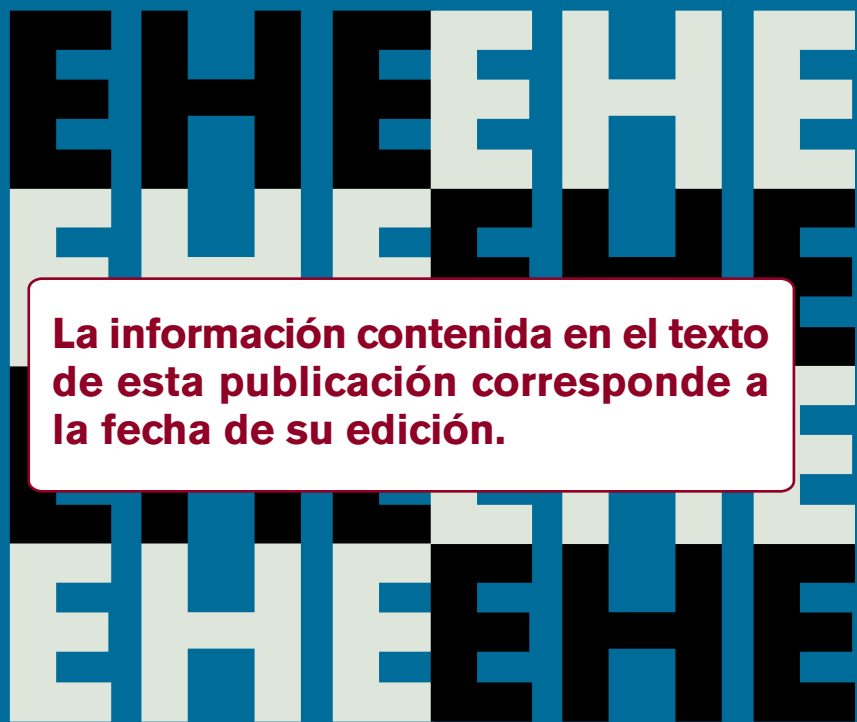


GUÍA

PARA EL USO DE LA INSTRUCCIÓN EHE



La información contenida en el texto de esta publicación corresponde a la fecha de su edición.

MATERIALES • EJECUCIÓN • CONTROL

The logo for ITeC, consisting of the letters 'ITeC' in a bold, white, sans-serif font, centered within a solid black rectangular background.

GUÍA

PARA EL USO DE LA INSTRUCCIÓN EHE

MATERIALES • EJECUCIÓN • CONTROL

La información contenida en el texto de esta publicación corresponde a la fecha de su edición. Es posible, por tanto, que en la actualidad algunos datos (precios, normativa, leyes, etc.) se hayan modificado, lo cual debe tenerse en cuenta al hacer uso de ella.

Con la colaboración:



Diseño de la portada: Toni Garriga

Reservados todos los derechos. Para la reproducción total o parcial de esta obra, en cualquier modalidad, será necesaria la autorización previa del titular del ©.

© Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC

1ª edición: Marzo 1999
2ª edición: Junio 1999
1ª reimpresión: Octubre 1999
2ª reimpresión: Noviembre 1999
3ª reimpresión: Febrero 2000
ISBN: 84-7853-371-0
Impreso en: Cometa
Depósito Legal: Z-1831-99



Institut de
Tecnologia de la Construcció
de Catalunya

Este trabajo se ha realizado en el ITeC, por:

redactor:

Ferran Bermejo Nualart

con la colaboración:

Rafael Bellmunt Ribas

José Manuel Gállego Estévez

Fruitós Mañà Reixach

Antoni Pla Cavallé

Fernando Rodríguez García

Julio José Vaquero García

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 7 |
| 1. Ámbito normativo | 9 |
| 1.1 Decreto de aprobación y fecha de publicación | 9 |
| 1.2 Entrada en vigor | 9 |
| 1.3 Instrucciones derogadas | 9 |
| 1.4 Ámbito de aplicación | 10 |
| 2. Campo de aplicación | 11 |
| 2.1 Tipos de hormigón considerados | 11 |
| 2.2 Productos básicos autorizados | 11 |
| 2.3 Acreditación de los productos | 12 |
| 3. Unidades | 13 |
| 4. El proyecto | 15 |
| 4.1 La documentación | 15 |
| 4.2 Los planos | 15 |
| 4.3 Los pliegos de prescripciones técnicas particulares | 16 |
| 4.4 La durabilidad de las estructuras de hormigón | 16 |
| 4.5 Dimensionado básico de los elementos | 21 |
| 5. Los materiales componentes del hormigón | 24 |
| 5.1 El cemento | 24 |
| 5.2 El agua | 26 |
| 5.3 Los áridos | 26 |
| 5.4 Aditivos y adiciones | 29 |
| 6. El hormigón | 30 |
| 6.1 Designación de los hormigones en función de su resistencia | 30 |
| 6.2 Designación de los hormigones en función de la durabilidad | 31 |
| 6.3 Dosificación de hormigones | 32 |
| 6.4 Consistencia | 32 |
| 6.5 Designación completa del hormigón | 33 |
| 7. El acero | 34 |
| 7.1 Armaduras pasivas | 34 |
| 7.2 Armaduras activas | 36 |
| 8. La ejecución | 38 |
| 8.1 Encofrados | 38 |
| 8.2 Armaduras pasivas | 38 |
| 8.3 Armaduras activas | 41 |
| 8.4 Hormigón fabricado en central | 41 |
| 8.5 Hormigón no fabricado en central | 44 |
| 8.6 Puesta en obra del hormigón | 45 |
| 8.7 Inyección | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 9. El control del hormigón | 48 |
| 9.1 Control de los componentes | 48 |
| 9.2 Cemento | 48 |
| 9.3 Áridos | 49 |
| 9.4 Adiciones y aditivos | 49 |
| 9.5 Control de calidad | 50 |
| 10. El control del acero | 57 |
| 10.1 El control a nivel reducido | 57 |
| 10.2 El control a nivel normal | 58 |
| 10.3 Comprobación de soldabilidad | 58 |
| 11. El control de ejecución de la obra | 60 |
| 11.1 Los niveles de control | 60 |
| 11.2 Las tolerancias de ejecución | 62 |
| 11.3 Ensayos de información | 63 |
| Anexo: Tablas complementarias | 64 |

Introducción

Esta guía pretende facilitar la adaptación de los proyectistas, contratistas y fabricantes a la nueva Instrucción EHE, haciendo hincapié en todo aquello que es nuevo respecto a las anteriores EH y EP, así como en lo que ha quedado fuera de la misma.

Se ha obviado todo lo relativo al cálculo, que debería ser objeto de una guía más específica.

No se pretende explicar ni sustituir la Instrucción, cuya lectura consideramos ineludible para los profesionales y agentes del sector involucrados en el proyecto y ejecución de obras de hormigón.

El objetivo primordial es llamar la atención sobre las principales novedades y cambios que se introducen respecto de la actual normativa. Por ello, se dan por sabidas aquellas exigencias que contienen las Instrucciones actuales y que seguirán vigentes al no haber sido modificadas por ésta.

La EHE, que es de aplicación tanto en las obras de edificación como en las de ingeniería civil, unifica las dos Instrucciones que sobre estructuras de hormigón coexisten actualmente, la EP-93 (para estructuras de hormigón pretensado) y la EH-91 (para estructuras de hormigón en masa y armado). Sin embargo no es ésta la principal novedad. Sería muy superficial decir que se trata simplemente de un texto refundido de ambas Instrucciones.

La EHE hace una apuesta clara para la mejora de la calidad de las obras de hormigón, tanto en lo que se refiere a su ejecución como a su conservación durante la vida útil de las estructuras. En este sentido la preocupación por la durabilidad está presente constantemente, tanto en el contenido reglamentario, como en los comentarios de los miembros de la Comisión Permanente del Hormigón. Por otra parte, hay un aumento de los sistemas de control de calidad, favoreciendo siempre los casos en que los fabricantes o suministradores de materias primas del hormigón, los fabricantes de acero y los del

propio hormigón, tengan incorporados sistemas propios de calidad reconocidos oficialmente. La Instrucción apunta a la convergencia de criterios y sistemas de calidad que está adoptando la Unión Europea. Con toda seguridad, en poco tiempo veremos modificaciones de esta nueva Instrucción dirigidas a homologar productos y sistemas de calidad válidos para los países integrantes de la Unión Europea.

1. Ámbito normativo

1.1 Decreto de aprobación y fecha de publicación

La Instrucción EHE ha sido aprobada por el Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre y publicada el 13 de enero de 1999 en el BOE con la designación:

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

1.2 Entrada en vigor

La Instrucción entrará en vigor el día 1 de julio de 1999 y será de aplicación en todas las obras que se inicien a partir de esta fecha. Por tanto, una obra visada con anterioridad al 1 de julio, pero con inicio de las obras posterior al 1 de julio, deberá adaptarse a la EHE.

Las obras que estén iniciadas en la fecha de entrada en vigor de la nueva Instrucción seguirán rigiéndose bajo las directrices de la reglamentación que les fuera de aplicación en el momento en que se iniciaron. A pesar de ello, si las partes contratantes llegan a un acuerdo, podrá aplicarse la nueva reglamentación.

1.3 Instrucciones derogadas

En el momento de entrar en vigor la EHE quedarán derogadas las Instrucciones:

- EH-88
“Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado”.
- EH-91
“Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado”.

- EF-88

“Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado”.

- EP-93

“Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado”.

Se mantiene la vigencia de la Instrucción EF-96 para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado.

1.4 Ámbito de aplicación

La Instrucción EHE es aplicable en general, a las estructuras y elementos estructurales proyectados y ejecutados con:

- Hormigón en masa.
- Hormigón armado.
- Hormigón pretensado.

Tanto en obras de promoción pública como privada.

La EHE une en un solo documento reglamentario todo aquello que hasta ahora era objeto de dos Instrucciones: la EH-91 para el hormigón en masa y armado, y la EP-93 para el hormigón pretensado.

2. Campo de aplicación

2.1 Tipos de hormigón considerados

La Instrucción excluye expresamente del ámbito de aplicación:

- Las estructuras realizadas con hormigones especiales tales como hormigones ligeros (de densidades comprendidas entre los 1.200 y los 2.000 kg/m³), hormigones pesados (de densidad superior a los 2.800 kg/m³), hormigones refractarios, hormigones en cuya composición se incluyan amiantos, serrines u otras sustancias análogas.
- Las estructuras que deben estar expuestas en condiciones normales a temperaturas superiores a 70^o C.
- Las estructuras mixtas.
- Las presas.

Respecto del hormigón pretensado, solamente se consideran aquellos elementos en que la acción de pretensado se introduce a través de armaduras de acero situadas dentro de la sección del elemento. No se incluyen los pretensados exteriores.

