

# La nueva EHE, una instrucción para el siglo XXI

Hugo Corres Peiretti

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Catedrático de Hormigón.*

*E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.*

## RESUMEN

En diciembre de 1998 se publicó el Real Decreto que aprobaba la Nueva Instrucción de Hormigón Estructural EHE. Esta nueva Instrucción trata de forma conjunta el hormigón en masa, armado y pretensado y supone, por un lado, una continuidad doctrinal con las Instrucciones precedentes, EH y la EP y, por otro, la actualización de mayor calado en contenido y presentación que se ha producido después de la edición de la también pionera Instrucción EH-73.

En este trabajo se describen las ideas rectoras que han sido seguidas para su elaboración y se analizan las coincidencias con las instrucciones precedentes, así como las novedades que se incluyen, en relación con los distintos temas tratados.

## ABSTRACT

In December 1998 a Royal Decree was published approving the New Structural Concrete Code (EHE). This new Code considers plain, reinforced and prestressed concrete and, while maintaining the doctrine of the preceding EH and EP Codes (plain-reinforced concrete and prestressed concrete respectively), the new Code builds upon the added depth of content and presentation introduced since the publication of the similarly pioneering EH-73 Code.

This article describes the guidelines followed in the preparation of the Code and analyses both the similarities to the preceding Codes and the innovations that have been introduced with regards to the different subjects considered.

## 1. IDEAS RECTORAS

La nueva EHE ha aprovechado, por un lado, la larga y brillante tradición de la normativa precedente en el campo del hormigón y, por otro, ha introducido importantes cambios que han permitido su actualización, tanto en lo que respecta a su organización general como en lo relativo a su contenido y alcance.

La EHE se ha redactado teniendo en cuenta una serie de ideas rectoras, que se comentan y analizan a continuación.

### Hormigón estructural

Conceptualmente el hormigón constituye un material cuyo comportamiento no cambia por el tipo de armadura que se uti-

lice: pasiva o activa y, dentro de este último grupo, las distintas posibilidades tecnológicamente disponibles.

Este año en que se celebra el centenario del nacimiento de Eduardo Torroja parece especialmente oportuno recordar que él siempre utilizó los materiales disponibles de una forma muy inteligente, aprovechando las diferentes ventajas y características particulares que cada uno ofrece. Torroja era un ingeniero que empleó prácticamente todos los materiales disponibles en su época: el hormigón armado, que elevó a la categoría superior, el hormigón pretensado, del que fue el introductor en España, y también la estructura metálica y hasta la mixta.

El acueducto de Alloz, construido en Navarra en 1939-40, puede resultar un buen ejemplo de uso óptimo del hormigón estructural en su concepción más moderna. En este caso las

pilas están resueltas con hormigón armado y el cajero es, quizá, el primer uso en España del hormigón pretensado. Una concepción estructural ingeniosa, fundada en una viga con voladizos de longitud igual a la mitad de la del vano, lo que produce, para cargas uniformemente repartidas, momentos negativos a lo largo de toda la estructura, le permitió plantear un trazado recto de la armadura activa, en el paramento superior, que facilitaba las tareas de introducción de la fuerza de pretensado longitudinalmente. La sección también se pretensó transversalmente.

Mas allá de ejemplos singulares, que constituyen parte de la historia del hormigón estructural, que debe conocerse e imitarse y que revela la inexistencia de fronteras entre materiales para los ingenieros *heteroestructurales*, resulta llamativo que, prácticamente hasta los años 70, en todo el mundo se hayan tratado el hormigón armado y el pretensado de forma separada. Aún hoy existen muchos países que tienen códigos diferentes para estos dos materiales.

La razón de esta situación debe buscarse en la cronología de la aparición de estas tecnologías. El hormigón armado se inventó hace poco más de un siglo y el pretensado hace poco más de 60 años. Las primeras normas de hormigón armado datan de principios de siglo y las primeras de pretensado de los años 40.

Esta separación, a nivel normativo, se ha mantenido hasta finales de los años 70, siendo, posiblemente, el Código Modelo del 78 [2] el primer código en el que el hormigón armado y pretensado aparecieron tratados de forma conjunta e integrada. A partir de esta fecha (1978) muchos de los nuevos códigos nacionales han sido reeditados con un planteamiento conjunto del hormigón como material estructural.

Sin embargo, hasta 1991, con motivo de la celebración de un *Colloquium* organizado por el IABSE en

