

JORNADA DE PRESENTACIÓN DE LA NUEVA INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08. RESUMEN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES

CÉSAR BARTOLOMÉ MUÑOZ

OFICEMEN

MANUEL BURÓN MAESTRO

IECA

1. Introducción

El pasado 1 de diciembre entró en vigor la "Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)", que fue aprobada el 18 de julio de 2008 por Real Decreto. La nueva instrucción sustituye a la normativa actualmente vigente, la EHE del año 1998 y a la EFHE del año 2002, integrándolas en una única Instrucción y eliminando las pequeñas incoherencias que pudieran existir. La nueva Instrucción continúa con la filosofía de sus predecesoras, buscando una mejora sustancial de la calidad y generalizando los criterios de durabilidad.

Con este documento concluye un arduo trabajo que comenzó en 2002 y que tras un largo proceso de estudio, análisis y modificaciones fructifica en una normativa que amplía su ámbito de aplicación con respecto a la EHE y aumenta su carácter prestacional para adaptarse tanto a la normativa comu-

nitaria como al nuevo Código Técnico de la Edificación, que evolucionan en esta línea.

Tras diez años de aplicación de la EHE y seis años de el EFHE, era necesario editar una nueva Instrucción que no sólo integrara estas dos normas como anteriormente se habían integrado la EH-91 y la EP-93, sino que se necesitaba una actualización ante la evolución de los materiales, técnicas y métodos de cálculo; una adaptación a la evolución de la legislación española y europea y una respuesta a las nuevas demandas sociales. La aplicación de la Directiva europea 89/106/CEE o la nueva legislación española (LOE) de la que nace el CTE también obligaban a adaptar la Instrucción del Hormigón Estructural para hacer frente a los nuevos retos.

Históricamente las diferentes instrucciones se han adaptado a las preocupaciones de la sociedad en cada momento que han

evolucionado con la sociedad, desde la seguridad en los años 60, pasando por la calidad de los años 70, las actualizaciones tecnológicas de los años 80 o la durabilidad de los 90. La principal preocupación de la sociedad actual es la sostenibilidad. La inclusión de este concepto unido al de vida útil y los índices ISMA (Índice de sensibilidad medioambiental de la estructura de hormigón) e ICES (Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad) se han convertido en una de las principales novedades de la EHE-08.

La nueva EHE-08 fomenta el uso de materiales reciclados, aumenta la vida útil de la estructura amortiguando su impacto global, incide en mejorar la calidad del proceso constructivo que deriva en la generación de un menor número de residuos, etc. Todas estas medidas van encaminadas a ejecutar estructuras sostenibles no sólo a nivel medioambiental, sino también social y económico.

Pero no se entiende la sostenibilidad sin nuevas tecnologías, por lo que también ha sido necesario incluir en la Instrucción todos los avances tecnológicos de los últimos años tales como los hormigones de alta resistencia, los hormigones ligeros, los hormigones autocompactantes, los hormigones con fibras o los hormigones fabricados con áridos reciclados provenientes de otros hormigones, sobre los que la EHE-08 aporta bien recomendaciones de uso o bien artículos para su reglamentación dependiendo de cada caso, lo que permitirá el empleo de dichos materiales sin ninguna reserva técnica.

Se espera que con este nuevo documento se establezca la base para futuros códigos estructurales generando un marco adecuado donde sea posible el desarrollo de nuevas normas con un ámbito de aplicación más amplio y donde se recojan los futuros avances tecnológicos.

Este artículo resume los contenidos de las jornadas de presentación de la nueva Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 celebradas en Madrid y Barcelona, donde diversos ponentes resaltaron los aspectos más relevantes de la misma.

2. Materiales

Es en este punto donde mayores modificaciones se han producido con respecto a la anterior Instrucción. La EHE-08 aborda los materiales de una manera innovadora permitiendo el uso de las últimas tecnologías, garantizando la calidad con unas exigencias mínimas, permitiendo distintivos voluntarios de calidad y contribuyendo a la sostenibilidad.

Cemento

La nueva Instrucción hace ligeros cambios en las delimitaciones de uso de los diferentes tipos de cemento en la fabricación de hormigones. Dichas delimitaciones se pueden resumir en la Tabla 1.

Agua

Actualmente no existe una normativa comunitaria que marque los requisitos que debe cumplir el agua utilizada en la fabricación de hormigón, posiblemente por la abundancia de este componente en Europa. Es precisamente por la escasez que sufre nuestro país que es necesario regular su uso.

La principal novedad de la EHE-08 en lo referente al uso de agua de amasado es el permiso de utilizar agua reciclada del lavado de cubas en la fabricación de hormigón. El único requisito exigido es que la densidad del agua reciclada no

Tabla 1.

Tipo de hormigón	Tipo de cemento
Hormigón en masa	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C
	Cementos para usos especiales ESP VI-1
Hormigón armado	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C y CEM V/B
Hormigón pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I y CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M(U-P)

supere el valor de 1,3 g/cm³ y que la densidad del agua total no supere el valor de 1,1 g/cm³.

La necesidad de controlar la densidad del agua reciclada se debe al contenido en finos que aportan al hormigón. La masa de finos se relaciona con las densidades del agua y de los finos de acuerdo con la siguiente expresión:

$$M = \left(\frac{1-d_a}{1-d_f} \right) \cdot d_f$$

donde:

M = Masa de finos presente en el agua, en g/cm³.

d_a = Densidad del agua, en g/cm³.

d_f = Densidad del fino, en g/cm³.

En el Gráfico 1 se puede observar la relación entre el contenido de finos y la densidad del agua.

Áridos

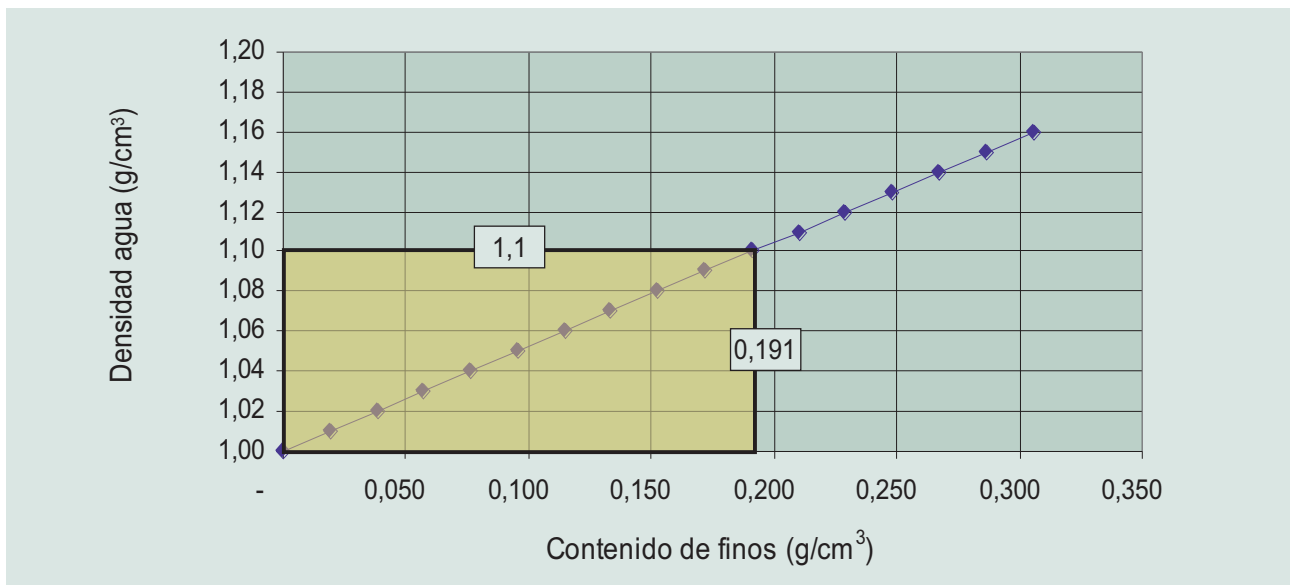
En este punto se ha producido la armonización de la nueva normativa con la norma UNE-EN 12620 y en consecuencia nace una nueva tipificación acorde con la misma. Se recomienda en la Instrucción el empleo del siguiente código normalizado:

GR-d/D-IL-N-L

donde:

GR	Grupo de árido	AG	Árido grueso
		AF	Árido fino
		FN	Finos
d/D	Fracción granulométrica	d	Tamaño mínimo
		D	Tamaño máximo
IL	Forma de presentación	R	Rodado
		T	Triturado (de machaqueo)
		M	Mezcla
N	Naturaleza del árido	C	Calizo
		S	Silíceo
		G	Granito
		O	Ofita
		B	Balasto
		D	Dolomítico
		Q	Traquita
		I	Fonolita
		V	Varios
		A	Artificial
		R	Reciclado
		L	Árido lavado

Gráfico 1.- Relación entre el contenido de finos y la densidad del agua.



Aparte de aspectos formales de designación, la novedad más importante en lo que se refiere a empleo de áridos es la posibilidad de empleo de áridos reciclados y áridos ligeros. Los anejos 15 y 16 aportan recomendaciones para la utilización de ambos tipos de áridos.