La Instrucción incluye dos anexos importantes (no existentes anteriormente) relativos a hormigones de alta resistencia (f_{ck} entre 50 y 100 MPa) y estructuras sometidas a acciones sísmicas, cuyas recomendaciones se aconseja consultar si se van a proyectar o construir estructuras con dichas características.

2.2 Productos básicos autorizados

Dentro del ámbito de esta Instrucción sólo se admite el uso de productos de construcción legalmente comercializados en países que sean miembros de la Unión Europea o que formen parte del acuerdo sobre el espacio económico europeo, sujetos a la reglamentación vigente.

2.3 Acreditación de los productos

Los productos deben suministrarse, como mínimo, con la documentación que establece la Instrucción para cada uno de ellos. La única certificación obligatoria para los productos que afecta esta norma es la “Certificación de adherencia” que afecta a las barras corrugadas y a los alambres corrugados que formen parte de mallas electrosoldadas y de armaduras básicas electrosoldadas en celosía (arts. 31.2, 31.3, 31.4).

Certificados CC-EHE

De forma adicional y voluntaria pueden incorporar un certificado CC-EHE acreditativo de que cumplen con las especificaciones obligatorias de la EHE, o con las normas a las que se refiera la EHE. Esta certificación la pueden otorgar organismos españoles -oficiales y privados- autorizados, para realizar tareas de certificación y/o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales (conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre), y las administraciones públicas (general del estado o autonómica en el ámbito de sus respectivas competencias)(art. 1.1).

Distintivos

Bajo esta denominación se incluyen las marcas, sellos de calidad y similares. Se considerará que éstos aseguran el cumplimiento de las especificaciones obligatorias de la EHE, cuando estén reconocidos oficialmente por un centro directivo de las administraciones públicas (general del estado o autonómica) con competencias en el campo de las obras públicas o la edificación (art. 1.1).

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

En el futuro, cuando sea operativo el marcaje CE de los productos, se establecerán los cambios oportunos en la Instrucción.

3. Unidades

La Instrucción EHE adopta el Sistema Internacional de Unidades de Medida (S.I.) que ya utilizaba la EP-93, en sustitución del tradicional sistema M.K.S (Metro-Kilopondio-Segundo) usado hasta ahora en las anteriores Instrucciones EH (art. 3).

Las unidades a usar son

| Concepto a medir | Unidad de medida |
|---------------------------------|--|
| Resistencia y tensión | $\text{N/mm}^2 = \text{MN/m}^2 = \text{MPa}$ |
| Fuerza | kN |
| Fuerza por unidad de longitud | kN/m |
| Fuerza por unidad de superficie | kN/m^2 |
| Fuerza por unidad de volumen | kN/m^3 |
| Momento | mkN |

donde

N= Newton

kN= kiloNewton

MN= MegaNewton

MPa= MegaPascal

Las equivalencias entre ambos sistemas son las siguientes:

| Newton - kilopondio |
|---|
| $1 \text{ N} = 0,102 \text{ kp} \cong 0,1 \text{ kp}$ |
| $1 \text{ kp} = 9,8 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$ |

| |
|---|
| Newton/milímetro cuadrado y kilopondio/centímetro cuadrado |
| $1 \text{ N/mm}^2 = 10,2 \text{ kp/cm}^2 \cong 10 \text{ kp/cm}^2$ |
| $1 \text{ kp/cm}^2 = 0,098 \text{ N/mm}^2 \cong 0,1 \text{ N/mm}^2$ |

Para familiarizarnos con el cambio podemos ver unos ejemplos, de aplicación a casos habituales, en el cálculo de estructuras:

| Concepto | M.K.S | S.I. |
|--|-------------------------|-----------------------|
| Resistencia característica del hormigón | 200 kp/cm ² | 20 N/mm ² |
| Límite elástico característico del acero | 5.000kp/cm ² | 500 N/mm ² |
| Peso propio de un forjado | 250 kp/cm ² | 2,5 kN/m ² |
| Densidad del hormigón armado | 2.500 kp/m ³ | 25 kN/m ³ |
| Sobrecarga de uso en garajes | 400 kp/m ² | 4 kN/m ² |
| Sobrecarga lineal de barandilla | 200 kp/m | 2 kN/m |
| Carga axil de un pilar | 50 t | 500 kN |
| Momento de un forjado | 2 m t | 20 mkN |
| Esfuerzo cortante | 5 t | 50 kN |
| Tensión admisible del terreno | 2 kp/cm ² | 0,2 N/mm ² |

4. El proyecto

4.1 La documentación

Las novedades introducidas, respecto de la documentación que ha de formar parte del proyecto de la estructura, son las que siguen:

- Obligatoriedad de que cualquier proyecto disponga de un estudio geotécnico del terreno sobre el que se ejecutará la obra. Además, este estudio formará parte de la documentación que compone el proyecto de ejecución de una estructura.
- Se explicita que en el pliego de prescripciones técnicas particulares deben establecerse, expresamente o por referencia a Instrucciones, reglamentos o normas, las características que deban reunir los materiales y las distintas unidades de obra, las modalidades de control especificadas para los materiales y la ejecución y, en su caso, las tolerancias dimensionales de los elementos acabados. Asimismo, se detallarán los sistemas de medición y valoración de las unidades de obra, y las obligaciones de orden técnico que correspondan al contratista.
- El proyecto contendrá las referencias necesarias para el replanteo correcto de la obra.

Respecto al resto de documentación es básicamente la misma que fijaban las normas precedentes y consta de: memoria descriptiva, planos, pliego de prescripciones técnicas particulares, presupuesto, programa de desarrollo de los trabajos, y la documentación que exigen otras normas de carácter general.

4.2 Los planos

En cada plano de estructura deberá encontrarse (art. 4.3):

- Un cuadro con la tipificación de los hormigones de acuerdo con la denominación establecida en el artículo 39.2 de la EHE (ver el apartado 6.5 de esta guía).

- El tipo de control previsto.
- Los coeficientes de seguridad adoptados en el cálculo.
- En obras de hormigón pretensado constará el programa de tesado de acuerdo con las especificaciones del artículo 67.8.2 de la EHE.

4.3 Los pliegos de prescripciones técnicas particulares

Constarán las tipificaciones de los hormigones utilizados de acuerdo con el formato establecido en el artículo 39.2 de la EHE. Debe tenerse en cuenta que la Instrucción tipifica diferentes hormigones en función del ambiente al que estarán sometidos durante su vida útil (ver el apartado 6.5 de esta guía).

4.4 La durabilidad de las estructuras de hormigón

Las prescripciones para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón, son una de las principales novedades que aporta la nueva Instrucción. Se establece un procedimiento para que el proyectista identifique las condiciones a las que estará sometida la estructura, y que por tanto pueden afectar su durabilidad, y que se recogen bajo el concepto de “clase de exposición ambiental”. El tipo de ambiente se define por el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que se expondrá la estructura y que pueden provocar su degradación como consecuencia de efectos que no tienen relación con los estados de cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural (art. 8.2).

Todo elemento estructural estará sometido a un ambiente definido por la combinación de:

- Una de las clases general de exposición en relación con la corrosión de armaduras, definidas a través de la tabla 8.2.2 de la Instrucción.

- Las clases específicas con relación a procesos diferentes de la corrosión, definidas a través de las tablas 8.2.3.a y 8.2.3.b de la Instrucción.

El proyecto de la estructura debe definir el ambiente que se ha considerado para cada elemento estructural. En el caso que una estructura contenga elementos sometidos a diferentes tipos de ambiente, el autor del proyecto deberá definir unos grupos de elementos que tenga características semejantes de exposición.

Por ejemplo, en un edificio con una cimentación dentro del nivel freático, con elementos de hormigón al aire libre o en fachada, y elementos de hormigón en el interior, deberán definirse tres tipos de exposición ambiental.

Tipificación en proyecto de la clase de exposición ambiental

La tabla 8.2.2 establece la designación que tiene cada una de las clases y subclases de exposición relativa a la corrosión de armaduras.

La tabla 8.2.3.a establece la designación de las clases específicas de exposición de procesos de degradación diferentes a la corrosión. Algunos de ellos, los procesos químicos, se clasifican de acuerdo con la tabla complementaria 8.2.3.b. Dichas tablas se adjuntan como anexo a esta guía.

Todo elemento estará sometido a una de las clases generales de exposición, además puede estar sometido a ninguna, una o más de una de las clases específicas de exposición. En estos dos últimos casos, la designación del ambiente se realizará uniendo, mediante el signo “+”, a la designación de la clase general, la o las designaciones de las clases específicas a los que esté sometido.

Trasladamos aquí los ejemplos que aparecen en la Instrucción para aclarar el proceso de tipificación.

Caso 1

Pilas de un puente en alta montaña

Clase general de exposición: IV (presencia de cloruros no marinos)
Clase específica de exposición: F (con heladas y sales)
Tipificación del ambiente: IV+F

Caso 2

Pilares vistos formando un porche en un edificio en zona de clima suave y lejos de zona industrial

Clase general de exposición: IIb
Clase específica de exposición: no tiene
Tipificación del ambiente: IIb

Caso 3

Tablero de puente, a 200 m de la costa en terrenos sin yesos

Clase general de exposición: IIIa (marina aérea)
Clase específica de exposición: no tiene
Tipificación del ambiente: IIIa

Caso 4

Cajones flotantes prefabricados de hormigón armado para la construcción de un dique, trasladados flotando y posteriormente sumergidos

Clase general de exposición: IIIb (marina sumergida)
Clase específica de exposición: Qb (química agresiva media)
Tipificación del ambiente: IIIb+Qb

Caso 5

Bloques de hormigón en masa para dique de protección de un puerto

Clase general de exposición: I (hormigón en masa, no agresivo)
Clase específica de exposición: Qb (química agresiva media)
E (erosión)
Tipificación del ambiente: I+Qb+E

Observaciones a considerar:

La clase general de exposición I (no agresiva) se aplicará siempre a los elementos de hormigón en masa, que al no disponer de armaduras no están sujetas a la degradación por corrosión.

La clase general de exposición II (agresiva normal) se aplicará a los elementos generales que sólo estén sometidos a los procesos habituales de carbonatación del hormigón. Se incluyen las cimentaciones enterradas en suelos sin agresividad química.

