.

### 5.3. Ejecución

#### 5.3.1. Encofrados

Se prohíbe expresamente la utilización del aluminio en moldes o encofrados que deban estar directamente en contacto con el hormigón. La razón de esta prohibición es la posible reacción de este metal con los álcalis del cemento, produciendo unas reacciones químicas en las que se desprende nitrógeno, dando lugar a una superficie debilitada y más propensa a la entrada de agentes agresivos. Por lo tanto, este tipo de moldes y encofrados deben presentar siempre unos revestimientos adecuados y en buen estado de conservación.

Aunque no se desarrolle con detalle, la Instrucción establece también que el suministrador de puentes es responsable de justificar y garantizar las características de los mismos, debiendo indicar las condiciones en que éstos deben utilizarse.

#### 5.3.2. Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras pasivas

Se pone un especial interés en que la elaboración de la ferralla y la realización de las sol-

daduras se lleven de acuerdo con procedimientos y sistemas normalizados, a fin de mejorar la calidad. Por esa razón, la elaboración de la ferralla debe llevarse a cabo según las especificaciones contenidas en la norma UNE 36831:97, en la que se recogen aspectos relativos al doblado de las armaduras, recubrimientos, sistemas de atado, tolerancias dimensionales, etc.

En el caso de la soldadura, ésta puede emplearse en la elaboración de la ferralla siempre que se lleve a cabo en un taller con instalación industrial fija, y según la norma UNE 36832:97, tratando de reducir al mínimo imprescindible las soldaduras que deban realizarse en obra. En la mencionada norma se definen determinados procesos y sistemas de soldadura, estableciendo un sistema de control de calidad para ellos.

Otras novedades introducidas han sido las siguientes:

1. Se modifican los diámetros mínimo de los mandriles para el doblado de las armaduras.

2. Se contemplan nuevas disposiciones para el anclaje de las armaduras: el gancho en U y la barra transversal soldada (artículo 66.5.1).

3. Se ha completado el listado de situaciones en las que debe limitarse la realización de empalmes por soldadura (artículo 66.6.5).

4. Se ha incluido un artículo relativo a la utilización de empalmes mecánicos (artículo 66.6.6).

#### 5.3.3. Colocación y tesado de las armaduras activas

En este apartado las novedades más destacables son:

1. Una más completa definición de las distancias mínimas entre armaduras activas (pretesas y postesas).

2. La inclusión en comenta-



Por primera vez, se reconoce que la eficacia del control de calidad es el resultado de la acción complementaria del control ejercido por el productor (control interno) y el receptor (control externo).

rios de un método simplificado para estimar los valores de las longitudes de transferencia y de anclaje por adherencia, utilizable cuando no se disponga de resultados experimentales (artículo 67.4).

3. Una definición más completa de la información que debe contener un programa de tesado.

#### 5.3.4. Fabricación y transporte a obra del hormigón

La Instrucción EHE sigue distinguiendo, como en ocasiones anteriores, entre hormigón fabricado en central y hormigón no fabricado en central, cuya diferencia más notable esriba en la existencia o no de un sistema de control de producción.

Como novedad frente a las Instrucciones anteriores cabe mencionar que los hormigones fabricados en central deben

cumplir una serie de condiciones, aplicables tanto al hormigón fabricado en una central de obra, como al hormigón preparado. Asimismo, es novedoso que el texto reglamentario desaconseje expresamente los hormigones no fabricados en central, como consecuencia de las dispersiones que se producen en la calidad de los mismos.

##### 5.3.4.1. Hormigón fabricado en central

1 Transporte: pasa a ser reglamentaria la limitación de que el tiempo transcurrido entre la incorporación del agua de amasado y la colocación del hormigón no supere la hora y media (artículo 69.2.7). Asimismo, se indica que en tiempo caluroso, o en condiciones que contribuyan a un rápido fraguado del hormigón, este límite debe rebajarse o bien adoptar las medidas necesarias

## Rutas Técnica

para aumentar el tiempo de fraguado sin perjudicar la calidad del hormigón.

2. Designación: la designación del hormigón puede hacerse por propiedades o por dosificación, debiéndose indicar en ambos casos toda la información que forma parte de la nueva "matrícula" del hormigón, con la única diferencia de que en la designación por propiedades se hará referencia a la resistencia característica, en N/mm<sup>2</sup>, y en la designación por dosificación al contenido de cemento, en kg/m<sup>3</sup>.