Los áridos reciclados se limitarán a los áridos gruesos, que procederán de machaqueo de residuos de hormigón. Además, el porcentaje de sustitución no podrá exceder el 20% en peso del contenido total de árido grueso. En ningún caso se podrán utilizar áridos reciclados para hormigones pretensados sin realizar estudios especiales que rebasen el ámbito actual de la EHE-08.

Para los hormigones de alta resistencia, la Norma recomienda el uso de determinados áridos en la fabricación de dichos hormigones: basaltos, cuarcitas, riolitas, sienitas, ofitas y calizas de buena calidad, con densidades superiores a los 2.600 kg/m³ en todos los casos.

Aditivos

La EHE-08 profundiza más en la designación de aditivos que su predecesora, incluyendo definiciones de los diferentes tipos de aditivos que se pueden utilizar mediante la Tabla 2.

A todos estos aditivos se les exige el marcado CE y se pueden utilizar sin necesidad de una autorización adicional, salvo indicación previa en contra de la Dirección Facultativa. La utilización de aditivos en el hormigón una vez en obra requiere

de la autorización de la Dirección Facultativa y el conocimiento del suministrador del hormigón.

Aparte de lo indicado, la principal novedad de la EHE-08 es la posibilidad de utilizar aditivos plastificantes que tengan un efecto secundario de inclusión de aire en la prefabricación de elementos con armaduras pretensas elaboradas con máquinas de fabricación continua.

Adiciones

Las cenizas volantes y el humo de sílice se mantienen como adiciones al hormigón. En estos casos deberá emplearse un cemento tipo CEM I. Además, en el caso de la adición de cenizas volantes, el hormigón deberá presentar un nivel de garantía mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

También se aumenta la casuística de empleo de las adiciones permitiendo el uso de un 20% de cenizas o un 10% de microsilíce para hormigón pretensado. En hormigones de alta resistencia se permite la adición simultánea de cenizas y microsilíce, siempre y cuando el porcentaje de humo de sílice no sea superior al 10% y el porcentaje total de adiciones no sea superior al 20%. En este caso la ceniza volante sólo se contempla a efecto de mejorar la compacidad y reología del hormigón, sin que se contabilice como parte de conglomerante. Por último, en elementos no pretensados en estructuras de edificación, la cantidad máxima de cenizas volantes adicionales no excederá el 35% del peso de cemento, mientras que

Tabla 2.

TIPO DE ADITIVO	FUNCIÓN PRINCIPAL
Reductores de agua/Plastificantes	Disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o aumentar la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
Reductores de agua de alta actividad/Superplastificantes	Disminuir significativamente el contenido de agua de un hormigón sin modificar la trabajabilidad o aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
Modificadores de fraguado/Aceleradores, retardadores	Modificar el tiempo de fraguado de un hormigón.
Inclusores de aire	Producir en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire, uniformemente repartidas, para mejorar su comportamiento frente a las heladas.
Multifuncionales	Modificar más de una de las funciones principales definidas con anterioridad.

la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no excederá del 10% del peso de cemento.

Hormigones

En lo referente a hormigones la mayor novedad es la inclusión en la EHE-08 de nuevos hormigones no presentes en la EHE. Además, existen otras modificaciones, como la de permitir un contenido de finos en el hormigón, sumando los finos del cemento y de los áridos, de 175 kg/m^3 y aumentar este límite a 185 kg/m^3 cuando se utiliza agua reciclada. También, se incluye la posibilidad de usar hormigones de consistencia líquida con un asentamiento de entre 16 y 20 cm.

Se mantiene el límite mínimo de resistencia a compresión de 20 MPa para hormigones en masa y de 25 MPa para hormigones armados o pretensados. Igualmente se mantiene el límite máximo de 10 MPa para f_{cd} en pequeñas obras de ingeniería donde el control del hormigón sea reducido. Sin embargo, el límite superior de resistencia a compresión se aumenta de los 50 MPa hasta los 100 MPa de la nueva Instrucción, lo que obliga a modificar ciertos aspectos del comportamiento estructural del material.

Para determinar la resistencia del hormigón la nueva Instrucción permite, aparte de las probetas cilíndricas tradicionales, el uso de probetas cúbicas de 15 cm de arista o de 10 cm de arista para hormigones con un $f_{ck} \geq 50 \text{ N/mm}^2$. En estos casos, el tamaño máximo del árido será inferior a 12 mm.

Coefficiente de conversión probeta cilíndrica – probeta cúbica

Resistencia en probeta cúbica, f_c , (N/mm ²)	$\lambda_{cil/cub15}$
$f_c < 60$	0,9
$60 \leq f_c < 80$	0,95
$f_c \geq 80$	1

Tabla 3.

Tipo de armadura	Soldable		Soldable con carácter especiales de ductilidad	
Designación	AP 400 S	AP 500 S	AP 400 SD	AP 500 SD
Tipo de acero	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD

A nivel reglamentario se incluyen los hormigones tecnológicamente más recientes, como son el hormigón de alta resistencia, el autocompactante y los hormigones con árido reciclado, y se aportan recomendaciones para el uso de hormigones con fibras y los hormigones fabricados con áridos ligeros.

Por último, mencionar que la nueva Instrucción distingue entre hormigones no estructurales y hormigones de limpieza, estableciendo requisitos diferentes para ambos.

Aceros

En la nueva Instrucción, se permite la utilización de aceros para armaduras pasivas suministrados en rollo y los aceros del tipo 500SD. Además, se cambia la designación que estos aceros deben tener en los proyectos. Hay que establecer el tipo de armadura pasiva que se está utilizando y el tipo de acero del que está compuesta dicha armadura pasiva, tal y como figura en la Tabla 3:

Las longitudes de anclaje se mantienen como en la EHE pero, si el suministrador proporciona el índice de corruga, se podrán utilizar las longitudes de anclaje que marca el Eurocódigo.

3. Estados límite

Tanto en los Estados Límite Último como en los de Servicio ha habido modificaciones con respecto a la EHE, fundamentalmente debido a la inclusión en la nueva Instrucción de hormigones de alta resistencia, que ha obligado a ampliar ciertas formulaciones, y al hecho de que se hayan fusionado las instrucciones de hormigón y de forjados unidireccionales en una sola. Sin embargo, la principal novedad de la EHE-08 es la aparición de un nuevo estado límite, el de durabilidad, que por su especial relevancia se analizará de forma detallada.

Los coeficientes de mayoración de acciones para los Estados Límite Último se han modificado con respecto a la EHE. En la presente Instrucción los coeficientes de mayoración no varían en función del control de ejecución, siendo 1,35 para cargas permanentes y 1,5 en el caso de cargas variables.

ELU de solicitaciones normales

En el cálculo de secciones sometidas a acciones normales se mantiene el diagrama de pivotes que existía en la EHE, con ciertas modificaciones para hormigones con un f_{ck} superior a 50 N/mm². Los valores de la deformación de rotura a compresión simple, ϵ_{c0} , y los valores de deformación última, ϵ_{cu} , en el caso de utilizar un diagrama parábola rectángulo son los siguientes (Artículo 39.5):

$$\begin{aligned} \epsilon_{c0} &= 0,002 & \text{Si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_{c0} &= 0,002 + 0,000085(f_{ck} - 50)^{0,50} & \text{Si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_{cu} &= 0,0035 & \text{Si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \epsilon_{cu} &= 0,0026 + 0,0144 \left(\frac{100 - f_{ck}}{100} \right)^4 & \text{Si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Y el valor n que define el grado de la parábola se obtiene como:

$$\begin{aligned} n &= 2 & \text{Si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ n &= 1,4 + 9,6 \left(\frac{100 - f_{ck}}{100} \right)^4 & \text{Si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

En el caso de utilizar un diagrama rectangular, la principal novedad con respecto a la EHE es el hecho de que la nueva Instrucción adopta un coeficiente de cansancio para el hormigón igual a la unidad. La razón de este cambio es sencilla, ya que el hormigón rara vez se ve sometido a tensiones próximas a f_{cd} , lo cual justificaría el uso de este coeficiente. En cualquier caso, la EHE-08 permite adoptar el valor de 0,85 que marcaba la anterior Instrucción.

El diagrama rectangular está formado por un rectángulo cuya profundidad $\lambda(x) \cdot h$, e intensidad $\eta(x) \cdot f_{cd}$ dependen de la profundidad del eje neutro x y de la resistencia del hormigón. Sus valores son (Artículo 39.5):

$$\begin{aligned} \eta(x) &= \eta & \text{Si } 0 < x \leq h \\ \eta(x) &= 1 - (1 - \eta) \cdot \frac{h}{x} & \text{Si } h < x < \infty \\ \lambda(x) &= \lambda \cdot \frac{x}{h} & \text{Si } 0 < x \leq h \\ \lambda(x) &= 1 - (1 - \lambda) \cdot \frac{h}{x} & \text{Si } h < x < \infty \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} \eta &= 1 & \text{Si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \eta &= 1 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{200} \right) & \text{Si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \\ \lambda &= 0,8 & \text{Si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ \lambda &= 0,8 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right) & \text{Si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

En soportes con armadura de confinamiento, el axil último resistido será el mayor de los dos valores siguientes (Artículo 42.2.2):

$$N_u = \max \begin{cases} N_{u1} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd} \\ N_{u2} = A_{cc} f_{ccd} + A_s f_{yd} \end{cases}$$

donde:

A_c : Área neta de la sección de hormigón, es decir, el área bruta descontando el área ocupada por las armaduras.