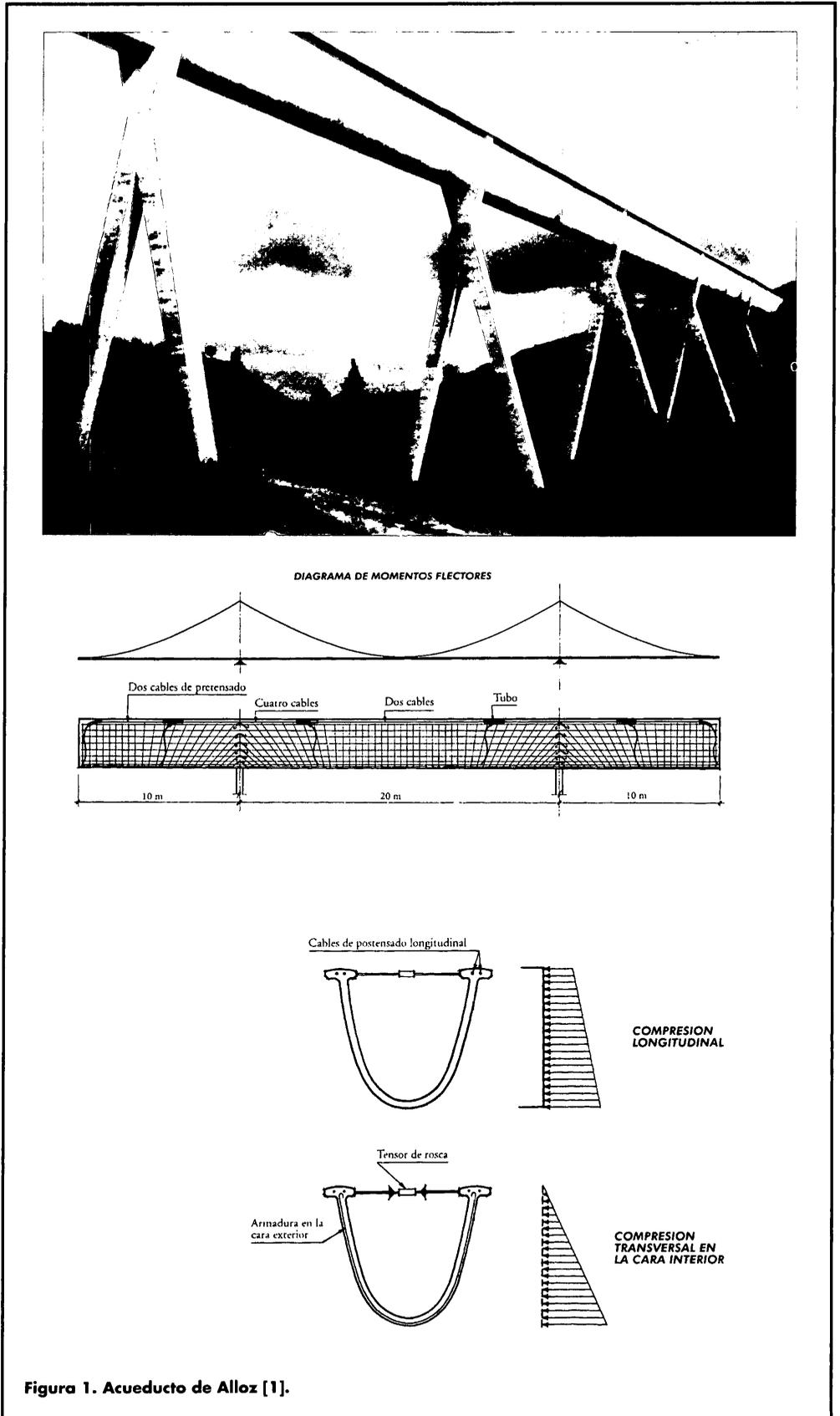


Figura 1. Acueducto de Allox [1].

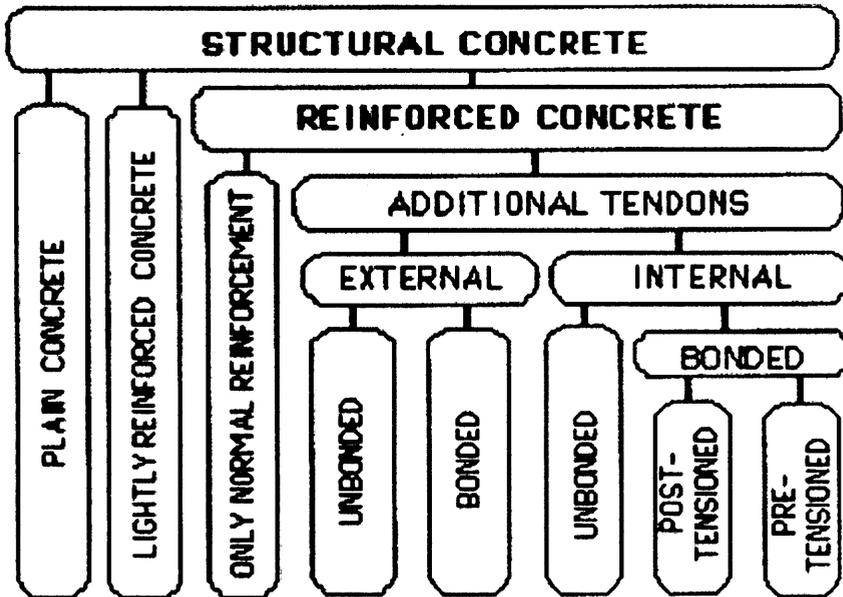


Figura 2. Definición del hormigón estructural según M. Wicke [4].

Stuttgart sobre Hormigón Estructural, el concepto de hormigón estructural no fue definitivamente formulado y aceptado por la comunidad científica y técnica [3]. En la figura 2 se muestra la definición de hormigón estructural propuesta en Stuttgart [4] por M. Wicke, de la Universidad de Innsbruck.