En la designación por propiedades se pide al peticionario que solicite características congruentes entre sí, como ya se ha indicado en 5.4, y se establece que el suministrador es el responsable de garantizar las características exigidas a ese hormigón, y de cumplir con las limitaciones de dosificación (contenido de cemento y relación agua/cemento) establecidas en función del tipo de ambiente.

Por el contrario, en la designación por dosificación es el peticionario el único responsable de la congruencia entre las características especificadas, mientras que el suministrador únicamente debe garantizar el cumplimiento de las especificaciones que le han dado e informar de la relación agua/cemento resultante.

3. Entrega: para poder utilizarse en la obra, el hormigón fabricado en central debe ir acompañado de una hoja de suministro (artículo 82), debidamente cumplimentada y firmada por persona física. La información que debe contener esa hoja de suministro (artículo 69.2.9.1) se ha completado con relación a la que se exigía en la reglamentación anterior. Como datos más importantes destacan, en el caso del hormigón designado por propiedades, los siguientes:

- El contenido de cemento, con una tolerancia de  $\pm 15$  kg/m<sup>3</sup>, y

- La relación agua/cemento con una tolerancia  $\pm 0.02$ .

4. **Recepción:** la Dirección de obra es responsable de que se lleve a cabo el control de recepción del hormigón, tomando las muestras necesarias y realizándose los ensayos pertinentes.

Se prohíbe la adición de cualquier cantidad de agua al hormigón fresco. En caso necesario, se admite únicamente la incorporación, por parte del suministrador, de aditivo fluidificante hasta alcanzar la consistencia especificada al hormigón. Además, para garantizar que no se lleva a cabo esta mala práctica, los comentarios del artículo 69.2.9.2 recomiendan que el constructor establezca un sistema específico de control para evitar que se añada agua al hormigón, siendo responsabilidad de la Dirección de obra comprobar la existencia y la eficacia de dicho control.

### 5.3.4.2. Hormigón no fabricado en central

Como ya se ha mencionado, este tipo de hormigón no es en absoluto recomendado por la Instrucción. Sin embargo, se ha sido consciente de su existencia, razón por la que se han incorporado una serie de exigencias y especificaciones, que tratan de aumentar la calidad del hormigón resultante.

Entre las medidas adoptadas destacan las siguientes:

1. Se incrementa el tiempo mínimo de amasado.

2. El fabricante de este hormigón debe documentar adecuadamente la dosificación que va a utilizar, que deberá ser expresamente aceptada por la Dirección de obra.

3. Los operarios encargados de la fabricación del hormigón han de contar con la experiencia y formación necesarias.



4. Se ha de llevar un detallado libro de control —que deberá estar en obra y a disposición de la Dirección de obra— en el que han de reflejarse dosificaciones empleadas, incidencias producidas, relación de proveedores, resultados de ensayo, registro del número de amasadas por lote, etc.

### 5.3.5. Curado del hormigón

La aportación más significativa se produce en los comentarios al artículo 71, donde se desarrolla un procedimiento para estimar la duración mínima del curado del hormigón, a través de una fórmula muy sencilla:

$$D = K \cdot L \cdot D_0 + D_1 \text{ (días)}$$

en la que se tienen en cuenta la clase de exposición (coeficiente K), la temperatura ambiente (coeficiente L), la velocidad de desarrollo de la resistencia del hormigón y las condiciones ambientales durante el curado (parámetro D<sub>0</sub>) y el tipo de conglomerante (cemento o cemento + adiciones) utilizado (parámetro D<sub>1</sub>). El resultado final son unos plazos de curado que varían en

entre valores extremos de 1 y 21 días, con un resultado de 5 días para los casos más normales.

### 5.3.6. Descimbrado, desencofrado y desmoldeo

Se ha incorporado en los comentarios al artículo 75 una nueva tabla (tabla 10) en la que se indican unos períodos mínimos para el desencofrado y descimbrado de elementos de hormigón armado. Los valores de dicha tabla pueden utilizarse cuando se hayan utilizado cementos de endurecimiento normal (closes resistentes 32,5R y 42,5).