A_{cc} : Área neta del núcleo de hormigón confinado por los cercos.

f_{ccd} : Resistencia de cálculo del núcleo de hormigón confinado.

En cuanto a las cuantías mínimas a disponer en los elementos estructurales, las principales novedades son:

1. Se establecen las cuantías mínimas para losas de cimentación como para zapatas armadas. Para estos elementos estructurales se adoptará como armadura mínima la mitad de la cuantía de losas en cada dirección dispuesta en la cara inferior.
2. Se establecen las cuantías mínimas para forjados unidireccionales.
3. Se modifica la disposición de las armaduras mínimas en muros, pudiéndose reducir la cuantía horizontal a

repartir entre las dos caras de los mismos a un 2‰ a partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro. Además, en el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo de 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.

Por último, mencionar que se mantiene el anejo 7 que proporciona un método simplificado de cálculo para solicitaciones normales siempre y cuando se trate de hormigones con una resistencia característica a compresión inferior a 50 MPa adaptado a la nueva expresión de f_{cd} . Asimismo, se proporcionan expresiones para comprobar este ELU para una profundidad de la fibra neutra x/d prefijada, lo cual es útil para dotar a secciones de mayor ductilidad.

ELU de Inestabilidad

El criterio para establecer que una estructura es claramente intraslacional cambia en la nueva Instrucción, en la que la formulación es única, cualquiera que sea el número de plantas del edificio (Artículo 43.1):

$$Nd \leq k_1 \frac{n}{n+1,6} \cdot \frac{\sum EI}{h^2}$$

A continuación se representa en el Gráfico 2 la formulación de la EHE y la formulación de la nueva Instrucción:

Por otro lado, para desprestigiar los efectos de segundo orden en un soporte aislado, la esbeltez mecánica ya no debe ser inferior a 35, sino ser inferior a una esbeltez límite inferior asociada a una pérdida de capacidad portante del soporte del 10% respecto de un soporte no esbelto (Artículo 43.1.2).

$$\lambda_{inf} = 35 \sqrt{\frac{C}{v} \left[1 + \frac{0,24}{e_2/h} + 3,4 \left(\frac{e_1}{e_2} - 1 \right)^2 \right]} \geq 100$$

ELU de cortante

Se trata del estado límite último que más modificaciones ha sufrido en la nueva Instrucción. Las principales novedades son: inclusión de vigas, pilares, forjados, piezas simples y compuestas, piezas armadas y pretensadas, piezas con y sin fisuración a flexión, y la inclusión de hormigones de alta resistencia en el cálculo.

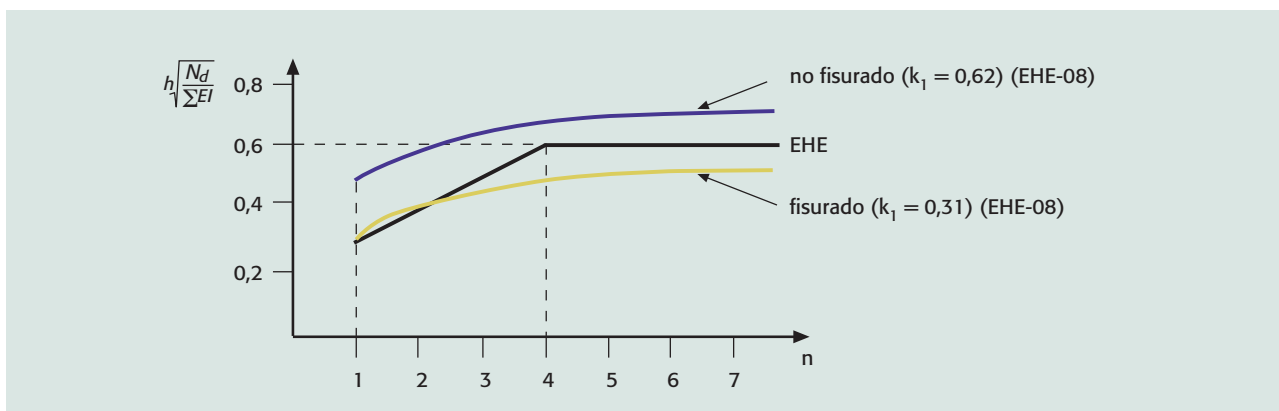
Compresión en el alma

La formulación general de agotamiento por compresión en el alma debido al cortante se mantiene igual que en la EHE (Artículo 44.2.3.1):

$$V_{u1} = K f_{1cd} b_0 d \frac{\cotg \theta + \cotg \alpha}{1 + \cotg^2 \theta}$$

Sin embargo, se han realizado algunos ajustes en los coeficientes. Por ejemplo, el valor de f_{1cd} que antes era siempre igual a $0,60 f_{cd}$ en la nueva Instrucción varía en función

Gráfico 2.- Comparación Estado Límite de Inestabilidad EHE y EHE-08.



de la resistencia característica del hormigón, siendo (Artículo 44.2.3.1):

$$f_{1cd} = 0,60f_{cd} \quad \text{para } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$f_{1cd} = \left(0,90 - \frac{f_{ck}}{200}\right)f_{cd} \geq 0,50f_{cd} \quad \text{para } f_{ck} > 60 \text{ MPa}$$

Del mismo modo ocurre con el coeficiente K, cuya nueva formulación es:

$$K = 1,00 \quad \text{Sin pretensado o sin esfuerzo}$$

$$K = 1 + \frac{\sigma'_{cd}}{f_{cd}} \quad \text{Si } 0 < \sigma'_{cd} \leq 0,25f_{cd}$$

$$K = 1,25 \quad \text{Si } 0,25f_{cd} < \sigma'_{cd} \leq 0,50f_{cd}$$

$$K = 2,5 \left(1 - \frac{\sigma'_{cd}}{f_{cd}}\right) \quad \text{Si } 0,50f_{cd} < \sigma'_{cd} \leq 1,00f_{cd}$$

Y también se estipula que la tensión axil efectiva en el hormigón debe calcularse, en pilares, teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras comprimidas:

$$\sigma'_{cd} = \frac{N_d - A_s' f_{yd}}{A_c}$$

Tracción en el alma

En este apartado no sólo cambia el cálculo de ciertos coeficientes, sino que cambia la filosofía en sí. La nueva EHE-08 da una nueva formulación para calcular la resistencia en secciones no fisuradas, con el alma comprimida y sin armadura de cortante (Artículo 44.2.3.2.1.1).

$$V_{u2} = \frac{1}{5} b_0 \sqrt{(f_{ct,d})^2 + \alpha_l \sigma'_{cd} f_{ct,d}}$$

En las piezas sin armadura de cortante que hayan superado el momento de fisuración, la Instrucción mantiene la misma filosofía que su antecesora con ligeras variaciones (Artículo 44.2.3.2.1.2):

$$V_{u2} = \left[\frac{0,18}{\gamma_c} \xi (100 \rho_l f_{cv})^{1/3} + 0,15 \sigma'_{cd} \right] b_0 d$$

El coeficiente 0,12 se sustituye por el término $\frac{0,18}{\gamma_c}$, ya que en la EHE-08, el coeficiente γ_c puede variar. Si tomamos el valor tradicionalmente utilizado de 1,5 como coeficiente de minoración del hormigón, el resultado es la misma fórmula

que la que marcaba la EHE, aunque la EHE-08 establece un valor mínimo para V_{u2} .

$$V_{u2} = \left[\frac{0,075}{\gamma_c} \xi^{3/2} f_{cv}^{1/2} + 0,15 \sigma'_{cd} \right] b_0 d$$

Existen modificaciones en alguno de los coeficientes. Se utiliza f_{cv} en lugar de f_{ck} y la formulación de la cuantía geométrica también se modifica, eliminando el factor de corrección $\frac{f_{yp}}{f_{yd}}$.

$$f_{cv} = f_{ck} \leq 60 \text{ MPa} \quad (f_{cv} \neq 15 \text{ MPa en control reducido del hormigón})$$

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p}{b_0 d} \leq 0,02$$

En el caso de piezas con armadura de cortante, las modificaciones, en lo que se refiere a la contribución del hormigón, son muy similares a los casos en los que no existe tal armadura, resultando la formulación final para la resistencia del hormigón (Artículo 44.2.3.2.2):

$$V_{u2} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \xi (100 \rho_l f_{cv})^{1/3} + 0,15 \alpha_l \sigma'_{cd} \right] b_0 d \beta$$

Si bien en el cálculo del brazo mecánico para cuantificar la contribución de la armadura de cortante, la nueva EHE-08 da la siguiente formulación para el caso de piezas flexocomprimidas:

$$z = \frac{M_d + N_d z_0 - U'_s (d - d')}{N_d + U_s - U'_s} \left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ \neq 0,9d \end{array} \right.$$

Se mantiene $z = 0,9d$ en el caso general y $z = 0,8h$ para secciones circulares.