La nueva EHE se ha alineado con esta corriente y considera las distintas posibilidades estructurales del hormigón de forma conjunta e integrada.

La EHE trata de forma conjunta el hormigón en masa, armado y pretensado, con armadura pretesa y postesa y, dentro de este último grupo, con armadura adherente y no adherente. Aunque de forma genérica y no explícita, la EHE trata también el pretensado exterior. Como es común en la bibliografía técnica especializada, el ámbito de aplicación cubierto es sólo para aquellos casos en que el cable tiene una pequeña variación de tensiones, debido a la sobrecarga, y semejante a la de los cables de pretensado interior. Genéricamente esto se cumple, para estructuras de hormigón, cuando el cable está dentro del canto de la sección transversal. Quedan, por lo tanto, fuera del ámbito de la EHE los cables de puentes atirantados o los tirantes exteriores de otras tipologías, en los que los efectos de fatiga tienen que ser tratados de forma especial.

En algunos sectores profesionales en los que sólo se utiliza el hormigón armado este planteamiento conjunto puede crear la impresión de que la nueva EHE resulta muy compleja en el uso cotidiano. Este aspecto fue discutido en el seno de la ponencia y, para facilitar su uso a aquellos que solo trabajen con hormigón armado, se han incluido en los comentarios de todos aquellos artículos que presentan fórmulas generales para el

tratamiento conjunto del hormigón armado y pretensado, las mismas fórmulas particularizadas para el caso de hormigón armado.

En contrapartida, es de esperar que un planteamiento conjunto, como el que propone la nueva Instrucción, sea un nuevo motivo para incrementar el uso del hormigón pretensado en edificación. Lamentablemente el empleo del hormigón pretensado en edificación constituye, hoy por hoy, una anécdota en nuestro país (con la excepción de los elementos prefabricados). Por el contrario, su uso permitiría resolver idóneamente muchos proyectos que siguen planteándose de forma tradicional, cuando podrían ser resueltos de manera óptima con soluciones pretensadas [5].

### Tipologías estructurales

La nueva EHE se ha redactado con la idea de considerar el más amplio campo de tipologías estructurales posibles. Este objetivo fue planteado para tratar de resolver el problema que planteaba la normativa precedente en que, históricamente y debido a diferentes razones, la EH estaba más enfocada a la edificación y la EP a la obra pública.

### Armonización de los criterios de seguridad

Tradicionalmente han existido distintas normas de materiales (las EH-91 [6] y EP-97 [7] para el proyecto de estructuras de hormigón armado y pretensado respectivamente, la EA-95 [8] para el proyecto de estructuras metálicas de edificación, la FL-90 [9] para el proyecto de muros de fábrica de ladrillo y, por último, las recomendaciones RPX [10] y RPM [11] para el proyecto de puentes mixtos y metálicos) y distintas normas de acciones (la AE-88 [12] para edificación, la IAP97 [13] para puentes de carretera y la IAPF 72 [14] para puentes de ferrocarril). Por desgracia, todas ellas trataban el tema de la seguridad de forma no coordinada y, consecuentemente, incurriendo en contradicciones.

Por fortuna, todas las normas vigentes están planteadas en el marco del Método de los Estados Límite y esta situación es una importante coincidencia y buen punto de partida.

La diferente procedencia, en general, de cada una de estas normas se explica porque se han elaborado en departamentos ministeriales diferentes. Asimismo, la distinta fecha de redacción o actualización, para aquellas que han sido actualizadas, puede ser la principal razón de la falta de armonización aludida.

Los ejemplos que se presentan a continuación son una muestra de las contradicciones indicadas.

En el campo de las normas de materiales, los coeficientes de mayoración de acciones permanentes y sobrecargas preconizados por las anteriores Instrucciones de hormigón y por las normas de estructuras metálicas son completamente diferentes. Según EH y EP, para control de ejecución normal, el coeficiente de mayoración de las cargas permanentes y sobrecargas es el mismo e igual a 1,60, mientras que para estructuras metálicas el coeficiente de mayoración para carga permanente es 1,33 y para la sobrecarga 1,50, independiente del tipo de control de ejecución de la obra.

Todas las normas vigentes, independientemente que sean de acciones o de materiales, establecen criterios de combinación de acciones diferentes y, por lo tanto, contradictorios. Así, cuando se realiza el proyecto de una estructura es, en general, el proyectista el que resuelve la falta de armonización mencionada de acuerdo con criterios mas o menos aceptados o según su opinión personal.

De acuerdo con el estado del conocimiento actual, resulta muy claro que son las normas de acciones las que deben definir tanto las acciones como su forma de combinación. Es evidente que la forma de combinar las acciones permanentes y las sobrecargas es diferente en un edificio que en un puente y es en las normas de acciones donde deben definirse estos criterios.

Las normas de materiales sólo deben definir los datos complementarios del formato de seguridad, inherentes a los materiales, es decir, los coeficientes de minoración correspondientes.

Este es exactamente el criterio con el que se ha redactado el Título relativo a Bases de Proyecto en la nueva EHE. No obstante, debido al diferente grado de actualización de las normas de acciones, ha sido necesario definir en la EHE algunos aspectos, que algunas normas de acciones deberán recoger en futuras actualizaciones.