### 5.3.7. Acabado de superficies

Se incorpora este nuevo artículo respecto a la EII-91 (la EP-93 ya lo tenía y ahora se especifica), que indica las medidas que se deben adoptar para mejorar el aspecto de las superficies vistas de hormigón.

### 5.3.8. Inyección

Por último, el artículo 78 desarrolla de forma más amplia todo el proceso de inyección

Tabla 10: Periodos mínimos de desencofrado y descimbrado para elementos de hormigón armado

Temperatura superficial del hormigón	$\geq 24^\circ\text{C}$	$16^\circ\text{C}$	$8^\circ\text{C}$	$2^\circ\text{C}$
Encofrado vertical	9 horas	12 horas	18 horas	30 horas
Fosas	Fondos de encofrado	2 días	3 días	5 días
	Puntales	7 días	9 días	13 días
Vigas	Fondos de encofrado	7 días	9 días	13 días
	Puntales	10 días	13 días	18 días
				28 días

que se definía en la Instrucción EP-93, indicándose los elementos precisos de los que hay que disponer, cómo ha de prepararse la mezcla para la inyección, qué debe contener el programa de inyección, cómo ha de ejecutarse ésta (se amplia el intervalo de velocidades de inyección de 6 a 12 m/min, hasta 5 a 15 m/min), y por último, cómo ha de controlarse y qué medidas de seguridad deben adoptarse.

#### 5.4. El control de calidad

Se ha mejorado sustancialmente el capítulo relativo al control de calidad, con la introducción de algunos criterios nuevos y la mejor definición de las responsabilidades atribuibles a cada uno de los agentes que intervienen en la realización de una estructura de hormigón.

Por primera vez, se reconoce que la eficacia del control de calidad es el resultado de la acción complementaria del control ejercido por el productor (control interno) y el receptor (control externo).

Por control interno se define el conjunto de acciones realizadas por el proyectista, el contratista, el subcontratista, o por el proveedor, cada uno dentro del alcance de su tarea específica en el proceso de construcción; mientras que el control externo se corresponde con el realizado por la Propiedad —normalmente a través de un profesional o de una organización independiente de control— con objeto de comprobar las medidas adoptadas por el control interno, y de establecer otros procedimientos adicionales de control.

La Instrucción desarrolla con detalle el control externo (control de materiales y de ejecución), y recomienda la existencia de un control interno, definiendo en determinados casos en lo que debe consistir.

#### 5.4.1. Control de materiales

##### 5.4.1.1. Control de los componentes del hormigón

Como novedad, se ha introducido la exigencia de que las materias primas utilizadas en la fabricación del hormigón (cemento, áridos, aditivos y, en su caso, adiciones) vayan acompañadas de un certificado de garantía del fabricante, firmado por una persona física. Esta última condición hace que este tipo de certificados cobren un verdadero valor, al poderse concretar las responsabilidades en el caso de incumplimientos, por lo que debe exigirse que la firma corresponda a personas de responsabilidad dentro de la empresa.

El certificado de garantía varía de unos materiales a otros:

- en el caso del cemento es el albarán que acompaña cada entrega (artículo 26.2);
- en el caso de los áridos puede ser o bien una garantía documental del cumplimiento de las especificaciones, o bien un certificado de idoneidad emitido por un laboratorio oficial u oficialmente acreditado —con una antigüedad no superior al año— (artículos 28.1 y 81.3.2);
- para los aditivos se especifica un certificado de garantía, propiamente dicho, donde el fabricante se responsabilice de que su producto, empleado en las proporciones y condiciones previstas, no afecta significativamente a la calidad final del hormigón, ni representa riesgo alguno para las armaduras (artículo 29.1);

- por último, para las adiciones no solamente deberá constar una garantía documental por parte del fabricante, sino también un certificado de garantía emitido por un laboratorio oficial u oficialmente acreditado, en el que deberán recogerse los resultados de los ensayos previstos por la Instrucción (artículos 29.2.3 y 81.4.1).

##### 5.4.1.2. Control del hormigón

Al control de calidad, realizado hasta ahora basándose en la consistencia y a la resistencia, se añade el control de la durabilidad y el tamaño máximo del árido.

a) Control de la consistencia: el cambio más significativo es que la determinación de la consistencia se llevará a cabo a partir de la media de dos determinaciones en lugar de las tres que especificaban la EH-91 y la EP-93.

b) Control de la resistencia: se definen tres modalidades de control: control a nivel reducido, control al 100 por 100, y control estadístico.