Indicar, también, que la distancia entre las armaduras ha cambiado (Artículo 44.2.3.4.1):

$$st \leq 0,75 d (1 + \cotg\theta) \leq 600 \text{ mm} \quad \text{si } V_{rd} \leq \frac{1}{5} V_{u1}$$

$$st \leq 0,60 d (1 + \cotg\theta) \leq 450 \text{ mm} \quad \text{si } \frac{1}{5} V_{u1} < V_{rd} \leq \frac{2}{3} V_{u1}$$

$$st \leq 0,30 d (1 + \cotg\theta) \leq 300 \text{ mm} \quad \text{si } V_{rd} > \frac{2}{3} V_{u1}$$

así como la cuantía de armadura transversal mínima:

$$\frac{\sum A_\alpha f_{yk,d}}{\text{sen } \alpha} \geq \frac{f_{ct,m}}{7,5} b_0$$

Por último, resaltar que la formulación del rasante ala-arma se mantiene igual que en la EHE salvo por las modificaciones introducidas para hormigones de alta resistencia (f_{1cd}) y que en la nueva Instrucción se regula el cortante vertical en juntas entre placas alveolares y el punzonamiento en losas alveolares pretensadas sin capa de compresión.

ELU de torsión

Las modificaciones en la formulación de la resistencia de las secciones a esfuerzos torsores son de dos tipos. Por un lado se han ajustado ciertos coeficientes para ajustarlos a los hormigones de alta resistencia y, por otro lado, la separación entre las armaduras transversales de torsión se ha cambiado haciéndolas depender del ángulo que las bielas de compresión forman con la directriz de la pieza.

Con estas modificaciones, el esfuerzo torsor de agotamiento que pueden resistir las bielas comprimidas es (Artículo 45.2.2.1):

$$T_{u1} = 2K\alpha f_{1cd} A_e h_e \frac{\cotg \theta}{1 + \cotg^2 \theta}$$

donde:

A_e = Área encerrada por la línea media de la sección hueca eficaz de cálculo.

θ , K y f_{1cd} tienen el mismo significado y formulación que en V_{u1} .

$\alpha = 0,60$ si hay estribos únicamente a lo largo del perímetro exterior de la pieza.

0,75 si se colocan estribos cerrados en ambas caras de la pared de la sección hueca.

El esfuerzo torsor que pueden resistir las armaduras transversales viene dado por (Artículo 45.2.2.2):

$$T_{u2} = 2 \frac{A_e A_t}{s_t} f_{yd} \cotg \theta$$

Y el esfuerzo torsor que pueden resistir las armaduras longitudinales es (Artículo 45.2.2.3):

$$T_{u3} = 2 \frac{A_e A_l}{u_e} f_{yd} \tg \theta$$

donde:

A_t = Área de las armaduras utilizadas como cercos o armadura transversal.

A_l = Área de las armaduras longitudinales.

s_t = Separación longitudinal entre cercos o armadura transversal.

u_e = Perímetro de la línea media de la sección hueca eficaz de cálculo A_e (definido anteriormente).

f_{yd} = Resistencia de cálculo del acero de las armaduras.

Y la separación entre las armaduras es:

$$st \leq 0,75 a \text{ a } (1 + \cotg \theta) \leq a \nlessgtr 600 \text{ mm si } T_d \leq \frac{1}{5} T_{u1}$$

$$st \leq 0,60 a \text{ a } (1 + \cotg \theta) \leq a \nlessgtr 450 \text{ mm si } \frac{1}{5} T_{u1} < T_d \leq \frac{2}{3} T_{u1}$$

$$st \leq 0,30 a \text{ a } (1 + \cotg \theta) \leq a \nlessgtr 300 \text{ mm si } T_d > \frac{2}{3} T_{u1}$$

siendo "a" la menor dimensión de los lados que conforman el perímetro u_e .

En lo referente a la combinación de flexión compuesta con esfuerzo torsor, la anterior Instrucción limitaba la compresión máxima en el hormigón debido a la resultante de todos los esfuerzos aplicados sobre la sección cuando se utiliza el método simplificado. La nueva EHE-08 formula la cuantía de armadura de compresión que hay que añadir en los puntos de la sección donde sea necesario mediante (Artículo 45.3.2.1):

$$\rho_l f_{yd} = \sigma_{md} - \alpha f_{cd} \left[0,5 + \sqrt{0,25 - \left(\frac{\tau}{\alpha f_{cd}} \right)^2} \right] \geq 0$$

El cálculo de la combinación de esfuerzos cortantes y torsores no sufre cambios, si bien se añade un punto específico de dicha combinación en el caso concreto de placas alveolares.

ELU de punzonamiento

En la EHE-08 se define el canto útil para el cálculo del perímetro crítico de punzonamiento como la semisuma de los

cantos útiles correspondientes a las armaduras en dos direcciones ortogonales, dato que no se mencionaba en la EHE.

Además, se han introducido variaciones en la formulación respetando la misma filosofía que en los cambios introducidos en el cálculo de cortante y considerando el efecto positivo de las compresiones mediante la fórmula (Artículo 46.3):

$$\tau_{rd} = \frac{0,18}{\gamma_c} \xi (100 \rho_l f_{cv})^{1/3} + 0,1 \sigma'_{cd}$$

donde σ'_{cd} es la tensión axial (positiva si es compresión media en dos direcciones ortogonales. Al igual que en el caso del cortante, se establece un valor mínimo para la expresión de arriba de:

$$\tau_{rd} = \frac{0,075}{\gamma_c} \xi^{3/2} f_{cv}^{1/2} + 0,1 \sigma'_{cd}$$

En la zona exterior a la armadura de punzonamiento también se tiene en cuenta, en la nueva EHE, el efecto del esfuerzo axial, incluyendo el término $0,1 \sigma'_c$ (Artículo 46.4.2):

$$F_{sd,ef} \leq \left[\frac{0,18}{\gamma_c} \xi (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + 0,1 \sigma'_c \right] u_{n,ef} d$$

Además, debe comprobarse que el esfuerzo máximo de punzonamiento cumple la limitación (Artículo 46.4.3):

$$\frac{F_{sd,ef}}{u_o d} \leq 0,5 f_{tcd}$$

El esfuerzo máximo se hace depender del coeficiente f_{1cd} donde también tienen cabida los hormigones de alta resistencia.

ELU de rasante entre juntas de hormigonado

La principal novedad en este apartado es el hecho de que se separe la formulación para secciones que

tengan armadura transversal y para secciones que no la tengan.

En la EHE-08, la formulación para secciones sin armadura transversal incorpora un coeficiente que afecta a f_{ctd} y, además, tiene un valor mínimo según la expresión (Artículo 47.2.1):

$$\tau_{r,u} = \beta \left(1,30 - 0,30 \frac{f_{ck}}{25} \right) f_{ctd} \geq 0,70 \beta f_{ctd}$$

con unos coeficientes β :

$$\beta = \begin{cases} 0,80 & \text{superficie rugosa con cabalgamiento impedido} \\ 0,40 & \text{superficie con rugosidad alta} \\ 0,20 & \text{superficie con rugosidad baja} \end{cases}$$

En el caso de que se dispongan armaduras transversales, la Instrucción establece diferentes formulaciones:

1) Cuando se tiene un bajo nivel de rasante, $\tau_{r,d} \leq 2,5 \beta \left(1,30 - 0,30 \frac{f_{ck}}{25} \right) f_{ctd}$, la expresión es (Artículo 47.2.2.1):

$$\tau_{r,u} = \beta \left(1,3 - 0,30 \frac{f_{ck}}{25} \right) f_{ctd} + \left(\frac{A_{st}}{sp} f_{y\alpha,d} (\mu \operatorname{sen} \alpha + \cos \alpha) + \mu \sigma_{cd} \right) \leq 0,25 f_{cd}$$

2) Cuando se tiene un alto nivel de rasante, $\tau_{r,d} > 2,5 \beta \left(1,30 - 0,30 \frac{f_{ck}}{25} \right) f_{ctd}$, la expresión es (Artículo 47.2.2.2):

$$\tau_{r,u} = \left(\frac{A_{st}}{sp} f_{y\alpha,d} (\mu \operatorname{sen} \alpha + \cos \alpha) + \mu \sigma_{cd} \right) \leq 0,25 f_{cd}$$

Siendo en ambos casos los coeficientes β y μ :

		Tipo de superficie	
		Rugosidad baja	Rugosidad alta
β		0,2	0,8
μ	$\tau_{r,d} \leq 2,5 \beta \left(1,30 - 0,30 \frac{f_{ck}}{25} \right) f_{ctd}$	0,3	0,6
	$\tau_{r,d} > 2,5 \beta \left(1,30 - 0,30 \frac{f_{ck}}{25} \right) f_{ctd}$	0,6	0,9

ELS de fisuración

Las diferencias de la nueva Instrucción con la anterior en este punto son escasas y se limitan a:

1. Sólo debe realizarse la comprobación si la tensión en la fibra más traccionada supera la resistencia media a flexotracción $f_{ctm,fl}$.
2. En los elementos hormigonados contra el terreno podrá adoptarse, para el cálculo del ancho de fisura, el valor nominal del recubrimiento correspondiente a su clase de exposición.
3. La limitación del ancho de fisura a 0,1 mm en los ambientes por ataque químico "Q", sólo se aplica para aquellos casos que afecten a la corrosión de armaduras, no al hormigón.
4. Se eliminan las separaciones máximas entre estribos, por considerarse esta limitación implícita en los artículos 44 y 45 (ELU frente a Cortante y Torsión).

ELS de deformación

Los principales cambios que se han producido en este punto se deben a la fusión de la EHE y la EFHE y la incorporación de nuevos elementos estructurales en la presente Instrucción tales como los tableros de puentes. Para las máximas deformaciones en el caso de puentes ver Tabla 4.