La IAP97 es, de las instrucciones de acciones, la más moderna y EHE se ha redactado en total consonancia. En estos momentos están siendo actualizadas la IAPF y la AE, y es de esperar que su contenido esté en la línea de la IAP97 y, consecuentemente, en la de EHE.

### **Aprovechamiento de las normas precedentes y actualización de acuerdo al estado del conocimiento actual**

En España las Instrucciones de hormigón tienen su primer antecedente en la Instrucción de 1939.

Desde muy pronto, a partir de la Instrucción del 68, inspirada en las recomendaciones HA-61, redactadas por Eduardo Torroja, las Instrucciones de Hormigón recogieron las propuestas más vanguardistas que se han impuesto finalmente en todas las normas modernas actuales. La vigencia de estas ide-

as ha sido lo que ha permitido que las Instrucciones siguientes hasta las precedentes EH-91 y EP-93 mantuvieran la misma estructura y las principales ideas y sólo fuera necesario realizar actualizaciones y añadidos que, sin alterar la organización general, permitieran recoger la evolución del conocimiento y de la técnica durante todos estos años.

La nueva EHE, aun cuando presenta una organización nueva y ha requerido los lógicos ajustes para recoger el tratamiento integrado del hormigón estructural, ha mantenido las mismas ideas y contenidos que las precedentes, constituyendo también un documento de continuidad doctrinal en las ideas fundamentales para el proyecto del hormigón estructural.

Para recoger la evolución del conocimiento, en el plazo transcurrido tras las últimas ediciones, se han seguido fundamentalmente los trabajos del Comité Euro-Internacional del Hormigón (CEB) y muy especialmente el Código Modelo del 90 [15]. También se han tenido en cuenta los trabajos realizados en el ámbito del Eurocódigo, especialmente en los Eurocódigos 1. Bases de Proyecto [16] y 2. Estructuras de Hormigón [17].

### **Metodo de las Bielas y Tirantes**

La nueva EHE ha incluido de forma explícita, ordenada y sistemática el Método de la Bielas y Tirantes (MBT). De esta forma quedan justificadas las expresiones utilizadas en los distintos artículos y se dispone, asimismo, de un método potente y general para resolver muchos aspectos de proyecto que no están definidos en el catálogo de soluciones que define la Instrucción.

Aunque pueda parecer que el MBT es un método nuevo, este procedimiento fue utilizado desde las primeras tentativas de explicación del comportamiento de elementos de hormigón armado sometidos a cortante, por ejemplo, y ha estado presente en todas las normas que han existido. La celosía plana de Ritter-Mörsch [18], para explicar el comportamiento de una viga después de fisurarse, constituye el primer ejemplo. Inmediatamente después el mismo criterio, generalizado espacialmente, se usó para explicar el comportamiento resistente a torsión de elementos de hormigón estructural. Durante los 60 y 70 los ensayos realizados en la Universidad de Stuttgart por Leonhardt y las publicaciones siguientes [19], supusieron un gran impulso a estas ideas, primero para regiones B (vigas armadas y pretensadas) y luego para regiones D (ménsulas cortas, vigas de gran canto, etc.). Sin embargo, sólo en los años 80 se plantearon los conceptos del MBT de forma ordenada y metodológica y con generalidad suficiente como para poder disponer de una herramienta de proyecto [20] [21].

El modelo de las bielas y tirantes constituye el único instrumento disponible para el análisis del comportamiento de secciones, zonas o elementos de hormigón estructural. Aunque está presente en la normativa más moderna (MC90 [15] y EC2 [17]), no se ha planteado de una forma explícita y organizada hasta la publicación de EHE.