El control a nivel reducido (artículo 88.2) sigue basándose en la medida de la consistencia del hormigón, pudiéndose utilizar en obras de ingeniería de pequeña importancia, y en edificios de viviendas de hasta 2 plantas con luces inferiores a 6 m, o en elementos a flexión en edificios de hasta 4 plantas, siempre que no se encuentren en ambientes III ó IV (corrosión por cloruros). La elección de esta modalidad de control implica además que, con independencia del hormigón utilizado, no puede adoptarse para la resistencia de cálculo,  $f_a$ , un valor superior a  $10 \text{ N/mm}^2$ .

El nivel de control al 100 por 100 no experimenta cambios con relación a las Instrucciones anteriores.

En cuanto al control estadístico, en él se unifican los niveles de control normal e intenso utilizados en la EH-91 y EP-93, habiéndose introducido algunas diferencias:

- Se producen cambios en la definición de los lotes de control, donde se distingue entre estructuras con elementos comprimidos y estructuras que tienen exclusivamente elementos sometidos a flexión.
- Los lotes se aumentan has-

Tabla 11: Valores de  $K_s$ 

N	Recorrido relativo máximo, $r$	Hormigones fabricados en central						Otros casos	
		CLASE A		CLASE B		CLASE C			
		Con sello de calidad	Sin sello de calidad	Recorrido relativo máximo, $r$	$K_s$	Recorrido relativo máximo, $r$	$K_s$		
2	0,29	0,93	0,90	0,40	0,85	0,50	0,81	0,75	
3	0,31	0,95	0,92	0,46	0,88	0,57	0,85	0,80	
4	0,34	0,97	0,94	0,49	0,90	0,61	0,88	0,84	
5	0,36	0,98	0,95	0,53	0,92	0,66	0,90	0,87	
6	0,38	0,99	0,96	0,55	0,94	0,68	0,92	0,89	
7	0,39	1,00	0,97	0,57	0,95	0,71	0,93	0,91	
8	0,40	1,00	0,97	0,59	0,96	0,73	0,95	0,93	

Clase A: central con coeficiente de variación,  $\delta$ , comprendido entre 0,08 y 0,03.

Clase B: central con coeficiente de variación,  $\delta$ , comprendido entre 0,013 y 0,016.

Clase C: central con coeficiente de variación,  $\delta$ , comprendido entre 0,16 y 0,20.

$$r = \frac{x_{\text{m}} - x_{\text{m}}}{x_{\text{m}}}$$

Siendo:  $x_{\text{m}}$  la resistencia de la amasada de menor resistencia,  
 $x_{\text{M}}$  la resistencia de la amasada de mayor resistencia.  
 $x_{\text{m}}$  la resistencia media de todas las amasadas controladas en el lote.

ta el doble cuando se utilizan hormigones fabricados en central (tanto en la propia obra como si se trata de hormigón preparado) que esté en posesión de un Sello o Marca de calidad oficialmente reconocido.

- Se modifica el número mínimo de amasadas de control por lote: 2 para resistencias características,  $f_{ck}$ , inferiores o iguales a 25 N/mm<sup>2</sup>, 4 para resistencias comprendidas entre 25 y 35 N/mm<sup>2</sup>, y 6 para resistencias superiores a 35 N/mm<sup>2</sup>.

- El valor del coeficiente  $K_s$  (tabla 11) para la determinación de la resistencia estimada,  $f_{es}$ , ha experimentado un cambio importante (artículo 88.4), tanto para los hormigones fabricados en central como para otros hormigones. Baste señalar que, en el caso de hormigón fabricado en central, el valor de dicho coeficiente no depende, como hasta ahora, únicamente del número de amasadas por lote y de la posesión de un sello de calidad por parte de la central, sino que ahora depende también del coeficiente de variación de la central (relación existente entre la desviación típica y el valor medio) y del valor del recorrido relativo máximo obtenido en los resultados

de resistencia de las amasadas controladas de cada lote.

c) Control de la durabilidad: regulado en el artículo 85, se basa fundamentalmente en el control documental de las hojas de suministro —con objeto de comprobar el cumplimiento de las limitaciones establecidas a los contenidos de agua y de cemento—, y en el control de la profundidad de penetración de agua bajo presión.