Asimismo, se han modificado la tabla de esbelteces mínimas (Tabla 5).

La inercia equivalente con la que se calcula la flecha instantánea de elementos fisurados no ha variado, pero se ha incrementado la casuística para tramos continuos (Artículo 50.2.2.2):

$$I_e = 0,50I_{ec} + 0,25I_{ee1} + 0,25I_{ee2} \quad \text{vano interior}$$

$$I_e = 0,75I_{ec} + 0,25I_{ee} \quad \text{vano extremo}$$

Y se incorpora un método simplificado de cálculo de flechas especialmente indicado para hormigones de alta resistencia (Artículo 50.2.2.3):

Tabla 4.

	Autopistas, autovías y vías rápidas	Carreteras con circulación rápida	Carreteras con circulación lenta
Puentes isostáticos de un vano	L/1750	L/1000	L/700
Puentes de varios vanos isostáticos	L/3500	L/2000	L/1400
Puentes continuos	L/1400	L/750	L/500

Tabla 5.

SISTEMA ESTRUCTURAL L/d	K	Elementos fuertemente armados ($\rho = 1,5\%$)	Elementos débilmente armados ($\rho = 0,5\%$)
Viga simplemente apoyada. Losa uni o bidireccional simplemente apoyada.	1,00	14	20
Viga continua en un extremo. Losa unidireccional continua en un solo lado.	1,30	18	26
Viga continua en ambos extremos. Losa unidireccional o bidireccional continua.	1,50	20	30
Recuadros exteriores y de esquina en losas sin vigas sobre apoyos aislados.	1,15	16	23
Recuadros interiores en losas sin vigas sobre apoyos aislados.	1,20	17	24
Voladizo	0,40	6	8

$$y_{ret} = k_b \frac{\varepsilon_r \cdot l^2}{d} \cdot \frac{1}{8 \cdot 1 + 12 \cdot n \cdot \rho'}$$

$$Y_t = Y_{ret} + Y_\varphi$$

$$Y_\varphi = Y_g \varphi \frac{x}{d} \frac{1}{1 + 12 \cdot n \cdot \rho'}$$

b) En puentes de carretera con zonas transitables por peatones se deberá cumplir:

$$y_e \leq \sqrt{f_0} \frac{L \cdot f_0 - 18}{2.000 f_0^2}$$

ELS de vibraciones

Se amplía este artículo con respecto a la anterior EHE, fundamentalmente en lo referente a elementos estructurales. Así pues, se establecen las siguientes condiciones cuando se estudian las vibraciones de una estructura:

Puede suponerse que no se producen condiciones de incomodidad para transitar sobre tableros si (Artículo 51.2):

$$a_{max} \neq 0,5 \sqrt{f_0} \text{ m/s}^2$$

La aceleración máxima admisible depende del elemento estructural de que se trate:

a) En pasarelas peatonales: Si $f_0 \geq 5 \text{ Hz}$ no es necesaria la comprobación pero si $f_0 \leq 5 \text{ Hz}$ entonces:

$$y_e \leq \frac{0,5 \cdot \sqrt{f_0}}{4\pi^2 f_0^2 k \psi}$$

4. Durabilidad y mantenimiento

La durabilidad de una estructura, englobada en un concepto más amplio como es la sostenibilidad, es uno de los grandes cambios de la presente Instrucción. No sólo se han realizado modificaciones en el articulado, sino que se ha añadido un anejo donde se establecen los cálculos relativos al Estado Límite de Durabilidad.

La EHE-08 cambia la forma de abordar el tema de la durabilidad y pasa de prevenir el daño, tal y como hacía la anterior instrucción, a controlar el deterioro, tal y como se refleja en el Anejo 9 de la EHE-08, que establece claramente cuál es la vida útil de cada estructura en función de su tipología tal y como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 6.- Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura⁽¹⁾.

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal ⁽²⁾	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas y apoyo de tuberías).	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas.	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media.	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial.	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta.	100 años

⁽¹⁾ Cuando una estructura esté constituida por diferentes partes, podrá adoptarse para tales partes diferentes valores de vida útil, siempre en función del tipo y características de la construcción de las mismas.

⁽²⁾ En función del propósito de la estructura (exposición temporal, etc.). En ningún caso se considerarán como estructuras de carácter temporal aquellas estructuras de vida útil nominal superior a 10 años.

Toda estructura se debe proyectar de manera que el valor estimado de su vida útil sea mayor que el valor de cálculo de la misma que se obtiene aplicando un coeficiente de seguridad de 1,1 a la vida útil del proyecto indicada en la Tabla 4.

En el caso del hormigón, la durabilidad está ligada a diferentes aspectos:

- Corrosión de las armaduras por carbonatación o por cloruros.
- Ataque químico al hormigón.
- Ataque por ciclos hielo-deshielo en el hormigón.
- Ataque por sales fundentes en el hormigón.
- Abrasión o cavitación.

En el Anejo 9 se trata la corrosión de las armaduras, ya sea por carbonatación o por acción de los cloruros. En este caso, el proceso de corrosión se puede dividir en dos ciclos: periodo de iniciación de la corrosión y periodo de propagación. Es fundamental en este sentido el mantenimiento de la estructura, tanto para alargar el tiempo de la iniciación de la corrosión, como para una vez iniciado este proceso, retrasar lo más posible sus efectos, tal y como se indica en el Gráfico 3.

Es prioritario entender que las acciones de mantenimiento se deben considerar como acciones preventivas y no correctoras de daños que ya hayan aparecido en la estructura. De esta

manera se ahorrarán costes y se garantizará un correcto funcionamiento de la estructura de hormigón. En este sentido, la nueva Instrucción marca como obligatorio establecer un plan de mantenimiento en la fase de proyecto: "En el proyecto de todo tipo de estructuras (...) será obligatorio incluir un Plan de Inspección y Mantenimiento que defina las actuaciones a desarrollar durante toda la vida útil." (Artículo 103.3.).

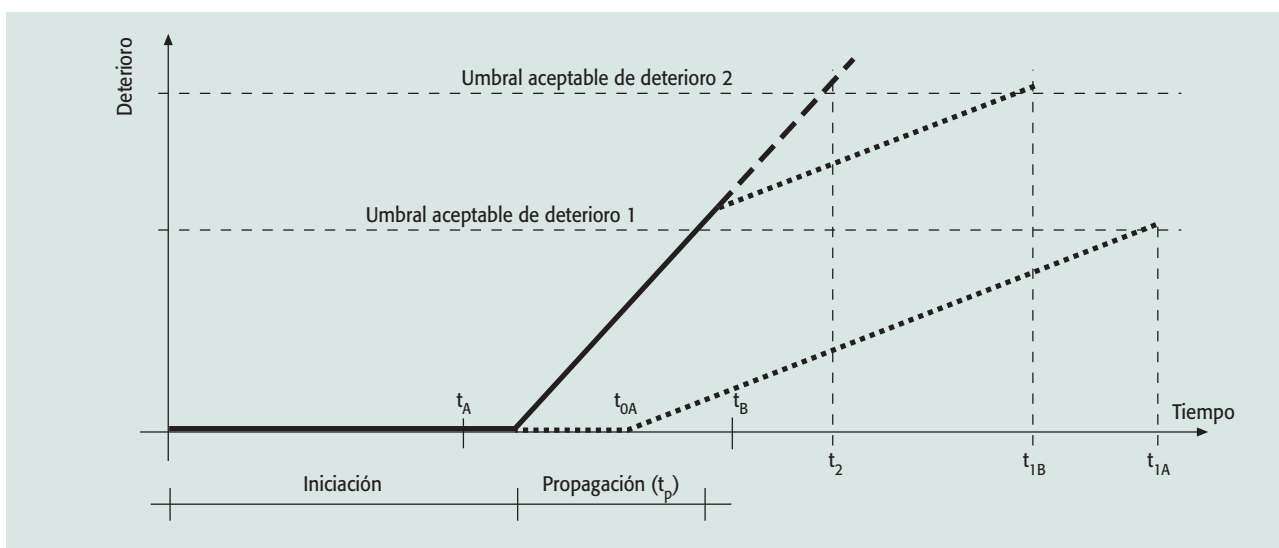
5. Elementos estructurales

Es indudable el esfuerzo que hace la presente Instrucción en aumentar su ámbito de aplicación. Concretamente, en este punto se incorporan numerosos elementos estructurales que no aparecían en la EHE tales como elementos prefabricados o puentes. En el resto de elementos, que sí estaban incluidos en la anterior Instrucción, se han realizado algunas revisiones como el aumento de la armadura secundaria en losas rectangulares apoyadas en dos bordes. Esta armadura pasa del 20% de la armadura principal que marcaba la EHE al 25% que marca la nueva Instrucción.

Estructuras construidas con elementos prefabricados

El aspecto de este tipo de estructuras que más destaca la Norma es su carácter evolutivo debido a que en la inmensa

Gráfico 3.



mayoría de los casos el elemento prefabricado sólo supone una parte del total de la estructura, completándose ésta in situ. Este carácter evolutivo debe tenerse en cuenta tanto en el análisis de esfuerzos como en comprobaciones de Estados Límite: situaciones transitorias, apoyos provisionales y definitivos y las conexiones entre distintas piezas.