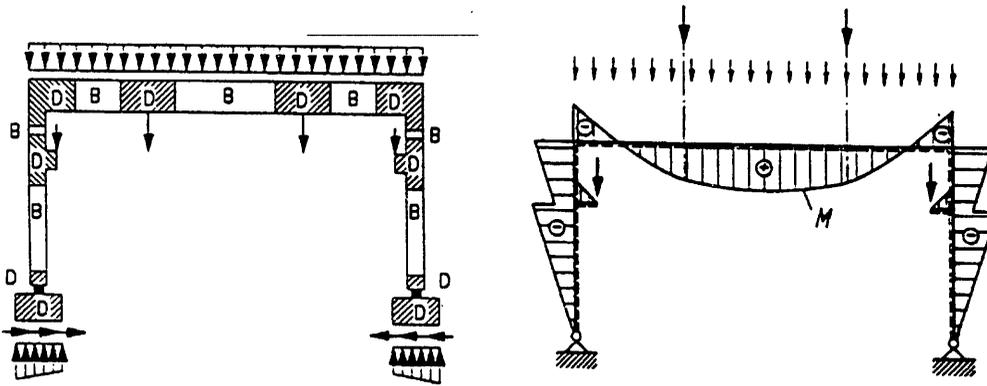
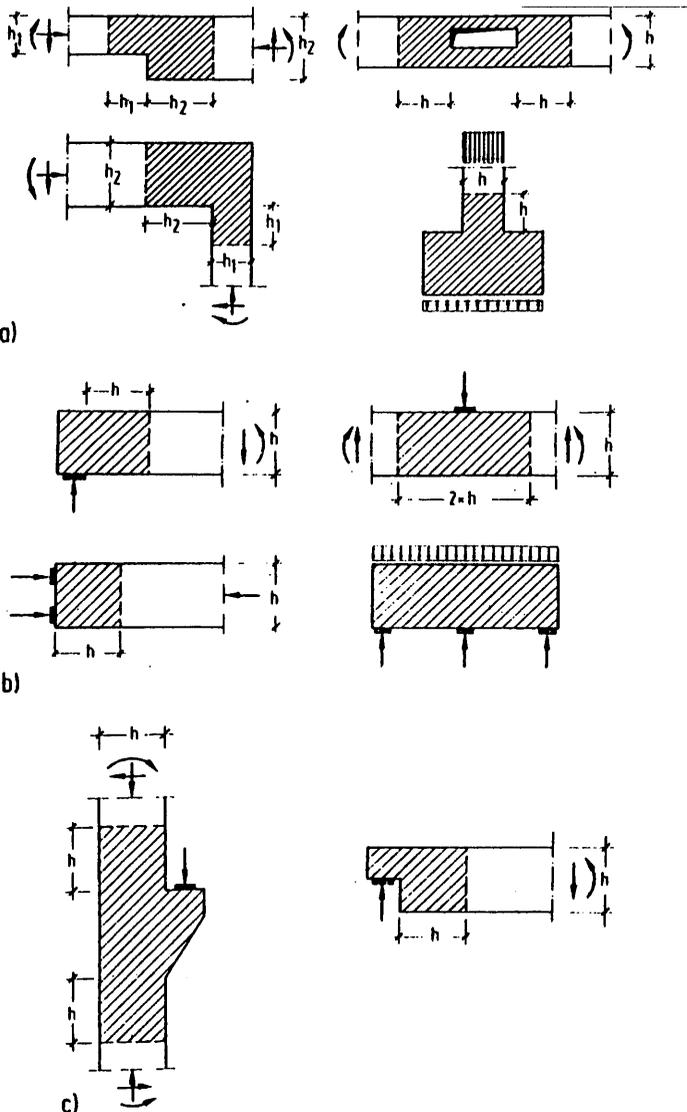


Figura 3. Definición de regiones B y D



Este sistema permite el tratamiento de regiones donde se cumplen las hipótesis de Bernoulli-Navier (regiones B), con las formulaciones tradicionales que existen en todos los códigos, y se puede utilizar para el análisis de regiones discontinuas (regiones D) bien por geometría, bien por razones estáticas o de discontinuidad general, como se muestra en las figuras 3 y 4.

El método de bielas y tirantes es un sistema que permite la evaluación, en un sistema equilibrado, de las fuerzas existentes en el hormigón, bielas, y las fuerzas de tracción de las armaduras u hormigón traccionado, tirantes. Permite también el estudio de los nudos que constituyen la intersección de las bielas y tirantes.

Obliga al usuario a plantear el camino de las fuerzas, es decir, a conocer el comportamiento del elemento estructural, explicar su funcionamiento y hacer explícita la situación de las armaduras. Sus detractores apuntan que es un sistema que requiere un nivel de comprensión detallada del comportamiento de la estructura o zona de la misma en estudio. Sus defensores rebaten estos argumentos diciendo que es un sistema que obliga a entender el comportamiento, aspecto que resulta esencial. Quien no entiende no puede evaluar y la evaluación sin comprensión constituye una acción sin gran valor y muy peligrosa.

El ejemplo de la viga de canto variable de la figura 5 puede permitir poner de manifiesto como el MBT se ha utilizado siempre en el proyecto de regiones B y ha constituido la práctica habitual de proyecto preconizada por las Instrucciones de hormigón desde sus orígenes.

Se trata de un elemento de hormigón armado prefabricado, típico de una cubierta de una nave industrial. En este caso, para introducir otro elemento de discusión, se considera que parte de la carga de la viga entra por el paramento superior, mientras que el resto lo hace por el paramento inferior.

El procedimiento tradicionalmente utilizado para el proyecto de este tipo de elementos es el que se indica en la figura 6. Para la obtención de los esfuerzos se utiliza un modelo tipo barra, con una carga igual a la suma de las cargas aplicadas en el paramento superior e inferior. En la figura se muestran también las leyes de momentos flectores y esfuerzos cortantes que se obtienen con estas hipótesis.

Figura 4. Definición de distintos tipos de regiones D:  
 discontinuidad geométrica;  
 discontinuidad estática y global;  
 discontinuidad estática y geométrica.

A los efectos del dimensionamiento de las armaduras de flexión y cortante, así como para la evaluación de las fuerzas de compresión del hormigón, las leyes obtenidas, de acuerdo con las hipótesis adoptadas, deben ser modificadas adecuadamente, para tener en cuenta distintos aspectos del comportamiento real de una viga de hormigón estructural, como se analiza a continuación.