Se añaden algunos ejemplos de tipificación ambiental:

Caso A

Pilote de cimentación que no atraviesa niveles freáticos, ni tiene ninguna agresividad específica por parte de los componentes presentes en el suelo

| | |
|---------------------------------|--------------|
| Clase general de exposición: | IIa (normal) |
| Clase específica de exposición: | no tiene |
| Tipificación del ambiente: | IIa |

Caso B

Pilote de cimentación que atraviesa nivel de agua marina

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Clase general de exposición: | IIIb (marina sumergida) |
| Clase específica de exposición: | Qb (agresividad química media) |
| Tipificación del ambiente: | IIIb+Qb |

Caso C

Pantalla de cimentación y contención que no atraviesa niveles freáticos pero que se encuentra en un ambiente en que el suelo presenta una fuerte agresividad por presencia de sulfatos

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Clase general de exposición: | IIa (normal) |
| Clase específica de exposición: | Qc (agresividad química fuerte) |
| Tipificación del ambiente: | IIa+Qc |

Caso D

Cimentación superficial con zapatas en terreno no afectado de nivel freático y sin tipo alguno de agresividad química

Clase general de exposición: Ila (normal)

Clase específica de exposición: no tiene

Tipificación del ambiente: Ila

Caso E

Pilares, jácenas, y forjados de hormigón interiores de un edificio

Clase general de exposición: I (no agresiva)

Clase específica de exposición: no tiene

Tipificación del ambiente: I

Caso F

Pilares y jácenas de hormigón al exterior de un edificio con ausencia de cloruros y sometidos a pluviosidad alta

Clase general de exposición: Ila (normal humedad alta)

Clase específica de exposición: no tiene

Tipificación del ambiente: Ila

Caso G

Pilares y jácenas de hormigón al exterior de un edificio en ambiente marino (cercano al mar)

Clase general de exposición: IIIa (marina aérea)

Clase específica de exposición: no tiene

Tipificación del ambiente: IIIa

El artículo 37 de la EHE determina una serie de estrategias basadas en los posibles mecanismos de degradación, cuya finalidad es asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón. Los temas que se plantean hacen referencia a:

- El proyecto.
- La calidad del hormigón.
- Los recubrimientos de las armaduras en función de las clases de

exposición ambiental (ver la tabla 37.2.4 de la Instrucción que se adjunta en el anexo de esta guía).

- La utilización de separadores.
- Los valores de abertura de fisuras.
- Medidas especiales de protección (revestimientos superficiales con productos protectores del hormigón, protección catódica, inhibidores de corrosión, galvanizado de armaduras pasivas).
- Resistencia del hormigón frente a diferentes agentes agresivos.
- Corrosión de armaduras.

Cada uno de estos aspectos se puede encontrar desarrollado en los apartados incluidos en el artículo 37.

4.5 Dimensionado básico de los elementos

A pesar de que en la introducción de esta guía se ha indicado que los temas relacionados con el cálculo deberían ser objeto de otra publicación específica y complementaria de ésta, se resumen a continuación algunas cuestiones sobre el dimensionado elemental de los elementos estructurales que pueden ser de utilidad para el proyectista. Los cambios en este aspecto son mínimos y únicamente destaca el aumento de espesor de la capa de compresión en forjados reticulares y la necesidad de colocar una armadura de reparto.

Dimensionado de pilares

Se mantiene la dimensión mínima de 25 cm para pilares construidos in situ con cuatro barras de armadura como mínimo y diámetro igual o superior a 12 mm. Si el pilar es circular se mantienen las seis barras de armadura mínima.

Forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado

Se construyen de acuerdo con la Instrucción EF-96 *Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado*.

Forjados bidireccionales aligerados (reticulares) sobre pilares

El canto mínimo exigido se mantiene en $L/28$, considerando que L es la máxima luz entre soportes.

La capa de compresión será como mínimo de 50 mm y deberá disponer de una malla de armadura de reparto en toda la superficie.

Forjados de losas macizas sobre pilares

El canto mínimo exigido se mantiene en $L/32$, considerando que L es la máxima luz entre soportes.

Forjados de losas macizas sobre muros

El canto mínimo exigido se mantiene en $L/40$, siendo L el tramo de luz más pequeño, y no menor de 8 cm.

La utilización de estos valores exige siempre la comprobación de las deformaciones de la estructura. La Instrucción sin embargo, no exige la comprobación de las deformaciones en elementos de hormigón armado sometidos a flexión simple, si las relaciones entre la luz L y el canto útil d son iguales o superiores a las de la tabla 50.2.2.1 de la EHE que se adjunta a continuación:

Relaciones L/d en elementos estructurales de hormigón armado sometidos a flexión simple

| Sistema estructural | Elementos armados con cuantía alta ($\rho = A_s/b_0 d = 0,012$) | Elementos armados con cuantía baja ($\rho = A_s/b_0 d = 0,004$) |
|---|---|---|
| Viga simplemente apoyada Losa uni o Bidireccional simplemente apoyada | 14 | 20 |
| Viga continua ¹ en un extremo. Losa unidireccional continua ^{1,2} en un solo costado | 18 | 24 |
| Viga continua ¹ en ambos extremos Losa unidireccional continua ^{1,2} | 20 | 30 |
| Recuadros exteriores y de esquina en losa sobre apoyos aislados | 16 | 22 |
| Recuadros interiores en losa sobre apoyos aislados ³ | 17 | 25 |
| Voladizos | 6 | 9 |

¹ Un extremo se considera continuo si el momento correspondiente es igual o superior al 85% del momento de empotramiento perfecto.

² En losas unidireccionales, las esbelteces dadas se refieren a la luz menor.

³ En losas sobre apoyos aislados (pilares), las esbelteces dadas se refieren a la luz mayor.

La tabla es válida para situaciones normales de uso en edificación y para elementos armados con acero $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$.

5. Los materiales componentes del hormigón

La EHE establece en el artículo 30.1 una limitación general al contenido total del ion cloruro que puede contener el hormigón. Esta limitación ya aparecía en las Instrucciones precedentes, si bien ahora se incorpora la limitación correspondiente a los hormigones en masa cuando tengan armaduras para reducir la fisuración. La suma del ion cloruro aportada por cada uno de los componentes del hormigón no puede exceder los límites siguientes:

| | |
|--|--------------------------|
| Hormigón pretensado | 0,2% del peso de cemento |
| Hormigón armado | 0,4% del peso de cemento |
| Hormigón en masa con armaduras para reducir fisuración | 0,4% del peso de cemento |

5.1 El cemento

Como en Instrucciones anteriores, al cemento utilizado en la fabricación del hormigón se le exige cumplir con la vigente Instrucción para la recepción de cementos (actualmente la RC-97) y que sea de clase resistente 32,5 N/mm² o superior. Asimismo, se indican los tipos de cemento que pueden utilizarse en función del tipo de hormigón, de acuerdo con la siguiente tabla:

| Tipo de hormigón | Tipo de cemento |
|---------------------|---|
| Hormigón en masa | Cementos comunes Cementos para usos especiales |
| Hormigón armado | Cementos comunes |
| Hormigón pretensado | Cementos comunes del tipo CEM I y CEM II/A-D |

De acuerdo con la Instrucción RC-97 los cementos comunes son los denominados:

| Tipo de cemento | Denominación | Designación |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|
| CEM I | Cemento portland | CEM I |
| CEM II | Cemento portland con escoria | CEM II/A-S CEM II/B-S |
| CEM II | Cemento portland con humo de sílice | CEM II/A-D |
| CEM II | Cemento portland con puzolana | CEM II/A-P CEM II/B-P |
| CEM II | Cemento portland con ceniza volante | CEM II/A-V CEM II/B-V |
| CEM II | Cemento portland con caliza | CEM II/A-L |
| CEM II | Cemento portland mixto | CEM II/A-M CEM II/B-M |
| CEM III | Cemento de horno alto | CEM III/A CEM III/B |
| CEM IV | Cemento puzolánico | CEM IV/A CEM IV/B |
| CEM V | Cemento compuesto | CEM V/A |

y su tipificación completa se compone de la designación que consta en la tabla anterior, más la clase resistente del cemento. El valor que identifica la clase resistente corresponde a la resistencia mínima a compresión a 28 días en N/mm² y se ajusta a la serie siguiente:

Clase resistente de los cementos

| Serie de resistencias en N/mm ² |
|---|
| 32,5 - 32,5 R - 42,5 - 42,5 R - 52,5 - 52,5 R |

Los cementos para usos especiales están normalizados en la UNE 80307:96, y están especialmente concebidos para el hormigonado de grandes masas de hormigón, como puede ser el caso de las presas, o la utilización en la técnica de carreteras para la estabilización de suelos o la ejecución de bases tratadas con cemento.

La Instrucción permite también la utilización de los cementos blancos (normalizados según UNE 80305:96), así como los cementos con características adicionales: de bajo calor de hidratación (UNE 80306:96) y resistentes a los sulfatos y/o al agua de mar (UNE 80303:96), correspondientes al mismo tipo y clase resistente de los cementos comunes.

La selección del tipo de cemento a utilizar en la fabricación del hormigón debe hacerse, entre otros, de acuerdo con los factores siguientes:

- La aplicación del hormigón (en masa, armado o pretensado).
- Las condiciones ambientales a las que se someterá la pieza.
- Las dimensiones de la pieza.

El anexo 3 de la EHE contiene recomendaciones para orientar al proyectista en la selección de los cementos.

5.2 El agua

La EHE sólo introduce como variación, respecto a las Instrucciones anteriores, una disminución en el límite máximo de contenido del ion cloruro que pasa de los 6 a los 3 gramos/litro para el caso del hormigón armado, prescripción que se hace extensiva a los hormigones en masa que tengan armaduras para reducir la fisuración.

Se prohíbe de forma explícita el uso de agua de mar o de aguas salinas en el amasado o curado de hormigones armados o pretensados, excepto en el caso en que estudios especiales lo justifiquen (art. 27).

5.3 Los áridos

Las principales variaciones que se introducen están en la denominación y en el tamaño máximo del árido a utilizar en determinados casos.

Los áridos se denominan de acuerdo con el formato: d/D, donde d representa el tamaño mínimo y D el tamaño máximo en milímetros.

Respecto al tamaño máximo de los áridos, las modificaciones introducidas son que éste debe ser menor:

- A 1,25 veces (antes 1,30) la distancia existente entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor de 45° con la dirección del hormigonado.
- A 0,4 veces (antes 0,5) el espesor mínimo de la losa superior de los forjados.

Tanto la EH-91 como la EP-93 establecían las cantidades máximas de sustancias perjudiciales que podían contener los áridos. LA EHE añade a la lista las siguientes limitaciones (tabla 28.3.1):

| Sustancias perjudiciales añadidas | Cantidad máxima en % de peso total de la muestra | |
|---|--|--------------|
| | Árido fino | Árido grueso |
| Sulfatos solubles en ácidos, expresados en SO_3^- y referidos al árido seco, determinados según el método de ensayo de la UNE EN 1744-1:98 | 0,80 | 0,80 |
| Cloruros expresados en Cl^- y referidos al árido seco, determinados según el ensayo de la UNE EN 1744-1:98, en hormigón armado o en masa con armaduras para reducir fisuración | 0,05 | 0,05 |

Otra de las novedades importantes introducidas ha sido el tamaño máximo de la arena, que se ha reducido de 5 a 4 mm, adaptándose así a la futura normativa europea sobre áridos. Asimismo, se ha definido un huso granulométrico para el árido fino, de manera que la granulometría de las arenas utilizadas debe estar dentro del mismo, a menos que se justifique experimentalmente que la granulometría propuesta no afecta a las propiedades más relevantes del hormigón.