No es frecuente que los elementos prefabricados tengan problemas estructurales dado que su ejecución en fábrica permite eliminar las incertidumbres de la ejecución in situ. En este tipo de estructuras los puntos críticos son, si duda alguna, las conexiones entre los distintos elementos, las uniones entre estos y la estructura in situ y los aparatos de apoyo. Es por este motivo que la EHE-08 hace especial mención al tipo de materiales que se deben usar en las conexiones y al diseño y materiales utilizados en los aparatos de apoyo. Todos estos elementos deben ser ejecutados acorde con lo previsto en proyecto.

La nueva Instrucción aborda las uniones a compresión, a flexión y a tracción. En las uniones a compresión se podrá despreciar el esfuerzo cortante si este es inferior al 10% de la fuerza de compresión. Incluso se permiten, excepcionalmente, las uniones a hueso siempre que la tensión máxima en la unión no sea superior a $0,3 f_{cd}$. En las uniones a tracción y a flexión la armadura debe ser continua a través de la conexión y debe estar anclada en el elemento adyacente.

La norma también dedica un apartado a los aparatos de apoyo que deberán calcularse y proyectarse para asegurar su correcto posicionamiento teniendo en cuenta posibles desviaciones o tolerancias en la producción y ensamblaje. Además, todos los elementos en contacto con apoyos que no permiten deslizamientos o rotaciones sin una coacción significativa deberán proyectarse teniendo en cuenta las acciones debidas a la fluencia, retracción, temperatura, desalineaciones y desplomes.

Se incorporan también los cálculos de unión entre cimentaciones y pilares prefabricados, tanto con llaves como con superficies lisas, estableciendo un mecanismo de transmisión de esfuerzos axiales, cortantes y de flexión y obligando a que el empotramiento en la cimentación sea, al menos, 1,2 veces el canto del pilar.

Al fusionarse en la nueva Instrucción la EHE y la EFHE, se incorporan también todos los elementos prefabricados que anteriormente cubría la EFHE, tales como los forjados unidireccionales con viguetas o con losas alveolares.

Elementos estructurales para puentes

La nueva Instrucción cubre los tableros de vigas prefabricadas, tableros losa, tableros nervados y tableros de sección cajón. Al igual que en el caso anterior, es necesario considerar el carácter evolutivo de estas estructuras por lo que los Estados Límite, tanto Últimos como de Servicio, deberán comprobarse en cada una de las fases. Además, deberán evaluarse la importancia de redistribución de esfuerzos y de tensiones a lo largo del tiempo debido a los efectos reológicos. En el caso de tableros de vigas prefabricadas se considerarán al menos las siguientes fases:

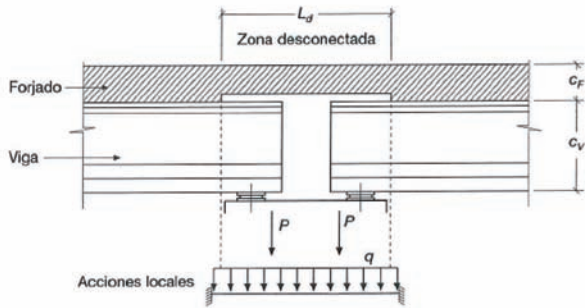
1. Vigas solas sometidas a su peso propio en el momento de la transferencia del pretensado, ya sean pretesas o postesas.
2. Vigas solas sometidas a su peso propio y al peso propio de la losa, ya sea hormigonada in situ o prefabricada.
3. Vigas compuestas sometidas a todas las acciones a tiempo inicial y a tiempo infinito.

La EHE-08 también aborda las juntas transversales en los tableros de vigas prefabricadas que pueden reducirse en número mediante losas de continuidad o mediante articulaciones con pasadores.

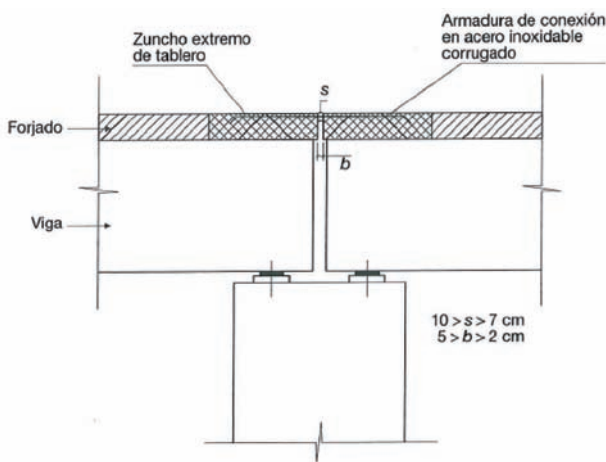
En lo referente al resto de tipo de tableros, la EHE-08 hace breves reseñas a los tableros tipo losa, de sección cajón y los tableros nervados, indicando los requisitos mínimos que se le debe exigir al cálculo de los mismos.

En el cálculo de las pilas de los puentes, la Instrucción hace diferencia entre las pilas con una esbeltez mecánica menor de 100 y una esbeltez mecánica superior a 100. En el primer caso, las pilas pueden considerarse como elementos aislados y dimensionarse frente al Estado Límite Último de Inestabilidad de acuerdo a lo indicado en el artículo 43.5 de

Losa de continuidad entre tableros.



Articulación entre losas de conexión con pasadores.



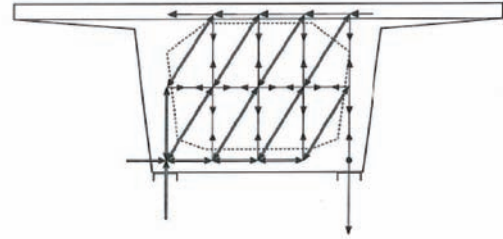
la norma. En el segundo caso, las cargas horizontales transmitidas por el tablero se repartirán mediante un método lineal y a continuación se realizará un análisis de segundo orden tanto para el cálculo de los esfuerzos a los que se ve sometida la pila como la cimentación correspondiente.

Por último, indicar que la presente Instrucción también dedica un artículo a los estribos de puentes y a las riostras de los tableros que transmiten la carga a las pilas.

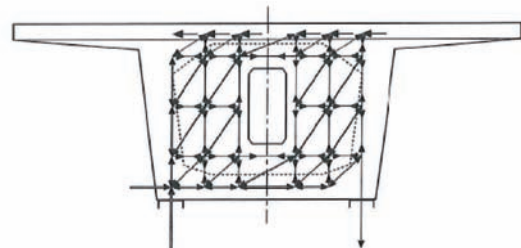
En el caso de los estribos, la Instrucción hace especial mención a la durabilidad de los mismos, ya que se trata de elementos estructurales en contacto con el terreno. Además, será necesario dimensionar estos elementos teniendo también en cuenta las distintas fases de construcción a las que se va a ver sometido el puente.

En el caso del diseño de los diafragmas se tendrá en cuenta la posible excentricidad de las reacciones y la consecuente

Modelo de bielas y tirantes para un diafragma tipo macizo sin paso de personas.



Modelo de bielas y tirantes para un diafragma tipo macizo con paso de personas.



flexión en el diafragma cuando, en alguna situación, el plano central del diafragma no coincide con el eje de apoyos. Lo que nunca hay que perder de vista es que las riostras son regiones D que se calcularán mediante el método de bielas y tirantes. A esta armadura hay que añadirle la armadura debida a la carga concentrada en los apoyos.

Por último citar que en la EHE-08 se han introducido también los apoyos a media madera, que no figuraban en la EHE, cuyo análisis se realiza mediante el método de bielas y tirantes al tratarse de una región D.

6. Ejecución

En el capítulo de ejecución existen novedades importantes con respecto a la EHE. Las principales diferencias son la adecuación de la ejecución al proceso constructivo de la estructura y consideraciones de carácter medioambiental y de contribución a la sostenibilidad.

La ejecución comienza con la gestión de los acopios de materiales en obra. Es necesario un registro de suministradores y asegurar la trazabilidad de cada una de las partidas o remesas que lleguen a la obra.

Además, se establece una secuencia más acorde con el proceso constructivo.

- Fase previa a la colocación de las armaduras.
- Elaboración y montaje de las armaduras (ferralla).
- Procesos relacionados con el pretensado, en su caso.
- Elaboración y puesta en obra del hormigón.
- Procesos posteriores al hormigonado: desencofrado, descimbrado...
- Elementos prefabricados.

La Propiedad podrá exigir que la ejecución de la estructura tenga en cuenta consideraciones medioambientales con objeto de minimizar los potenciales impactos de dicha actividad. Esta exigencia deberá incluirse en un Anejo de evaluación ambiental de la estructura, que formará parte del proyecto. En el caso de que este no contemple estas exigencias, la Propiedad puede obligar al Constructor mediante la introducción de las cláusulas correspondientes en el contrato.

Además, será necesario separar los residuos considerados peligrosos y marcar el tipo y su fecha de almacenaje, ya que dichos residuos no pueden permanecer en obra más de seis meses, debiendo ser retirados de la obra por gestores autorizados.

Igualmente hay que controlar las emisiones atmosféricas. Hay que evitar la generación de polvo y de gases procedentes de los combustibles. Se debe regar frecuentemente las pistas y caminos por donde circule la maquinaria, se cubrirán los transportes y acopios, se emplearán filtros en los silos de cemento y se utilizarán captadores de polvo o pulverizadores de agua.