En lo que respecta a flexión, deben tenerse en cuenta las siguientes correcciones:

- ▼ a) Para el dimensionamiento de la armadura traccionada del cordón inferior, debe decalarse la ley de momentos para tener en cuenta el incremento de fuerza en dicha armadura debido a la inclinación de las bielas comprimidas del alma en la zona próxima a los apoyos.

- ▼ b) Para la comprobación de la capacidad resistente del hormigón del cordón superior comprimido, debe considerarse que la fuerza de compresión determinada para resistir el momento flector de cálculo debe ser convenientemente aumentada para tener en cuenta la inclinación del cordón superior comprimido.

En lo que respecta a cortante, deben tenerse en consideración las siguientes correcciones:

- ▼ a) Para el dimensionamiento de los cercos se deben realizar las siguientes correcciones.

En primer lugar, debido a la inclinación del paramento superior de la viga, debe corregirse la ley de cortantes de la figura 6, correspondiente a las cargas exteriores, para tener en cuenta la componente vertical de la compresión que se produce debido a la flexión. En este caso este efecto disminuye el cortante de las cargas exteriores de las zonas próximas a los apoyos, pero produce un cortante mayor, que el de las cargas

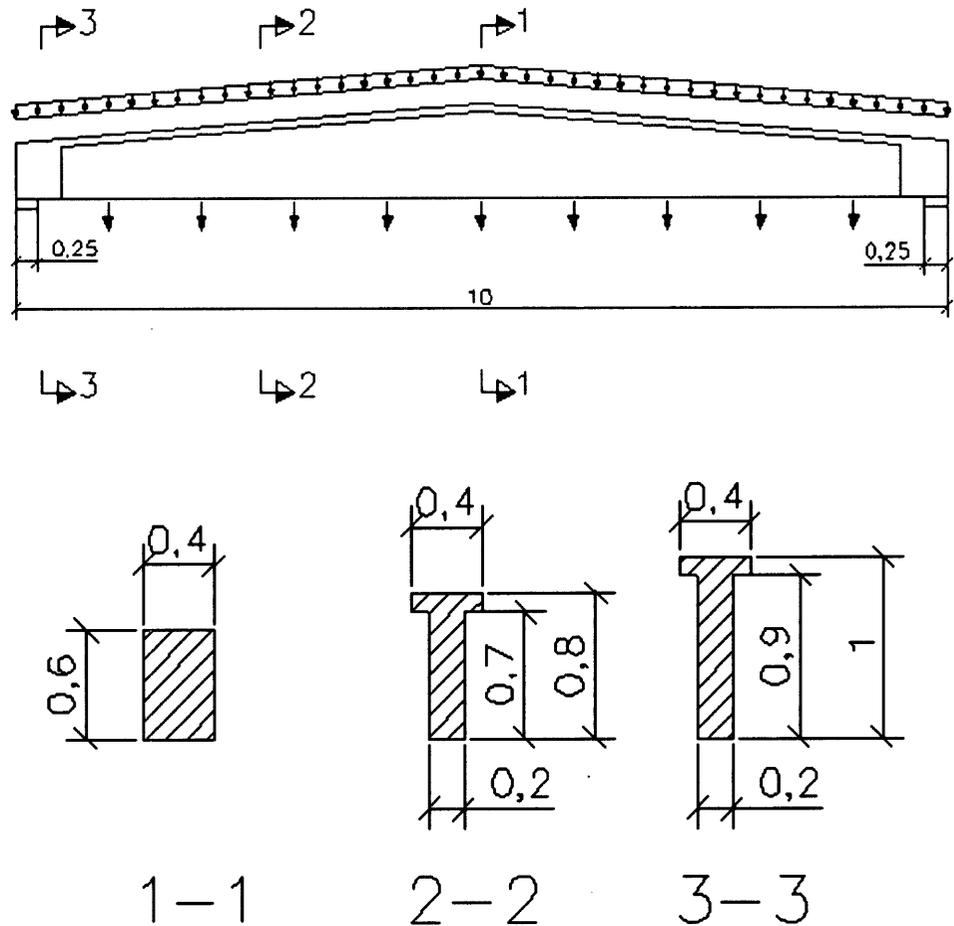


Figura 5. Viga de canto variable.

exteriores, en la zona central de la viga lo que obliga a poner una armadura de cercos específica para evitar el empuje al vacío que crean las fuerzas de compresión del hormigón en el centro de vano.

Además, debe añadirse a la armadura de cercos, obtenida con las correcciones indicadas antes, una armadura de cuelgue que permita incorporar las cargas situadas en el paramento inferior al mecanismo resistente.

Por último, para tener en cuenta que en la zona próxima al apoyo las cargas aplicadas a la viga van directamente al apoyo por compresión del alma, el cortante con el que se dimensionan los cercos de esa zona será el que corresponde a una sección situada a un canto del borde del apoyo.

- ▼ b) En lo que se refiere a las compresiones del alma, debidas al mecanismo resistente a cortante, para tener en cuenta las especiales condiciones próximas al apoyo, la comprobación pésima se realiza con el cortante correspondiente a la sección situada en el borde del apoyo.