Tabla 28.3.3.b Huso granulométrico del árido fino

| Límites | Material retenido acumulado, en % en peso, en los tamices | | | | | | |
|----------|---|-----|-----|-------|--------|---------|---------|
| | 4mm | 2mm | 1mm | 0,5mm | 0,25mm | 0,125mm | 0,063mm |
| Superior | 0 | 4 | 16 | 40 | 70 | 82 | (1) |
| Inferior | 20 | 38 | 60 | 82 | 94 | 100 | 100 |

(1) Este valor será el que corresponda de acuerdo con la tabla 28.3.3.a:

- 94% para: Áridos redondeados.
Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien que estén sometidas a alguna clase específica de exposición.
- 90% para: Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a la clase general de exposición IIIa, IIIb, IIIc ó IV o bien que estén sometidas a alguna clase específica de exposición.
Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.
- 85% para: Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.

La Instrucción indica que las limitaciones de contenido de finos (% retenido en el tamiz de 0,063 mm) de esta tabla se pueden extender al árido de machaqueo dolomítico, siempre que se haya comprobado (mediante examen petrográfico y ensayo de reactividad álcali-carbonato) que no presenta reactividad potencial con los silicatos del cemento.

5.4 Aditivos y adiciones

En el hormigón armado y pretensado se prohíbe de forma explícita la utilización de aditivos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de armaduras. Expresamente se prohíbe la utilización del cloruro cálcico (art. 29.1).

Para poder utilizar un aditivo éste deberá suministrarse correctamente etiquetado (UNE 83275:89 EX) y con un certificado de garantía del fabricante firmado por persona física (art. 81.4.1).

Las adiciones que contempla la EHE se amplían respecto de las Instrucciones precedentes con la incorporación del humo de sílice. Éste puede utilizarse tanto en hormigones armados como pretensados, mientras que las cenizas volantes sólo se pueden utilizar en el caso de hormigones armados, estando expresamente prohibida su utilización en el hormigón pretensado (art. 29.2).

Estas adiciones sólo se pueden incorporar en hormigones fabricados con cemento del tipo CEM I. Además, en el caso de edificación el contenido de adiciones se limita a un máximo del 35% del peso de cemento, para el caso de ceniza volante, y del 10% para el caso del humo de sílice.

6. El hormigón

6.1 Designación de los hormigones en función de su resistencia

La Instrucción establece, en la designación de los hormigones, una distinción según el uso para el que se destinará: hormigón en masa, armado o pretensado. Hasta ahora la designación de un hormigón se hacía siempre de la misma forma, independientemente de su utilización en la obra. Por esta razón el antiguo H-175 siempre se designaba de la misma forma tanto si se utilizaba como hormigón en masa como para hormigón armado.

En el futuro (art. 39.2) deberá distinguirse el hormigón en función de su uso estructural que puede ser: en masa (HM), armado (HA) o pretensado (HP). Esta información permitirá al fabricante del hormigón conocer las limitaciones que la Instrucción establece para el mismo, tanto en lo relativo al contenido mínimo de cemento (art. 37.3.2), limitaciones al contenido de iones cloruro (art. 30.1), tipo de cemento y de adiciones que pueden utilizarse (art. 26 y 29.2), etc.

El otro aspecto importante es el del aumento de las resistencias mínimas de los hormigones (art. 30.5). La EHE no admite hormigones en masa de resistencia inferior a los 20 N/mm² (es decir el antiguo H-200). Respecto a los hormigones armados o pretensados no se admiten resistencias inferiores a los 25 N/mm². Hormigones más pobres quedan fuera del ámbito de la Instrucción y sólo se admiten para elementos no estructurales como hormigones de limpieza y similares.

El cruce de las resistencias tipificadas por la EHE y el uso estructural establece la serie de denominaciones posibles.

| Uso estructural | Resistencia característica a compresión a 28 días. En N/mm ² | | | | | | |
|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| HM | HM-20 | HM-25 | HM-30 | HM-35 | HM-40 | HM-45 | HM-50 |
| HA | No admitido | HA-25 | HA-30 | HA-35 | HA-40 | HA-45 | HA-50 |
| HP | No admitido | HP-25 | HP-30 | HP-35 | HP-40 | HP-45 | HP-50 |

En el caso de obras en que el nivel de control del hormigón sea de tipo reducido, deberá utilizarse un valor de resistencia de cálculo a compresión f_{cd} no mayor de 10 N/mm² (ver el artículo 30.5 de la Instrucción), a pesar de que se esté utilizando un hormigón de resistencia característica mayor, correspondiente con los contenidos mínimos de cemento y máximas relaciones agua/cemento que se deban utilizar en función del ambiente al que se encuentre expuesta la estructura o elemento estructural. La razón de esta medida es evitar que se produzcan bajadas de resistencia difíciles de determinar con un procedimiento de control, consistente únicamente en la medida de la consistencia del hormigón. Aunque la propia Instrucción recomienda no utilizar este procedimiento, no se ha considerado oportuno eliminar este sistema, a pesar de que en la actualidad los laboratorios de control pueden llegar, en la práctica totalidad del territorio español, a todo tipo de obras por pequeñas que éstas sean.

6.2 Designación de los hormigones en función de la durabilidad

La incorporación de los parámetros de durabilidad afecta por una parte a las condiciones de ejecución de las piezas de hormigón estructural, y por otra a la dosificación de los hormigones utilizados. Por dicho motivo, a la designación, debe incorporarse el tipo de ambiente (tal como se ha definido en el apartado 4.4. de esta guía). Éste establece, en función del uso estructural del hormigón, los valores máximos de la relación agua/cemento, y del mínimo contenido de cemento por metro cúbico (art.37.3.2 y tabla 37.3.2.a), parámetros que influyen fundamentalmente en la durabilidad.

Como puede observarse en el anexo a este documento, la Instrucción EHE define 7 clases generales de exposición (tabla 8.2.2) y 6 clases específicas (tabla 8.2.3.a). De entre las clases generales, las denominadas I, IIa, IIb, IIIa, IIIb son las que consideramos más habituales en la edificación, pudiéndose encontrar clases específicas del tipo Q_a , Q_b y H.

6.3 Dosificación de hormigones

Contenido mínimo de cemento

No se admiten hormigones estructurales (Tabla 37.3.2.a) en el que el contenido mínimo de cemento por metro cúbico sea inferior a:

200 kg en hormigones en masa.

250 kg en hormigones armados.

275 kg en hormigones pretensados.

Relación máxima a/c

Asimismo no se admiten hormigones estructurales en que la relación agua/cemento, en función de la clase de exposición ambiental del hormigón, no sea como máximo la establecida en la tabla 37.3.2.a de la Instrucción (ver dicha tabla en el anexo de esta guía).

En las condiciones ambientales más favorables, es donde se admiten relaciones máximas más altas.

6.4 Consistencia

Las consistencias del hormigón contempladas en la Instrucción son las conocidas: seca, plástica, blanda y fluida (art. 30.6). La consistencia líquida no se considera. No hay novedades en este aspecto, salvo que la Instrucción recomienda en edificación un asiento no menor de 6 cm y que permite sobrepasar el límite del asiento (15 cm) de la consistencia fluida si se emplean aditivos superfluidificantes.

6.5 Designación completa del hormigón

La designación o tipificación del hormigón que ha de constar en planos, memorias, pliegos de condiciones etc., deberá tener el formato que se indica en el artículo 39.2 de la Instrucción EHE:

T- R / C / TM / A

Con las siguientes correspondencias:

T **HM** Para el hormigón en masa.

HA Para el hormigón armado.

HP Para el hormigón pretensado.

R Es la resistencia característica a compresión a los 28 días expresada en N/mm². Se aconseja utilizar la escala de valores 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

C Identifica la consistencia (art. 30.6) de acuerdo con los tipos:

S Seca.

P Plástica.

B Blanda.

F Fluida.

TM Es el tamaño máximo del árido (art. 28.2) expresado en mm.

A Es la designación del tipo de ambiente (art. 8.2.1).

Ejemplo

HA – 25 / P / 20 / IIa

Equivale a:

Hormigón armado de resistencia característica a la compresión a 28 días de 25 N/mm² (250 kp/cm²) de consistencia plástica, con tamaño máximo del árido 20 mm y exposición tipo de ambiente IIa.

7. El acero

La unificación en una sola Instrucción del hormigón armado y del pretensado hace que se distingan claramente las prescripciones para las armaduras en cada tipo de hormigón. Las armaduras pasivas son las utilizadas en el hormigón armado, mientras que en el hormigón pretensado podemos encontrar armaduras activas y pasivas.

7.1 Armaduras pasivas

Las novedades respecto a la normativa precedente se pueden resumir en los siguientes puntos (art. 31):

- Se establece la necesidad de acompañar la certificación de la adherencia para las barras corrugadas para cada partida de armaduras suministrada (art. 31.5.1 y 90.1).
- Sólo se aceptan barras corrugadas del tipo “soldable” (art. 31.2).
- Las armaduras válidas son: las barras corrugadas, las mallas electrosoldadas y las armaduras básicas electrosoldadas en celosía (art. 31.1).
- Las armaduras lisas desaparecen de la Instrucción y sólo se admiten en los elementos de conexión entre las barras longitudinales de las armaduras básicas electrosoldadas en celosía (art. 31.1).
- Se recupera el diámetro $\varnothing 14$ mm en la serie de diámetros nominales a utilizar (art. 31.1).

Las series de diámetros nominales a utilizar se definen en la siguiente tabla:

Series de diámetros nominales para armaduras pasivas (mm)

| Barras corrugadas |
|---|
| 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 32 - 40 |

| Alambres corrugados en mallas electrosoladas |
|--|
| 5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7 - 7,5 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 - 10 10,5 - 11 - 11,5 - 12 - 14 |

| Alambres corrugados o lisos en armaduras básicas electrosoldadas en celosía |
|---|
| 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12 |

En negrita se destacan los diámetros recomendados por la Instrucción EHE.

Denominación del acero

Acero en barras corrugadas reconocido por la Instrucción (de acuerdo con la tabla 31.2.a):

B 400 S acero soldable de límite elástico no menor de 400 N/mm² (antiguo AEH-400-S).

B 500 S acero soldable de límite elástico no menor de 500 N/mm² (antiguo AEH-500-S).

Alambres para mallas y armaduras básicas electrosoldadas (de acuerdo con la tabla 31.3):

B 500 T acero de límite elástico 500 N/mm² (antiguo AEH 500 T).