El control documental se realiza para todas las amasadas de hormigón que se realicen o lleguen a obra, mientras que el ensayo de penetración de agua bajo presión ha de realizarse con carácter previo al inicio de las obras cuando el hormigón vaya a estar en un ambiente con riesgo de corrosión por cloruros (ambientes II ó IV), o sometido a cualquier tipo de exposición específica (ambiente químico agresivo, heladas o erosión). El objeto de este ensayo es la validación de las dosificaciones de hormigón que vayan a utilizarse, y por lo tanto debe llevarse a cabo con los mismos materiales, y fabricarse en las mismas instalaciones que luego vayan a emplearse durante la obra.

d) Ensayos de información complementaria del hormigón:

las novedades introducidas con relación a la reglamentación anterior son muy sencillas:

- no deben extraerse testigos de hormigón endurecido cuando pueda suponer un riesgo para la seguridad del elemento estructural, debiéndose considerar la posibilidad de realizar un apuntalamiento provisional antes de efectuar esta operación;

- la toma de testigos debe realizarse al azar, y no de manera concentrada en las zonas en las que se conoce que se ha producido una baja de resistencia.

- debe tenerse en cuenta que, a igualdad de factores (curado, edad, etc.), la resistencia sobre testigos es del orden de un 10% inferior a la resistencia sobre probetas.

#### 5.4.1.3. Control del acero

Se fijan dos niveles de control del acero: el normal y el reducido, desapareciendo, por tanto, el nivel de control intenso.

La Instrucción prohíbe la utilización de aceros que lleguen a obra sin un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física, en el que deben figurar las características mecánicas mínimas y la ausen-



cia de grietas tras los ensayos de doblado y desdoblado, para las armaduras pasivas; y los valores de carga unitaria máxima, límite elástico, alargamiento bajo carga máxima, estricción a la rotura, módulo de elasticidad y relajación a 1 000 horas, para las armaduras activas. Además, las barras y alambres corrugados deben ir acompañados, obligatoriamente, de un certificado específico de adherencia, emitido por alguno de los Organismos autorizados en el artículo 1 para la emisión de un certificado CC-EHE.

a) El control a nivel reducido sólo es de aplicación a armaduras pasivas, y en el caso de que haya un consumo de acero muy reducido, o bien sea difícil la realización de ensayos completos sobre el material. En cualquier caso, la resistencia de cálculo se reduce en un 25% ( $f_u = 0,75 f_u^*/\gamma_s$ ).

b) El control a nivel normal es el único que puede utilizarse en el caso de obras de hormigón pretensado. Para la formación de lotes, se agrupan los aceros —tanto activos como pasivos— por diámetros en tres series: serie fina ( $\leq 10$  mm), serie media (12 a 20 mm) y serie gruesa ( $\geq 25$  mm). El lote está formado por una determinada

cantidad de acero de un mismo suministrador, designación y serie. Esta cantidad varía entre aceros certificados o no: 40 t para armaduras pasivas y 20 t para las activas, en el primer caso, y 20 t y 10 t respectivamente para el segundo.

La Instrucción fija la toma de dos probetas por lote, sobre las que han de realizarse los mismos ensayos que ya venían regulados por EH-91 y EP-93. La gran diferencia es que el resultado de esos ensayos debe conocerse antes de la puesta en servicio de la estructura, cuando el acero está certificado, mientras que para los aceros no certificados dichos resultados deben conocerse antes de proceder al hormigonado.

c) La comprobación de la soldabilidad (artículo 90.4) distingue, a diferencia de la EH-91, los ensayos que es preciso llevar a cabo en función del ti-

po de soldadura (a tope, por solapado, en cruz, etc.), con el fin de comprobar la aptitud del procedimiento utilizado. Adicionalmente, y aunque los aceros para armaduras pasivas contemplados por la Instrucción son todos soldables, se exige la comprobación de que la composición química de estos aceros es la adecuada para poder llevar a cabo la soldadura. Esta comprobación será, en la mayoría de los casos, de tipo documental —certificados aportados por el fabricante—, si bien se advierte sobre la necesidad de realizar ensayos cuando el acero no venga acompañado de esta información.

d) En cuanto al control sobre dispositivos de anclaje y empalme de armaduras postesas, vainas y accesorios de armaduras pretensadas, equipos de tesado y productos de inyección no se han producido novedades.