Hay que gestionar convenientemente el agua proveniente del lavado de cubas de hormigón que se podrá utilizar como agua de amasado de nuevos hormigones y su vertido se hará sobre zonas específicas, impermeables y adecuadamente señalizadas.

El Constructor procurará planificar actividades para minimizar los períodos en los que puedan generarse impactos de ruido y, en su caso, que sean conformes con las correspondientes ordenanzas.

Por último, en favor de la sostenibilidad, se elegirán materiales de mayor durabilidad, menor mantenimiento, simples, fáciles de poner en obra, aptos para ser reciclados, de la máxima eficiencia energética, de mayor salubridad y que minimicen los impactos del transporte. Además, se vigilará el cumplimiento de las exigencias medioambientales definidas por el Constructor, minimizando los residuos, fomentando su reutilización y gestionando adecuadamente los consumos energéticos.

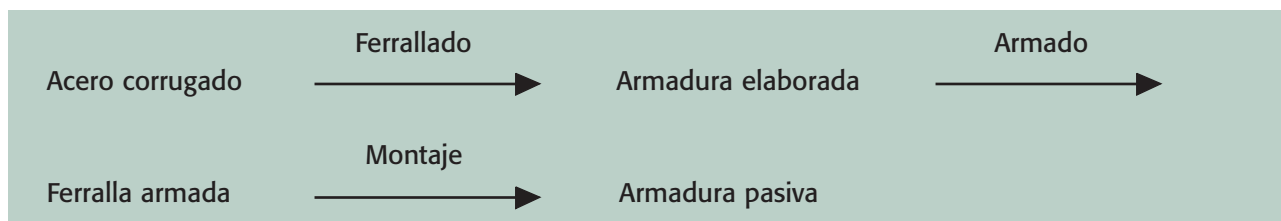
Como aspectos más concretos de la ejecución que cambian en la nueva Instrucción, es de destacar todo lo referente a las cimbras y al tratamiento más adecuado de ciertos procesos como son la ferralla y la prefabricación.

La EHE-08 establece la obligatoriedad de disponer de un proyecto de cimbra en el que, al menos, se contemplen los siguientes aspectos:

- Justifique su seguridad, así como limite las deformaciones de la misma antes y después del hormigonado.
- Contenga planos que definan completamente la cimbra y sus elementos.
- Contenga un pliego de prescripciones que indique las características que deben cumplir, en su caso, los perfiles metálicos, los tubos, las grapas, los elementos auxiliares y cualquier otro elemento que forme parte de la cimbra.

Para el proceso de armado, la nueva Instrucción establece lo siguiente:

Se recibe en obra el *acero corrugado* bien en barra o en rollo. A través del proceso de *ferrallado* (conjunto de los procesos de transformación del acero corrugado que tienen como finalidad la elaboración de armaduras: corte, doblado, soldadura, enderezado, etc.) se transforma el acero corrugado en *armadura elaborada*. En este punto se realiza el *armado* (proceso por el que se proporciona la disposición geométrica definitiva a la ferralla, a partir de las armaduras elaboradas o mallas electrosoldadas: atado, soldadura no resistente, etc.)



para transformar la armadura elaborada en *ferralla armada*. Finalmente, mediante el *montaje* (proceso de colocación de la ferralla armada en el encofrado: separadores, recubrimientos, etc.) se consigue lo que denominaremos *armadura pasiva*.

En los elementos prefabricados es de aplicación todo lo referente a la ejecución que marca la Instrucción, como es la necesidad de garantizar la trazabilidad de estos elementos. Además, se integran en la nueva Instrucción todo lo indicado con anterioridad en la EFHE como es garantizar la estabilidad e integridad estructural del elemento durante el transporte, la descarga y manipulación, seguir las instrucciones del fabricante y prestar especial atención a los problemas de estabilidad durante el montaje, cuyo estudio deberá estar incluido en el Proyecto. Por último indicar que se añade una advertencia a las uniones con tornillos roscados, para los que se debe calibrar los equipos de manera que se garantice el valor de la tensión aplicada.

7. Control

La situación actual de la normativa en lo referente a este punto necesitaba una actualización, ya que el esquema actual estaba diseñado para necesidades de 1973. Además, era necesaria una armonización reglamentaria acorde con la LOE (el control en la EHE debe ser compatible con el control del CTE por ejemplo) así como cumplir con las obligaciones que nos corresponden como Estado Miembro de la UE. Por último, indicar que, al igual que en anteriores apartados, es necesario adecuarse a las nuevas exigencias de durabilidad y sostenibilidad.

De todas las patologías que sufrían las estructuras, se estima que tan sólo el 14% se debían a materiales defectuosos, el 28% eran ocasionadas por una mala ejecución y el 58% eran consecuencia de un error en el proyecto. Por este motivo, en la EHE-08 se aborda el control desde un planteamiento si cabe más global que en la EHE. De hecho se añade el

apartado sobre el control de proyecto que no figuraba en la anterior Instrucción. Así pues, las bases generales en la nueva EHE-08 son control del proyecto control de los productos y control de la ejecución.

Además, en la EHE-08 aparecen nuevos instrumentos de control como son los distintivos de calidad, así como nuevos agentes, ya que el control debe ser responsabilidad de la Dirección Facultativa, Laboratorios de Control y Entidades de Control.

Salvo en el caso de los hormigones, que actualmente no tienen establecido el marcado CE, no se verán sometidos a ensayos aquellos materiales y productos que posean un distintivo de calidad acreditado (marcado CE por ejemplo). No obstante, en el caso del hormigón, se establece un procedimiento basado en los distintivos voluntarios de calidad oficialmente reconocidos para racionalizar el control de los mismos mediante ensayos de identificación. Con esta medida se pretende evitar los 6 millones de probetas que se ensayan anualmente en España y los residuos generados. A partir de ahora se establecerá un flujo documental que deberá ser controlado y gestionado por los agentes anteriormente citados y que deberá ser capaz de discriminar responsabilidades y garantizar la trazabilidad de los materiales y productos. El camino de este flujo documental es: fabricante, suministrador, constructor, entidad de control y dirección facultativa. Para adaptarse a las nuevas tecnologías, en todo este proceso se podrán utilizar firmas digitales y formatos generales de intercambio de datos (FIDE).

Control del proyecto

Se trata de un control que ya existía por parte de la OCT pero que ahora además queda reflejado en la Instrucción. Es importante destacar que este requisito no altera en nada la responsabilidad del autor del proyecto y que tiene como objetivos el control total del proyecto, no sólo de los cálculos, una definición suficiente del mismo y el cumplimiento de las exigencias reglamentarias.

Control de productos

El principal objetivo del control que establece la EHE-08 para productos es aportar una mayor garantía con un menor número de ensayos, centrándose los ensayos de recepción únicamente en los productos que llegan a la obra sin ninguna garantía, bien por no estar sometidos a la obligación de disponer de un marcado CE, bien por no poseer ningún distintivo de calidad voluntario oficialmente reconocido. De esta manera se da valor al control de producción realizado por el fabricante y certificado por un distintivo de calidad voluntario oficialmente reconocido. La metodología de control se establece de la siguiente manera:

1. Control documental.
2. Control de distintivos de calidad, en su caso.
3. Control experimental, en su caso.

Control de ejecución

Existirán dos niveles de ejecución, el normal y el intenso (requiere la certificación ISO 9001), desapareciendo el nivel reducido. Es necesario que estos niveles de ejecución se establezcan en fase de proyecto, ya que los coeficientes de ponderación de los materiales se ven afectados por los mismos.

El control de ejecución se organizará mediante lotes de ejecución, en función del volumen, mediante unidades de inspección, en función del proceso, y con un número mínimo de inspecciones en función del nivel de control.

Para finalizar, indicar que es imprescindible realizar un control de los criterios medioambientales definidos y de su cumplimiento.

8. Anejos

Es esencial destacar el carácter que tienen los anejos dentro de la Instrucción, ya que en numerosas ocasiones en la vida profesional se discute acerca del carácter reglamentario de los mismos. Los anejos pueden tener una triple función:

- Desarrollar, con carácter reglamentario, una cuestión que en el articulado no encuentra un encaje adecuado. También puede indicar referencias a normas o unidades, susceptibles de cambiar con la Instrucción vigente.
- Proponer aclaraciones al texto, facilitando métodos alternativos de cálculo, simplificados o no.
- Ofrecer recomendaciones para el empleo de materiales o técnicas de uso no infrecuente, pero aún no recogidas por el articulado.

No es posible por su extensión y tampoco es el objeto de este artículo cubrir todos los cambios que se han producido en los anejos de la nueva EHE. Por este motivo se resume en la Tabla 7 los nuevos anejos presentes en la EHE-08, el carácter reglamentario, de recomendación o aclarativo de los mismos y los cambios que se han producido en los anejos que ya existían en la anterior Instrucción. Conviene considerar que aquellos aspectos recogidos en el Articulado que se desarrollan, por indicación del propio Articulado, en anejos tienen carácter reglamentario. En este sentido, el empleo de los hormigones especiales en los anejos no está sometido a reserva técnica alguna.

Tabla 7.