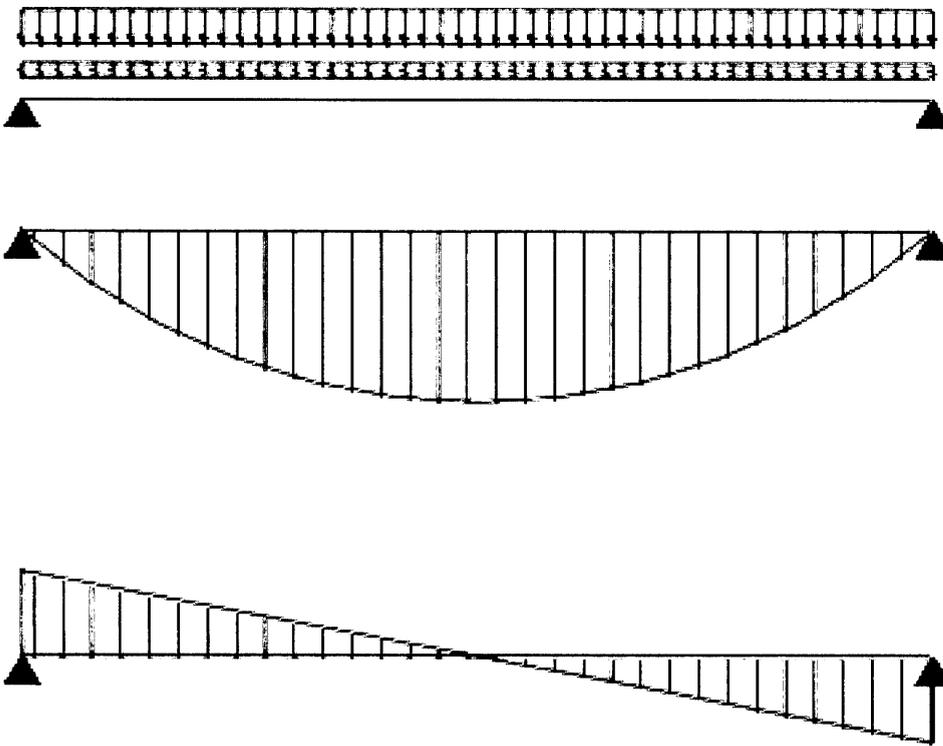


Figura 6. Modelo y leyes de esfuerzos utilizados para el proyecto de la viga de la figura 5.

En la figura 7 se muestra, en la parte superior, el modelo de celosía plana, de bielas y tirantes, adoptado para representar el comportamiento de la viga estudiada. El modelo representa con barras que estarán traccionadas, los tirantes, la armadura del cordón inferior, para resistir las tracciones debidas a fle-

justificar todas las correcciones necesarias cuando se emplean procedimientos más simples como el de la figura 6.

En primer lugar, para el dimensionamiento de las distintas armaduras o para la comprobación del hormigón en una viga como la estudiada, son necesarias las fuerzas de tracción que

deben ser resistidas por las armaduras y fuerzas de compresión que deben ser resistidas por el hormigón. El modelo de bielas y tirantes de la figura, resuelto para las distintas cargas actuantes, da como resultado directamente las distintas fuerzas actuantes y, por lo tanto, necesarias para el proyecto.

La fuerza de tracción del cordón inferior ya tiene en cuenta el efecto de la inclinación de las compresiones del alma, que obliga al decalaje de la ley de momentos con el modelo de barra.

La fuerza de compresión del cordón superior tiene en cuenta

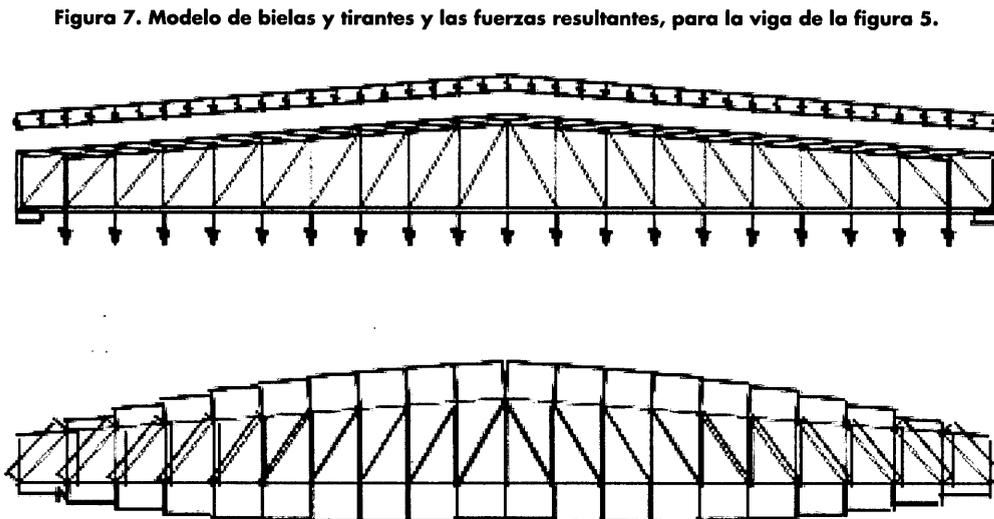


Figura 7. Modelo de bielas y tirantes y las fuerzas resultantes, para la viga de la figura 5.

la inclinación real del cordón comprimido, debido al canto variable.