7.2 Armaduras activas

La serie de diámetros nominales de alambres se amplia y queda como sigue:

Serie de diámetros nominales para armaduras activas (en mm)

| Alambres de pretensado |
|--|
| 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 7,5 - 8 - 9,4 - 10 |

Alambres para tesado (de acuerdo con la tabla 32.3.a):

| Denominación | Serie de diámetros nominales en mm | Carga unitaria máxima en N/mm ² no menor que |
|--------------|------------------------------------|---|
| Y 1570 C | 9,4 - 10,0 | 1.570 |
| Y 1670 C | 7,0 - 7,5 - 8,0 | 1.670 |
| Y 1770 C | 3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0 | 1.770 |
| Y 1860 C | 4,0 - 5,0 | 1.860 |

Cordones (de acuerdo con las tablas 32.5.a y 32.5.b):

Cordones de 2 o 3 alambres

| Denominación | Serie de diámetros nominales en mm | Carga unitaria máxima en N/mm ² no menor que |
|--------------|------------------------------------|---|
| Y 1770 S2 | 5,6 - 6,0 | 1.770 |
| Y 1860 S3 | 6,5 - 6,8 - 7,5 | 1.860 |
| Y 1960 S3 | 5,2 | 1.960 |
| Y 2060 S3 | 5,2 | 2.060 |

Cordones de 7 alambres

| Denominación | Serie de diámetros nominales en mm. | Carga unitaria máxima en N/mm² no menor que |
|---------------------|--|---|
| Y 1770 S7 | 16,0 | 1.770 |
| Y 1860 S7 | 9,3 - 13,0 - 15,2 - 16,0 | 1.860 |

8. La ejecución

Los aspectos relacionados con la ejecución de la obra son objeto del título 5º de la Instrucción. Siguiendo los criterios de exposición de esta guía, se realiza a continuación un repaso de los cambios más significativos.

8.1 Encofrados

Se prohíbe explícitamente el uso del aluminio en moldes que deban estar en contacto con el hormigón.

El suministrador de puntales debe justificar y garantizar las características de los mismos, y establecer las condiciones de uso.

En la construcción de encofrados debe evitarse que se dañen estructuras ya construidas.

8.2 Armaduras pasivas

Recubrimientos de armaduras

Los recubrimientos mínimos a garantizar para cualquier armadura de un elemento estructural, es función de la clase de exposición a la que se va a ver sometido el hormigón de los diferentes elementos y variarán en función de la resistencia característica de éste. La tabla 37.2.4 de la Instrucción define los valores mínimos. (Dicha tabla se adjunta como anexo en esta guía). Se establece también un margen de recubrimiento (Δr) que depende del nivel de control de ejecución de la obra (art. 37.2.4).

- 0 mm para elementos prefabricados con control de ejecución intenso.
- 5 mm para elementos in situ con control de ejecución intenso.
- 10 mm otros casos.

El proyecto ha de definir el valor nominal del recubrimiento, que da la expresión:

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

donde r_{min} es el recubrimiento mínimo definido en la tabla 37.2.4 y Δr es el margen de recubrimiento definido anteriormente.

El recubrimiento nominal es el valor empleado para prescribir los separadores.

La obligatoriedad de disponer de una malla de reparto en recubrimientos superiores a los 40 mm, en piezas a proteger contra incendios y en grupos de barras, se ha sustituido por la recomendación de considerar su disposición cuando el recubrimiento sea superior a los 50 mm.

En piezas hormigonadas contra el terreno se exige un recubrimiento mínimo de 70 mm, sin disponer de las mallas de reparto que antes se han comentado.

Separadores

Se incluye en el articulado de la Instrucción una referencia al uso de separadores, a los que se asigna la misión de garantizar los recubrimientos especificados. Se establecen sus características físicas y mecánicas así como el tipo de material (art. 37.2.5). Se prohíbe el uso como separadores de piezas de madera y de cualquier material residual de la obra aún cuando se trate de hormigón o cerámica. También prohíbe el uso de materiales metálicos si pueden quedar vistos. Se recomienda que los separadores no contengan amianto.

La disposición en obra de los separadores viene definida en el apartado 66.2 en función del tipo de elemento estructural.

Elaboración de la ferralla

La Instrucción toma como marco de referencia la norma UNE 36831:97 para la elaboración de la ferralla (corte, doblado, atado, formas preferentes de armado, etc.) y colocación de las armaduras pasivas (recubrimientos, separaciones, tolerancias, etc.).

Doblado de armaduras

El doblado y desdoblado de barras y mallas electrosoldadas queda definido en el apartado 66.3. Se incorpora la tabla 66.3, donde se indican los diámetros mínimos de doblado, según el acero utilizado y los diámetros de las barras, distinguiendo entre el caso de patillas o ganchos, y las barras dobladas o curvadas.

Anclaje de armaduras

Su contenido se ha adaptado a las nuevas unidades de medida y a la serie de resistencias características aceptadas por la Instrucción, suprimiendo toda referencia a las barras lisas que quedan fuera de la misma.

Respecto a los anclajes de los extremos de barras se han especificado, con mayor detalle, los casos posibles: la prolongación recta, el gancho, el gancho en U, la patilla y la barra transversal soldada (art. 66.5).

Soldadura de armaduras

La soldadura en el ferrallado de armaduras se autoriza, siempre que se realicen en taller con instalación industrial fija, que el acero sea soldable y se lleve a cabo de acuerdo con los procedimientos establecidos por la norma UNE 36832:97. La soldadura en obra requiere la autorización de la Dirección Facultativa (art. 66.1).

Se han ampliado las prescripciones a seguir en caso de hacer empalmes por soldadura. Se prohíbe soldar armaduras galvanizadas o con recubrimientos epoxídicos. Se prohíbe también soldar en determinadas situaciones climatológicas que pueden provocar el enfriamiento excesivamente rápido (viento, lluvia, nieve...), si no se adoptan medidas protectoras. Asimismo se prohíbe soldar barras que estén a una temperatura igual o inferior a 0°C (art. 66.6.5).

Empalme mecánico de armaduras

Su ejecución se regula exigiendo que los dispositivos utilizados tengan como mínimo la misma capacidad resistente que la menor de las barras que se empalmen, no debiendo presentar desplazamientos relativos mayores a 0,1 mm bajo la tensión de servicio.

8.3 Armaduras activas

Colocación

Se han incorporado las separaciones mínimas entre armaduras pretensadas (art. 67.3.1). Para las armaduras postensadas se han incrementado el número de condiciones que definen la separación mínima (art. 67.3.2).

Adherencia

Según el artículo 67.4 las longitudes de transmisión y anclaje deben determinarse experimentalmente. No obstante, y dado que la realización, instrumentación e interpretación de los resultados obtenidos mediante ensayos es dificultosa, los comentarios a la Instrucción proponen un sistema teórico para evaluar ambas longitudes cuando no se disponga de estos datos experimentales.

Programa de tesado

Se ha distinguido la información que debe incluir el programa de tesado según sean armaduras pretensas o postesas.

8.4 Hormigón fabricado en central

Tiempos de transporte y curado

El tiempo mínimo entre la incorporación del agua de amasado al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón en obra, no debe ser superior a una hora y media. En casos en que no sea posible, o cuando el tiempo sea caluroso deberán tomarse medidas adecuadas para aumentar el tiempo de fraguado del hormigón sin que disminuya su

calidad. Esta prescripción formaba parte de un comentario a la Instrucción precedente y ahora se ha incorporado al articulado (69.2.7).

Designación del hormigón

La designación del hormigón puede hacerse por propiedades o por dosificación.

En cualquier caso debe indicarse:

- La indicación del uso estructural del hormigón: en masa, armado o pretensado.
- La consistencia.
- El tamaño máximo del árido.
- El tipo de ambiente al que va a estar sometido el hormigón.
- La resistencia característica a compresión, si se designa por propiedades, expresada en N/mm^2 .
- El contenido de cemento en kg/m^3 , si se designa por dosificación.

En los hormigones designados por propiedades el suministrador es quien define la composición del hormigón, garantizando al peticionario el cumplimiento de las características específicas (tamaño máximo del árido, consistencia y resistencia característica), así como las derivadas del tipo de ambiente especificado (contenido de cemento y relación agua/cemento) de acuerdo con lo establecido en el artículo 39.2 (ver el apartado 6 de esta guía).

Si la designación se hace por dosificación es el peticionario quien se responsabiliza de las características del hormigón. En este caso el suministrador garantizará el cumplimiento de las especificaciones dadas por el peticionario, indicándole la relación agua/cemento utilizada.

Previo al inicio del suministro, el peticionario puede pedir al suministrador una demostración del cumplimiento de los materiales utilizados, según lo establecido en la Instrucción para cada uno de los componentes del hormigón en los artículos 26 a 29.

Los comentarios del artículo 69.2.8 indican claramente que en el hormigón designado por propiedades, su dosificación debe utilizar las cantidades de cemento y agua correspondientes al criterio más exigente (resistencia o durabilidad).

Asimismo, indican los mencionados comentarios que el peticionario del hormigón debe solicitar un conjunto de propiedades congruentes entre sí, es decir, resistencia y consistencia compatibles con los requisitos mínimos de contenido de cemento y relación agua/cemento especificados en el artículo 37.3.2 para el tipo de ambiente de exposición.

Entrega y recepción

El hormigón fabricado en central, tanto si ésta pertenece a las propias instalaciones de la obra como si no (hormigón preparado), no podrá utilizarse si no va acompañado de una hoja de suministro (art. 82), debidamente cumplimentada y firmada por persona física.

En la mencionada documentación se han introducido algunas variaciones, según se trate de hormigones designados por propiedades o por dosificación.

En los designados por propiedades debe indicarse:

- La tipificación de acuerdo con el apartado 39.2 de la Instrucción (T-R/C/TM/A).
- Contenido de cemento en kg/m^3 con tolerancia de ± 15 kg.
- Relación agua/cemento con tolerancia de $\pm 0,02$.

En los designados por dosificación debe indicarse:

- Contenido de cemento por m^3 de hormigón.
- Relación agua/cemento con tolerancia de $\pm 0,02$.
- Tipo de exposición ambiental prevista de acuerdo con la tabla 8.2.2 de la Instrucción.

Debe constar también el nombre del responsable de la recepción del hormigón. El resto de datos siguen siendo los mismos que en la Instrucción precedente.

Las hojas de suministro pasan a constituir un elemento fundamental del control documental, razón por la cual se exige que sean archivadas por el constructor y permanezcan a disposición de la dirección de obra hasta la entrega de la documentación final de control (art. 82).

En la recepción queda prohibida la adición de cualquier cantidad de agua al hormigón fresco. Para garantizar que esta mala práctica no se lleve a cabo, los comentarios al artículo 69.2.9.2 recomiendan que el constructor establezca un sistema específico de control para evitar que suceda, siendo responsabilidad de la dirección de obra comprobar la existencia y la eficacia de dicho control.