ANEJO	TÍTULO	RESPECTO A LA EHE	CARÁCTER
Anejo 1	Notación y unidades	Modifica a A. 1	Reglamentario (obligatoriedad del Sistema Internacional de Medidas).
Anejo 2	Relación de normas UNE	Modifica a A. 2	Reglamentario (normas obligatorias). Se puede actualizar.
Anejo 3	Prescripciones para la utilización del cemento de aluminato de calcio	No cambia (A. 4)	Reglamentario (indicado en el Artículo 26)

Anejo 4	Recomendaciones para la selección del tipo de cemento a emplear en hormigones estructurales	Modifica a A. 3	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 5	Método de ensayo para determinar la estabilidad de la inyección	No cambia (A. 6)	No reglamentario (comentarios)
Anejo 6	Recomendaciones para la protección adicional contra el fuego de elementos estructurales	Modifica a A. 7	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 7	Cálculo simplificado de secciones en estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales	Modifica A. 8	No reglamentario (opción de cálculo simplificado)
Anejo 8	Análisis en situación de servicio de secciones y elementos estructurales sometidos a flexión simple adaptado a forjados	Modifica a A. 9	No reglamentario
Anejo 9	Consideraciones adicionales sobre durabilidad	Nuevo	Reglamentario (alternativa al método del Artículo 37)
Anejo 10	Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas	Modifica a A. 12	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 11	Tolerancias	Modifica a A. 10	No reglamentario (el proyecto puede definir otras tolerancias pero puede indicar éstas)
Anejo 12	Aspectos constructivos y de cálculo específicos de forjados unidireccionales con viguetas y losas alveolares prefabricadas	Nuevo	Reglamentario (mencionado en el Artículo 59.2)
Anejo 13	Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad	Nuevo	No reglamentario (es opcional)
Anejo 14	Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras	Nuevo	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 15	Recomendaciones para la utilización de hormigón reciclado	Nuevo	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 16	Recomendaciones para la utilización de hormigón ligero	Nuevo	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 17	Recomendaciones para la utilización de hormigón autocompactante	Nuevo	No reglamentario (recomendaciones)
Anejo 18	Hormigones de uso no estructural	Nuevo	Reglamentario (mencionado en Artículo 31.4)
Anejo 19	Niveles de garantía y requisitos para el reconocimiento oficial de los distintivos de calidad	Nuevo	Reglamentario (mencionado en el artículo 81)
Anejo 20	Lista de comprobación para el control de proyecto	Nuevo	No reglamentario (el Artículo 82.2 dice que se incluye a título orientativo)
Anejo 21	Documentos de suministro y control	Nuevo	Reglamentario (se menciona en el Artículo 79.3.1)
Anejo 22	Ensayos previos y característicos del hormigón	Nuevo	Reglamentario (indicado en el Artículo 86.4.2)

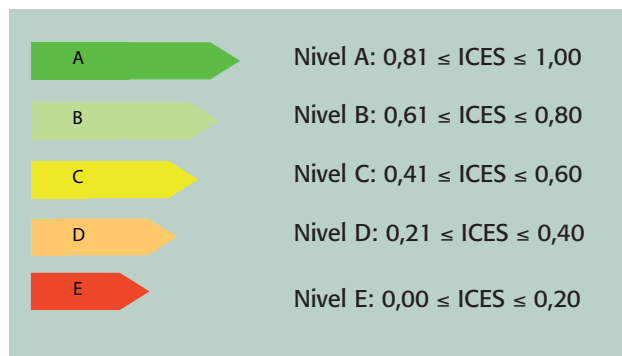
Anejo 23	Procedimiento de preparación por enderezado de muestras de acero procedentes de rollo para su caracterización mecánica	Nuevo	Reglamentario (mencionado en el Artículo 32)
Anejo 24	Recomendaciones relativas a elementos auxiliares de obra para la construcción de puentes de hormigón	Nuevo	No reglamentario (recomendaciones)

Dado que el principal objetivo de la nueva Instrucción es introducir el concepto de sostenibilidad en las estructuras de hormigón es conveniente hacer especial mención al Anejo 13: Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad, donde se define este índice (ICES) en función del Índice de sensibilidad medioambiental de la estructura de hormigón (ISMA) según la fórmula:

$$ICES = a + b \cdot ISMA \leq 2 \cdot ISMA$$

donde "a" es un coeficiente de contribución social y "b" es un coeficiente de contribución por extensión de la vida útil.

El ICES de ejecución debe ser mayor o igual que el ICES de proyecto y éste a su vez mayor o igual que el ICES exigido por la propiedad. En función de este índice se establece una escala de sostenibilidad de las estructuras, siendo más sostenible la estructura cuanto mayor es su ICES:



9. Calidad

Ya la anterior Instrucción hacía una gran apuesta por la calidad y esta filosofía se mantiene en EHE-08 que renueva el esfuerzo realizado en anteriores instrucciones. La nueva Instrucción permite al proyectista, al constructor o a la Dirección Facultativa establecer niveles de calidad adicionales. Estos niveles son voluntarios y se les exige que sean supe-

riores a los mínimos establecidos legalmente (marcado CE por ejemplo) o reglamentariamente (establecidos en la EHE) y que estén certificados por terceros mediante un distintivo voluntario de calidad que sea oficialmente reconocido.

Los distintivos voluntarios de calidad (D.V.C.) pueden convertirse en distintivos oficialmente reconocidos (D.O.R.) mediante un reconocimiento por parte de las Administraciones Públicas. Los requisitos que se les exige a los D.O.R. son dos:

1. Estar certificados por terceros independientes.
2. Cumplir los requisitos mínimos establecidos por la EHE y definir especificaciones adicionales.

Para que estos distintivos se usen de manera generalizada deben suponer un beneficio para todas las partes implicadas en el proceso de construcción y muy especialmente para el usuario final. Un aumento de la calidad del producto recibido supone un gran beneficio para el usuario que, cada vez más, exigirá unos niveles de calidad altos que otorgarán una ventaja competitiva a aquellas compañías que los posean.

Pero los distintivos de calidad no deben satisfacer sólo a los usuarios finales, sino también a los agentes intermedios como son los proyectistas, los suministradores de material, la empresa constructora, la Dirección Facultativa, etc. Los D.O.R. permiten al proyectista variar los coeficientes parciales de seguridad de los materiales. El tradicional coeficiente $\gamma_c=1,5$ para el hormigón se puede reducir a 1,4 o incluso a 1,35 (en elementos prefabricados) si se dispone de un D.O.R.. Del mismo modo, el control de los materiales se simplifica muchísimo, se aumenta el control documental y se reduce el número de ensayos, facilitando el trabajo tanto de los suministradores como de la dirección facultativa. En lo referente a la ejecución, sólo aquellos contratistas que dispongan de un distintivo reconocido pueden aplicar un control de la ejecu-

ción intenso en sus obras. Además, la máxima calificación del ISMA sólo se puede obtener en algunos casos si se posee un distintivo de calidad conforme la norma UNE-EN ISO 14001 o a través del reglamento comunitario EMAS.

Estos son sólo unos cuantos ejemplos de las ventajas de poseer distintivos de calidad voluntarios, pero, sin ningún género de dudas, la mayor ventaja es la garantía de hacer bien las cosas. Por este motivo, es necesario que administraciones, propiedades, proyectistas, Direcciones Facultativas y constructores aprecien y exijan los Distintivos Oficialmente Reconocidos.

10. Conclusión

La nueva Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, que en el futuro se podrá enmarcar en el contexto de un posible Código Estructural (hormigón, metálicas, mixtas), ha continuado su esfuerzo integrador, uniendo las Instrucciones EHE y EFHE eliminando las incoherencias que pudieran existir.

En coherencia con el CTE, la nueva EHE se ha planteado basada en prestaciones. El Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa pueden adoptar soluciones alternativas siempre que se justifique documentalmente que la estructura cumple las exigencias de esta Instrucción porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los procedimientos de ésta.

A su vez, la EHE-08 incorpora los avances más recientes pero consolidados en el estado del conocimiento de las estructuras de hormigón, manteniendo el nivel de seguridad estructural con reducción del uso de recursos. De esta manera, trata de responder a las demandas sociales, incorporar la construcción al desarrollo sostenible, impulsar la calidad, reconocer la realidad del sector empresarial y profesional e incentivar la innovación y la investigación del sector de la construcción, todo ello en beneficio del usuario.

Agradecimientos

Los autores del artículo agradecen a los ponentes de las jornadas su colaboración en el mismo facilitando sus presentaciones y la información en ellas contenida.

PUBLICACIONES TÉCNICAS



Color y textura en pavimentos y paramentos de hormigón



Manual de firmas con capas tratadas con cemento



Guía del Terrazo II - Soluciones para interior y exterior



Manual de pavimentos de hormigón para vías de baja intensidad de tráfico (Ed. 2002)



Guía del Terrazo Proyecto y puesta en obra. Control de Calidad



Presas de hormigón compactado



Manual de pavimentos industriales



Grandes obras de hormigón en España. (Ed. 2000)



Estabilidad de pilares esbeltos de hormigón. Estado límite último de inestabilidad



El hormigón en la construcción de puertos y estructuras marítimas



El hormigón en las infraestructuras de transporte



Edificios y construcciones singulares de hormigón



Edificación con prefabricados de hormigón



Grandes obras de hormigón en España. (Ed. 1997)



Prontuario para la utilización de los cementos de las normas UNE y UNE-EN



Grandes obras de hormigón en España. 3ª edición



Guía práctica para la utilización del hormigón autocompactante

Para más información, visite nuestra página web:

www.ieca.es