#### 5.4.2. *El control de ejecución*

Se mantienen como hasta ahora tres niveles de control: reducido, normal e intenso, la elección de los cuales está directamente relacionada con los coeficientes de mayoración de acciones (ver 4.1.2).

Para la realización del control de ejecución debe redactarse un Plan de Control, en el que la obra se divide en lotes, de acuerdo con los criterios establecidos por la Instrucción (tabla 12), indicándose los aspectos que van a ser objeto de inspección. En el artículo 95 se indican las comprobaciones mínimas que hay que realizar, tanto de ti-

Tabla 12: Lotes definidos para el control de ejecución

Tipo de obra	Tamaño del lote
Edificios	500 m <sup>2</sup> , sin rebasar las dos plantas
Puentes, acueductos, túneles, etc.	500 m <sup>2</sup> de planta, sin rebasar los 50 m
Obras de grandes macizos	250 m <sup>3</sup>
Chimeneas, torres, pilas, etc.	250 m <sup>3</sup> , sin rebasar los 50 m
Piezas prefabricadas:	
• De tipo lineal	500 m de banda
• De tipo superficial	250 m

po general —sobre el replanteo, cimbras, armaduras, encofrados, hormigonado, etc. — como específicas para forjados de edificación o para prefabricación.

La Propiedad y la Dirección de obra son responsables de que se lleve a cabo el control externo de ejecución. Para ello, deben realizarse una serie de inspecciones por lote (1, 2 ó 3), en función del nivel de control adoptado (reducido, normal o intenso), reflejando los resultados de las mismas, así como las medidas correctoras adoptadas, en partes o informes que se recogerán en la Documentación Final de la obra que deberá entregar la Dirección de obra a la Propiedad (artículos 4.9 y 95.1).

En el caso del nivel de control intenso —favorecido con unos coeficientes de mayoración de acciones muy favorables (1,35 para cargas permanentes y 1,50 para variables)— las exigencias son muy superiores, ya que el Constructor debe poseer un sistema propio de calidad auditado de forma externa, y la elaboración de la ferralla y los elementos prefabricados, en caso de existir, han de realizarse en instalaciones industriales fijas con un sistema de certificación voluntario.

### 5.4.3. Ensayos de información complementaria de la estructura

A diferencia de la Instrucción precedente, la EHE define con más precisión las pruebas de carga sobre las estructuras, distinguiendo entre pruebas reglamentarias (obligatorias para puentes de carreteras y de ferrocarril), pruebas de información complementaria (realizadas cuando se han producido cambios o problemas durante la construcción), y pruebas de evaluación de la capacidad resistente (para la evaluación de la seguridad de las estructuras).

Para cada una de ellas se



dan criterios para la realización, control, análisis e interpretación de los resultados, destacándose el hecho de que este tipo de pruebas deben llevarse a cabo por personal especializado.

## 6. Resumen y conclusiones

Como se ha podido apreciar a lo largo de este artículo, la nueva Instrucción EHE presenta numerosos matices y detalles que es necesario tener en cuenta, cuya razón de ser ha sido dar una respuesta útil a las nuevas exigencias de calidad demandadas por la sociedad, en relación a las estructuras de hormigón.

Gracias a la tradición reglamentaria existente en nuestro

país en la materia que nos ocupa, estos cambios no han sido profundos, pudiéndose calificar como adaptaciones necesarias con el transcurrir de los años, el avance de los conocimientos y el desarrollo de nuevas técnicas y materiales.

Pero es más, esta Instrucción debe considerarse como un documento abierto al debate técnico y a la incorporación de nuevas y mejores definiciones y especificaciones, por lo que se anima al técnico interesado en estas materias a hacer llegar sus opiniones y críticas a la Comisión Permanente del Hormigón, con la certeza de que éstas serán debatidas y, en su caso, tenidas en cuenta. ■

*Julio José Vaquero García. Jefe de la División de Normativa y Tecnología del Hormigón del IBCA.*