No obstante, si el control de consistencia no da los resultados admisibles, la Instrucción permite el uso de un aditivo fluidificante -previamente aprobado por la dirección de obra- hasta alcanzar la consistencia requerida y sin rebasar, en ningún caso las limitaciones fijadas por la Instrucción. Para ello los camiones hormigonera deberán estar dotados de un equipo dosificador y se fija un tiempo mínimo de amasado de 5 minutos. Los comentarios a la Instrucción aconsejan que en obra se disponga de una reserva de fluidificante aprobado por la Dirección de obra para utilizar en estos casos (apartado 69.2.9.2).

8.5 Hormigón no fabricado en central

La Instrucción desaconseja la utilización de este tipo de hormigones por las dispersiones en la calidad que son habituales, indicando que deben extremarse las precauciones en la dosificación, fabricación y control (art. 69.3).

El tiempo mínimo de amasado se incrementa y pasa de un minuto a un minuto y medio.

El fabricante (constructor) ha de presentar los documentos en que se especifique la dosificación utilizada que debe ser aprobada por la dirección de obra.

El fabricante dispondrá, en obra, de un libro de control a disposición de la dirección de obra, donde constarán:

- Las dosificaciones nominales a emplear en la obra.
- Las incidencias o correcciones realizadas y su justificación.
- La relación de proveedores de materias primas.
- La descripción de los equipos utilizados.
- La referencia del documento de calibrado de la báscula dosificadora de cemento.
- El registro del número de amasadas de cada lote.
- Fechas de hormigonado.
- Resultados de los ensayos realizados.

8.6 Puesta en obra del hormigón

No hay novedades importantes en este concepto. La lectura detallada de la Instrucción pone de manifiesto algunas matizaciones y clarifica otras, especialmente en los comentarios al articulado.

Curado del hormigón

Una de las aportaciones significativas es la relativa al tiempo de curado del hormigón. En el artículo 20, la EH-91 fijaba la duración del curado inicial del hormigón desde la puesta en obra hasta el momento en que el hormigón conseguía un 70% de la resistencia de proyecto. Este valor ha desaparecido de la Instrucción, que tan solo menciona que el curado debe prolongarse durante el tiempo suficiente. En los comentarios al artículo 74 se define un método para determinar el tiempo mínimo de duración del curado. Éste consiste en la aplicación de una

fórmula que tiene en consideración: la exposición ambiental del hormigón, la temperatura ambiente, la velocidad de desarrollo de la resistencia del hormigón, y el tipo de cemento utilizado.

Desencofrado

Respecto al desencofrado, los comentarios del artículo 75, dan una relación de aspectos que deben considerarse al realizarlo. Sigue siendo válida la fórmula de la EH-91 para el cálculo del tiempo de desencofrado, cuando se utiliza cemento portland (tipo CEM I) y las condiciones de curado son normales. Para facilitar la labor del proyectista y éste pueda seguir procedimientos simplificados, se añade una tabla aplicable cuando no se conocen todos o algunos de los parámetros que intervienen en la fórmula anterior. La tabla contiene periodos de desencofrado de elementos de hormigón armado en función del tipo de elemento encofrado y la temperatura superficial del hormigón.

Acabado de superficies

Se trata de un artículo nuevo respecto de la EH-91 (la EP-93 ya lo tenía y ahora se modifica), que especifica que las piezas de hormigón vistas, una vez desencofradas, no deben presentar irregularidades que perjudiquen el comportamiento de la obra o su imagen. Cuando deban realizarse repasos o llenar zonas reservadas (previsión de pasos, instalaciones, cajetines, zonas de anclaje, etc.), se harán con morteros similares al hormigón utilizado retirando no obstante, todos los áridos superiores a 4 mm.

8.7 Inyección

El artículo 78 de la EHE desarrolla de forma más amplia todo el proceso de inyección que se definía en la Instrucción EP-93. Se exige a nivel general que el personal sea calificado y entrenado para realizar inyecciones, que se utilicen equipos correctamente revisados y calibrados, que existan instrucciones escritas sobre el proceso de inyección, y que se adopten las medidas de seguridad correctas.

Preparación de la mezcla

La duración de la amasada debe ser superior a 2 minutos y no mayor de 4 minutos.

Programa de inyección

Debe redactarse un programa de inyección que defina los productos y maquinaria a utilizar, la secuencia de operaciones, las probetas de ensayo, el volumen de lechada a fabricar y las instrucciones de medidas a adoptar en caso de incidentes de obra o climáticos.

Ejecución de la inyección

Se fijan las comprobaciones previas a realizar antes del inicio de la inyección. Se amplía el intervalo de velocidad de inyección desde los 6 a 12 metros/minuto hasta los 5 a 15 metros/minuto. Se recomienda que la presión sea baja y esté entre las 3 y las 7 atmósferas. Un control de volúmenes previstos de inyección y volúmenes inyectados puede determinar si han quedado zonas sin inyectar. En este caso se recomienda hacer ensayos y determinar la necesidad de realizar una inyección posterior.

9. El Control del hormigón

9.1 Control de los componentes

El control de los componentes se realiza de acuerdo con el artículo 81, y también son de aplicación las exigencias de los artículos 26 para el cemento, 27 para el agua, 28 para los áridos y 29 para los aditivos y adiciones.

Existen dos situaciones en las que no es necesario realizar control de recepción en obra de los materiales componentes del hormigón:

- Central de producción de hormigón que disponga de un control de producción y esté en posesión de un sello o marca de calidad reconocido por un centro directivo de las administraciones públicas*.
- Hormigones fabricados en central con un distintivo reconocido o un CC-EHE*.

*(véase el apartado “acreditación de los productos” de esta publicación o el artículo 1.1 de la EHE)

En los casos en que no se cumpla alguna de las dos situaciones anteriores, deben cumplirse, para cada material, las prescripciones que se indican en el artículo 81 de la Instrucción. Las novedades introducidas son las que siguen:

9.2 Cemento

El responsable de la recepción debe conservar durante 100 días como mínimo una muestra de cada lote del cemento suministrado.

No se puede utilizar un lote de cemento que llegue sin un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física.

Cuando el cemento posea un sello o marca de calidad, oficialmente reconocido por la Administración competente, se le eximirá, tal y

como indica el artículo 10 de la Instrucción RC-97, de la realización de ensayos de recepción. Esta exención se extiende, por parte de la EHE, a los ensayos indicados en el artículo 81.1.2, bastando con la documentación de identificación del cemento y los resultados de autocontrol que se posean.

9.3 Áridos

Antes de iniciar el suministro puede pedirse al suministrador una demostración documental del cumplimiento de las exigencias que establece la Instrucción para los áridos. Si no dispone de un certificado de idoneidad de los áridos, emitido por un laboratorio oficial u oficialmente acreditado, con una antigüedad como máximo de un año antes de la fecha en que deban utilizarse, deberán realizarse los ensayos especificados en el artículo 28.3.1, 28.3.2 y 28.3.3.

9.4 Adiciones y aditivos

En los ensayos a realizar se añade la exigencia, cuando se utilicen adiciones, de llevar a cabo de forma previa al inicio de la obra, en laboratorio oficial u oficialmente acreditado, los ensayos especificados en los artículos 29.2.1 para las cenizas volantes, y 29.2.2 para el humo de sílice, debiéndose emitir el correspondiente certificado de garantía.

Cada tres meses de obra, y para garantizar la homogeneidad de los suministros, se exige la realización de las siguientes comprobaciones:

- Para las cenizas volantes: trióxido de azufre, pérdida por calcinación y finura.
- Para el humo de sílice: pérdida por calcinación y contenido de cloruros.

9.5 Control de calidad

Al control de calidad, realizado hasta ahora basándose en la consistencia y resistencia, se añade la durabilidad, además del control del tamaño de los áridos.

Para los hormigones fabricados en central, cada amasada debe ir acompañada, como ya se ha comentado, de una hoja de suministro correctamente cumplimentada, de acuerdo con los datos establecidos en el apartado 69.2.9.1 y firmada por una persona física. No se permite utilizar un hormigón que no disponga de la hoja de suministro. Dichas hojas se deben archivar y conservar para formar parte de la documentación final del control de la obra.

Consistencia

Se realizará el ensayo por el método tradicional del cono de Abrams de acuerdo con la UNE 83313:90. La determinación de la media aritmética que define la consistencia, tanto si se ésta se ha definido por su tipo como si se ha definido por su asiento, se realizará con dos valores en lugar de los tres que definían la EH-91 y la EP-93.

Resistencia

Los ensayos de resistencia están definidos en el artículo 88.

Referente a los ensayos previos y a los característicos no hay prácticamente ninguna novedad, excepto las actualizaciones de algunas normas UNE que los regulan.

Respecto a las modalidades de control se distinguen las siguientes:

Modalidad 1 Control a nivel reducido.

Modalidad 2 Control al 100 por 100.

Modalidad 3 Control estadístico.

Control a nivel reducido

Es una reminiscencia del control reducido que la EH-91 establecía dentro del control estadístico, pero con algunas modificaciones. Para su aplicación se establecen las siguientes limitaciones:

- Es aplicable a obras de ingeniería de pequeña importancia.
- Se admite en edificios de viviendas hasta 2 plantas con luces inferiores a los 6,00 metros.
- Se admite para elementos a flexión en edificios de viviendas hasta 4 plantas con luces inferiores a 6,00 metros.
- Resistencia de cálculo a compresión del hormigón $f_{cd} \leq 10 \text{ N/mm}^2$.
- No aplicable cuando las clases de exposición del hormigón sean III y IV*.

* Ambiente marino o expuesto a corrosión por cloruros de origen no marino (ver tabla 8.2.2 de la EHE).

Cuando se utilice este nivel de control, se realizarán sólo comprobaciones de consistencia sobre hormigones fabricados con dosificaciones tipo. Deben realizarse como mínimo 4 ensayos de medida de consistencia repartidos a lo largo de la jornada de trabajo. Deberá quedar constancia escrita de los ensayos y de sus conclusiones.

Esta modalidad de control exige una vigilancia continuada por parte de la dirección de obra para garantizar que la dosificación, el amasado y la puesta en obra se realizarán correctamente.

Control al 100 por 100

No presenta variaciones.

Control estadístico

Es la forma de control general para todas las obras de hormigón en masa, armado o pretensado. Sustituye a los niveles de control normal e intenso recogidos en EH-91 y EP-93.

Para la realización del control la obra ha de dividirse en lotes de acuerdo con la tabla 88.4.a de la EHE, que distingue tres grandes grupos de elementos estructurales:

Límites máximos para el establecimiento de los lotes de control

| Límite superior | Tipo de elementos estructurales | | |
|------------------------|---|---|---|
| | Estructuras que tienen elementos comprimidos (pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc.) | Estructuras que tienen únicamente elementos sometidos a flexión (forjados de hormigón con pilares metálicos, tableros, muros de contención, etc.) | Macizos (zapatas, estribos de puentes, bloques, etc.) |
| Volumen de hormigón | 100 m3 | 100 m3 | 100 m3 |
| Número de amasadas (1) | 50 | 50 | 100 |
| Tiempo de hormigonado | 2 semanas | 2 semanas | 1 semana |
| Superficie construida | 500 m2 | 1.000 m2 | - |
| Número de plantas | 2 | 2 | - |

(1) Límite no obligatorio en obras de edificación.

En la división en lotes deben respetarse las limitaciones siguientes:

- No se mezclarán en un mismo lote elementos correspondientes a dos columnas de la tabla.
- Las amasadas de un mismo lote procederán de un mismo suministrador y deberán haber sido elaboradas con las mismas materias primas y con la misma dosificación nominal.

Aumento de límites para la definición de lotes

Cuando se utilicen hormigones fabricados en central que disponga de un Sello o Marca de Calidad (de acuerdo con lo indicado al inicio del capítulo “El control del hormigón” de esta guía), los límites de la tabla para definir los lotes se pueden duplicar, si se cumplen las condiciones siguientes:

- El peticionario dispone de los resultados satisfactorios de control de producción de la central y los incorpora a la documentación final de la obra.
- Se analizarán como mínimo tres lotes, que deberán corresponderse, si es posible, con las tres columnas de la tabla 88.4.a.
- Si en alguno de los lotes la resistencia estimada f_{est} es inferior a la característica de proyecto se procederá a realizar el control según los lotes de la tabla (sin duplicar los límites) hasta que 4 lotes consecutivos den resultados satisfactorios.

Realización del control

Debe determinarse la resistencia de un número N de amasadas por lote

| Resistencia característica N/mm² | Número de amasadas N |
|--|-----------------------------|
| $f_{ck} \leq 25$ | 2 |
| $25 < f_{ck} \leq 35$ | 4 |
| $f_{ck} > 35$ | 6 |

- Debe recordarse que la Instrucción define la amasada como una unidad de producto fabricada en un determinado intervalo de tiempo con las mismas características esenciales (art. 30.2). En el caso de suministro de hormigón con camión hormigonera, se puede considerar cada camión como una amasada.

Las muestras se tomarán al azar. Si un lote corresponde a dos plantas de un edificio, se realizará al menos una determinación por planta.

Respecto al cálculo de la resistencia característica estimada se procederá de la misma forma que en la EH-91 para el control estadístico a nivel normal. Los valores del coeficiente K_N vienen dados en la tabla 88.4.b, habiéndose introducido algunas modificaciones a la misma. Estos valores dependen de:

- El número N de amasadas.
- Si el hormigón está fabricado en central o no.
- Dentro de los hormigones fabricados en central se distinguen los siguientes aspectos:
 - Clasificación de la central (clase A, B ó C), en función del valor del coeficiente de variación de la producción.
 - Si la central está o no en posesión de un sello de calidad.
 - Del valor del recorrido relativo máximo de los resultados obtenidos sobre las amasadas controladas.

El comentario del apartado 88.4, que reconoce la dificultad de conocer este coeficiente, propone una fórmula alternativa basada en el coeficiente de variación a través de los resultados de las muestras de cada lote.

Decisiones derivadas del control de resistencia

No hay variaciones significativas, excepto para los casos en que deban realizarse pruebas de carga, para las que se recomienda que

se aplique un 85 % de la carga de cálculo, (carga característica mayorada), que es claramente superior a la que se determinaba en la reglamentación anterior.

Durabilidad

El control de la durabilidad lo regula el artículo 85 de la EHE y está basado en:

- El control documental de las hojas de suministro del hormigón, con el fin de comprobar el cumplimiento de las limitaciones para la relación agua/cemento y el contenido de cemento especificado en el apartado 37.3.2 de la Instrucción. Si el hormigón no se fabrica en central, el fabricante aportará a la Dirección de obra la misma información firmada por una persona física. Se exigirá este control para cada amasada utilizada en la obra.
- El control de la profundidad de penetración del agua. Es un control que debe realizarse en obras sometidas a tipos de ambiente III o IV (ambientes marinos o con cloruros de origen no marino), o en alguna de las clases específicas de exposición que establece la Instrucción en el artículo 8. Este control debe realizarse de forma previa al inicio de la obra sobre tres probetas de hormigón, con la misma dosificación que la de la obra, y fabricadas por la misma central que fabricará el hormigón de la obra. Este ensayo está definido en la UNE 83309:90 EX.

La dirección de obra puede eximir la realización del control de profundidad de penetración de agua bajo presión, cuando el suministrador presente antes del inicio de obra una documentación que incluya:

- Composición de las dosificaciones a utilizar en la obra.
- Identificación de las materias primas del hormigón que se fabricará para la obra.

- Copia del informe de los resultados del ensayo de penetración de agua realizado por un laboratorio oficial u oficialmente acreditado.
- Materias primas y dosificaciones utilizadas para la fabricación de las probetas utilizadas en los ensayos de penetración de agua.

No se aceptarán ensayos realizados con más de seis meses de anticipación a la fecha en que se realiza el control, o cuando se detecte que las materias primas o las dosificaciones utilizadas para los ensayo son diferentes de las declaradas para el hormigón de la obra.

En el caso de hormigones fabricados en central de hormigón preparado, en posesión de un sello o marca de calidad, y si en su sistema de calidad se incluye el ensayo de profundidad de penetración de agua, se le eximirá de la realización de este ensayo. En este caso deberá presentarse a la dirección de obra, antes del inicio de la obra, la documentación que permita un control como el especificado anteriormente.

Ensayos de información complementaria del hormigón

Regulados según el artículo 89, no presentan novedades, si bien se indica, como hasta ahora, que no se sacarán testigos de hormigón endurecido cuando su extracción pueda presentar un riesgo para la seguridad del elemento, señalándose la posibilidad de considerar un apuntalamiento provisional de la parte afectada, previo a la extracción.

En los comentarios al articulado han desaparecido dos casos en los que tiene interés la realización de ensayos de información: en los cambios de uso y en las rehabilitaciones de edificios.

Finalmente, también en los comentarios, se especifica que cuando se toman testigos para estimar otra vez la resistencia de un lote en el que $f_{est} < 0,9 f_{ck}$, las muestras deben extraerse al azar y no de los lugares donde se sabe, o se supone, que provienen las probetas ensayadas. Además, se puede considerar que las probetas testigo extraídas presentan una resistencia inferior en un 10% a las probetas de obra.

10. El Control del acero

Se fijan dos niveles de control del acero: el normal y el reducido. En las obras de hormigón pretensado sólo se podrá adoptar el nivel normal tanto para armaduras activas como para las pasivas. Las características de los aceros quedan definidas en los artículos 31 y 32 de la Instrucción y en el apartado 7 de esta guía.

No se pueden utilizar aceros que no lleguen a la obra con un certificado de garantía del fabricante, firmado por una persona física. Los datos que debe contener el certificado constan en los puntos 31.2, 31.3 y 31.4 de la EHE para armaduras pasivas, y en los puntos 32.3, 32.4 y 32.5 para armaduras activas. Para las barras o alambres corrugados debe disponerse de un certificado específico de adherencia.

El control que se propone debe realizarse:

- Antes del hormigonado si se utiliza acero no certificado.
- Antes de la entrada en servicio si el acero está certificado.

10.1 El control a nivel reducido

Sólo es apto para armaduras pasivas cuando haya un consumo de acero muy reducido o cuando haya dificultades para realizar todos los ensayos sobre el material. En este caso debe utilizarse una resistencia de cálculo del acero:

$$0,75 \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

lo cual permite considerar que un acero de 5.000 kp/cm² (500 N/mm²) se puede hacer trabajar a 3.260 kp/cm² (332 N/mm²).

Las operaciones de control son las mismas definidas en la reglamentación anterior.

10.2 El control a nivel normal

Las armaduras deben dividirse en lotes que correspondan a un mismo suministrador, designación y serie. La cantidad máxima de cada lote será:

| Acero | Armaduras pasivas (Toneladas) | Armaduras activas (Toneladas) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Con certificado | 40 | 20 |
| Sin certificado | 20 | 10 |

La Instrucción fija la toma de dos probetas por lote sobre las que se procederá a realizar las comprobaciones y ensayos establecidos en los puntos 90.3.1 y 90.3.2, según sean aceros certificados o no certificados respectivamente. Los ensayos son exactamente los mismos en ambos casos y coinciden con los que definía la Instrucción anterior. La diferencia está en que para los aceros certificados, los resultados deben conocerse antes de la puesta en servicio de la estructura, mientras que para los aceros no certificados deben tenerse antes del hormigonado.

10.3 Comprobación de soldabilidad

La EHE desarrolla las comprobaciones a realizar cuando las armaduras pasivas deban empalmarse por soldadura. La EH-91 no distinguía entre tipos de soldadura. El apartado 90.4 de la EHE define 4 casos posibles, así como los ensayos a realizar en cada caso:

- Soldadura a tope.
- Soldadura por solapo.
- Soldadura en cruz.
- Otras soldaduras.

Para cada tipo de soldadura debe comprobarse la aptitud del procedimiento. Independientemente del tipo de soldadura el acero tendrá una composición química que lo haga apto para soldar, de acuerdo con la UNE 36068:94. Esta comprobación debe realizarse a nivel documental, entendiendo que el suministrador debe aportar el certificado correspondiente para cada partida suministrada. Caso que no se disponga de certificados se realizarán los ensayos que señala la UNE.

Respecto al acero de los dispositivos de anclaje y empalme de armaduras pretensadas y postesadas, vainas y accesorios, así como del control de los equipos de tesado y de inyección, no hay novedades.

11. El control de ejecución de la obra

11.1 Los niveles de control

Se mantienen las tres denominaciones de los niveles de control, tal como se han utilizado hasta ahora: nivel reducido, nivel normal y nivel intenso; la elección de los cuales está directamente relacionada con los coeficientes de seguridad para la mayoración de las acciones utilizadas en el análisis estructural.

La EHE establece para cada nivel de control unos coeficientes diferentes según el tipo de acción que se evalúe. Hasta ahora, el control normal exigía la aplicación de un coeficiente de 1,6 de mayoración de solicitaciones que se aplicaba genéricamente. A partir de ahora, para las acciones permanentes se admite un coeficiente de 1,35, en el caso de control intenso, y para las acciones permanentes de valor no constante el de 1,50. En la tabla 95.5 de la Instrucción se recogen los coeficientes a utilizar en cada tipo de nivel de control, en función del tipo de acción considerada. Esta tabla es la misma que la 12.1.b, la cual tiene un error de omisión en la denominación de los niveles de control:

| Tipo de acción | Nivel de control de ejecución | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Intenso | Normal | Reducido |
| Permanente | $\gamma_G = 1,35$ | $\gamma_G = 1,50$ | $\gamma_G = 1,60$ |
| Pretensado | $\gamma_P = 1,00$ | $\gamma_P = 1,00$ | $\gamma_P = 1,00$ |
| Permanente de valor no constante | $\gamma_G = 1,50$ | $\gamma_G = 1,60$ | $\gamma_G = 1,80$ |
| Variable | $\gamma_Q = 1,50$ | $\gamma_Q = 1,60$ | $\gamma_Q = 1,80$ |

Desaparece la posibilidad de modificar los coeficientes en función de la previsión de daños en las obras. Respecto a los coeficientes de minoración de los materiales, no hay variaciones.

Para el control de ejecución, de acuerdo con el artículo 95, debe redactarse un Plan de Control que, independientemente del nivel elegido, dividirá la obra en lotes de acuerdo con el criterio que especifica la tabla 95.1.a de la EHE. Este control se entiende que se realiza de forma externa al contratista de la obra que se quiere controlar.

| Tipo de obra | Tamaño del lote |
|--|---|
| Edificios | 500 m ² , sin exceder las dos plantas |
| Puentes, acueductos, túneles, etc. | 500 m ² de planta, sin exceder los 50 m lineales |
| Obras de grandes macizos | 250 m ³ |
| Chimeneas, torres, pilas, etc. | 250 m ³ , sin exceder los 50 m lineales |
| Piezas prefabricadas: De tipo lineal De tipo superficial | 500 m lineales 250 m lineales |

El artículo 95 de la EHE define el número de inspecciones que, como mínimo, deben realizarse para cada lote en los que se ha subdividido la obra. Dicho número de inspecciones se resume en la siguiente tabla.

Número de inspecciones por lote según el nivel de control

| Nivel de control | Número de inspecciones por lote |
|------------------|---------------------------------|
| Intenso* | 3 |
| Normal | 2 |
| Reducido | 1 |

* En el control intenso se exige que además del control externo, el constructor tenga un sistema de calidad propio, auditado externamente. En este caso la elaboración de la ferralla y de los elementos prefabricados deben realizarse en instalaciones industriales fijas y con un sistema de certificación voluntario.

El contenido de la inspección se indica de forma no limitativa en la tabla 95.1.b de la Instrucción.

La EHE resalta que son la propiedad y la dirección de obra los responsables de asegurar la realización del control externo de la ejecución.

Los resultados de todas las inspecciones, así como las medidas correctoras adoptadas, se reflejarán en los correspondientes partes o informes, documentos que quedarán recogidos en la documentación final de la obra que deberá entregar la dirección de obra a la propiedad.

11.2 Las tolerancias de ejecución

El pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra incluirá un sistema de tolerancias. La Instrucción, en el anexo 10, propone un sistema basado en la función estructural de los elementos y en su fabricación.

11.3 Ensayos de información

A diferencia de la Instrucción precedente, la EHE define con más precisión las pruebas de carga sobre las estructuras (art. 99.2). Hace una distinción entre tres tipos de pruebas de carga:

- Las reglamentarias, que se aplican normalmente a obras de ingeniería como puentes de carreteras y puentes de ferrocarril.
- Las de información complementaria que se realizan cuando ha habido cambios o problemas en la construcción.
- Las destinadas a evaluar la capacidad resistente o la seguridad de las estructuras.

Para cada una de ellas se dan las condiciones de ejecución de la prueba de carga. Para validar los resultados de la prueba se definen una serie de condiciones basadas en las flechas máximas obtenidas, las flechas residuales y la existencia de fisuras en los elementos ensayados.

Anexo

Tablas complementarias

Tabla. 8.2.2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras

| Clase | | CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN | | DESCRIPCIÓN | EJEMPLOS | |
|---|--------|-----------------------------|------------------------|---|---|---|
| | | Subclase | Designación | | | Tipo de proceso |
| no agresiva | normal | I | ninguno | -interiores de edificios, no sometidos a condensaciones -elementos de hormigón en masa | -interiores de edificios, protegidos de la intemperie | |
| | | | Humedad alta | corrosión de origen diferente de los cloruros | -interiores sometidos a humidades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones -exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm -elementos enterrados o sumergidos. | -sótanos no ventilados -cimentaciones -tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm -elementos de hormigón en cubiertas de edificios |
| | | | humedad media | corrosión de origen diferente de los cloruros | -exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm | -construcciones exteriores protegidas de la lluvia -tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm |
| | | | aérea | corrosión por cloruros | -elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar -elemento exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km) | -edificaciones en las proximidades de la costa -puentes en las proximidades de la costa -zonas aéreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -instalaciones portuarias |
| | | | sumergida | corrosión por cloruros | -elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar | -zonas sumergidas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar |
| Con cloruros de origen diferente del medio marino | IV | en zona de mareas | corrosión por cloruros | -elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas | -zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea | |
| | | corrosión por cloruros | corrosión por cloruros | -instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino -superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas | -piscinas -pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve -estaciones de tratamiento de agua | |

(Reproducción de la tabla 8.2.2 de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)

Tabla 8.2.3.a Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión

| CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN | | | DESCRIPCIÓN | EJEMPLOS |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| Clase Química agresiva | Subclase débil | Designación Tipo de proceso | | |
| | débil | Ca | ataque químico | -elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver Tabla 8.2.3.b) |
| | media | Qb | ataque químico | -elementos en contacto con agua de mar -elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver Tabla 8.2.3.b) |
| | fuerte | Qc | ataque químico | -elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver Tabla 8.2.3.b) |
| Con heladas | sin sales fundentes | H | ataque hielo-deshielo | -elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C |
| | con sales fundentes | F | ataque por sales fundentes | -elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C |
| erosión | | E | Abrasión Cavitación | -elementos sometidos a desgaste superficial -elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua -tuberías de alta presión |

(Reproducción de la tabla 8.2.3.a de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)

Tabla 8.2.3.b. Clasificación de la agresividad química

| TIPO DE MEDIO AGRESIVO | PARÁMETROS | TIPO DE EXPOSICIÓN | | |
|------------------------|---|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| | | Qa | Qb | Qc |
| AGUA | VALOR DEL pH | ATAQUE DÉBIL 6,5 - 5,5 | ATAQUE MEDIO 5,5 - 4,5 | ATAQUE FUERTE < 4,5 |
| | CO2 AGRESIVO (mg CO2/ l) | 15 - 40 | 40 - 100 | > 100 |
| | IÓN AMONIO (mg NH4+ / l) | 15 - 30 | 30 - 60 | > 60 |
| | IÓN MAGNESIO (mg Mg2+ / l) | 300 - 1000 | 1000 - 3000 | > 3000 |
| | IÓN SULFATO (mg SO42- / l) | 200 - 600 | 600 - 3000 | > 3000 |
| | RESIDUO SECO (mg / l) | > 150 | 50-150 | <50 |
| SUELO | GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY | > 20 | (*) | (*) |
| | IÓN SULFATO (mg SO42- / kg de suelo seco) | 2000 - 3000 | 3000-12000 | > 12000 |

(*) Estas condiciones no se dan en la práctica
(Reproducción de la tabla 8.2.3.b de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)

Tabla 37.3.2.a Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

| Parámetro de dosificación | Tipo de hormigón | CLASE DE EXPOSICIÓN | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | I | IIa | IIb | IIIa | IIIb | IIIc | IV | Qa | Qb | Qc | H | F | E | | |
| Máxima relación A/c | Masa | 0,65 | - | - | - | - | - | - | 0,50 | 0,50 | 0,45 | - | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | Armado | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | Pretensado | 0,60 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Mínimo Contenido de cemento (kg/m ³) | Masa | 200 | - | - | - | - | - | - | 275 | 300 | 325 | - | 275 | 300 | 325 | 275 |
| | Armado | 250 | 275 | 300 | 300 | 325 | 350 | 325 | 325 | 350 | 350 | 325 | 325 | 300 | 325 | 300 |
| | Pretensado | 275 | 300 | 300 | 300 | 325 | 350 | 325 | 325 | 350 | 350 | 325 | 325 | 300 | 325 | 300 |

(Reproducción de la tabla 37.3.2.a de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)

Tabla 37.2.4 Recubrimientos mínimos

| Resistencia | Tipo de elemento | RECUBRIMIENTO MÍNIMO [mm] | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------|-----|-----|------|------|------|----|----|-----|-----|
| | | I | IIa | IIb | IIIa | IIIb | IIIc | IV | Qa | Qb | Qc |
| 25 ≤ fck <40 | General | 20 | 25 | 30 | 35 | 35 | 40 | 35 | 40 | (*) | (*) |
| | Elementos prefabricados y láminas | 15 | 20 | 25 | 30 | 30 | 35 | 30 | 35 | (*) | (*) |
| fck ≥ 40 | General | 15 | 20 | 25 | 30 | 30 | 35 | 30 | 35 | (*) | (*) |
| | Elementos prefabricados y láminas | 15 | 20 | 25 | 25 | 25 | 30 | 25 | 30 | (*) | (*) |

(Reproducción de la tabla 37.2.4.a de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)

Tabla 37.3.2.b Resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad

| Parámetro de dosificación | Tipo de hormigón | CLASE DE EXPOSICIÓN | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---------------------|-----|-----|------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | I | IIa | IIb | IIIa | IIIb | IIIc | IV | Qa | Qb | Qc | H | F | E | |
| resistencia mínima (N/mm ²) | masa | 20 | - | - | - | - | - | - | 30 | 30 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | armado | 25 | 25 | 30 | 30 | 30 | 35 | 30 | 30 | 35 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | pretensado | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 | 35 | 35 | 30 | 35 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 |

(Reproducción de la tabla 37.3.2.b de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)

Tabla 88.4.b Valores de K_N

| N | Hormigones fabricados en central | | | | | | | | Otros casos | |
|---|----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------------|------------------------------|
| | CLASE A | | | CLASE B | | CLASE C | | K_N | | Recorrido relativo máximo, r |
| | Recorrido relativo máximo, r | K_N | | Recorrido relativo máximo, r | K_N | Recorrido relativo máximo, r | K_N | | | |
| | | Con sello de Calidad | Sin sello de Calidad | | | | | | | |
| 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 | | |

(Reproducción de la tabla 88.4.b de la EHE Instrucción de Hormigón Estructural)



**Institut de
Tecnologia de la Construcció
de Catalunya**

Wellington 19
E-08018 Barcelona
tel. 93 309 34 04
fax 93 300 48 52
e-mail: info@itec.es
http://www.itec.es