Las fuerzas de las barras que representan los cercos verticales del alma, tienen en cuenta las modificaciones debidas tanto al canto variable como a la existencia de parte de la carga en el paramento inferior.

El modelo de celosía adoptado también representa adecuadamente que la carga próxima al apoyo se transmite directamente por compresión del alma.

Después de este análisis queda claro que el MBT es el que mejor explica el comportamiento de un elemento de hormigón estructural, considerando todas las condiciones particulares que pueden presentarse, de forma directa.

Queda claro asimismo que, aunque de forma no explícita, se ha utilizado siempre este método para el proyecto de elementos de hormigón. En definitiva, todos los códigos precedentes han empleado el MBT para el tratamiento de lo que se conoce hoy como regiones B, zonas de elementos estructurales donde son de aplicación las hipótesis de Bernoulli-Navier.

Las Instrucciones precedentes también han utilizado el MBT para la solución de distintos elementos estructurales donde no es posible el uso de las simplificaciones anteriores, es decir, donde no se cumplen las hipótesis de Bernoulli-Navier: ménsulas cortas, vigas de gran canto, zapatas, encepados, etc. En estos casos, desde siempre, el MBT ha sido el único instrumento para el análisis del comportamiento de este tipo de elementos y para la evaluación de las tracciones en la armadura y las compresiones en el hormigón.

En la figura 8 se muestra el ejemplo de un encepado de pilotes de un estribo de puente en zona sísmica. En este caso, los axiles provenientes del tablero son modestos comparados con los momentos debidos a las fuerzas de tiro del tablero y los empujes del terreno para la hipótesis de sismo. La combinación sísmica produce, en este caso, una tracción en el pilote trasero y, para esta situación, un análisis con un modelo de bielas y tirantes es imprescindible para comprender el funcionamiento del encepado y disponer de instrumento racional para definir tanto las fuerzas de las armaduras y su detalle como las compresiones en el hormigón.

El modelo de bielas y tirantes definido también en la figura 8 muestra el comportamiento del encepado para la combinación sísmica. Las barras indicadas con una única línea representan las fuerzas de tracción de las armaduras y las indicadas con flechas las compresiones en el hormigón. Con este modelo se puede ver cómo, en este caso, la armadura traccio-

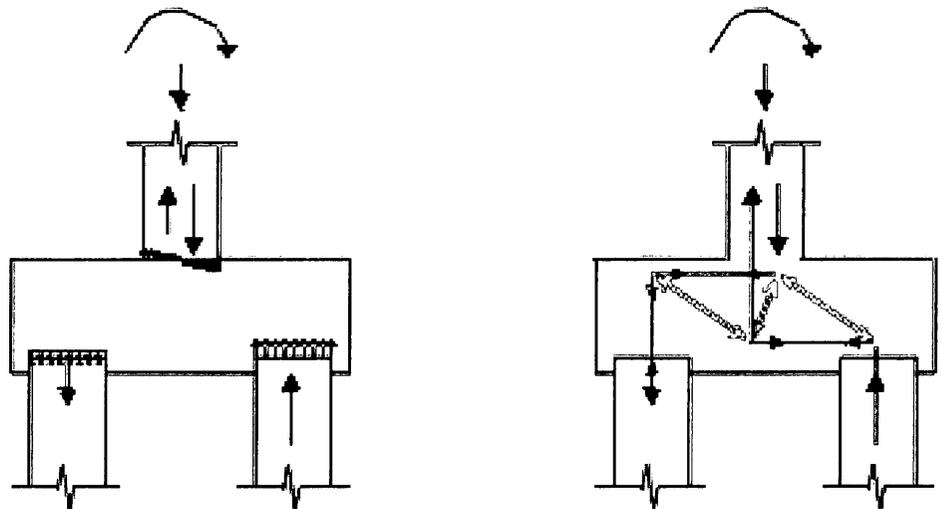


Figura 8. Encepado de pilotes sometido a las fuerzas correspondientes a combinación con sismo y modelo de B&T para explicar el comportamiento.

nada del fuste debe anclarse a partir del paramento inferior del encepado y que la armadura del pilote traccionado debe continuarse hasta el paramento superior del encepado, anclándose a partir de este momento, y debe existir otra armadura en el paramento superior del encepado que permita resistir las fuerzas de tracción que allí se producen.

Este ejemplo muestra cómo este procedimiento permite el estudio de este tipo de elementos y constituye la única vía para que en casos como éste se pueda definir la armadura y su anclaje de forma racional.

Queda entonces claro y demostrado que el MBT no constituye en absoluto una novedad y que ha sido el único procedimiento que se ha empleado desde los primeros esfuerzos realizados para explicar el comportamiento del hormigón. Queda también demostrado que el MBT es el procedimiento que las normas de todos los países y, por supuesto, las distintas versiones de las Instrucciones españolas precedentes, han utilizado, aunque de forma no explícita, para definir los procedimientos de proyecto empleados tanto para regiones B (tensiones normales, cortante, torsión, punzonamiento, etc.) como para regiones D (ménsulas cortas, vigas de gran canto, encepados, zapatas, etc.)

La nueva EHE ha mantenido los criterios utilizados por las versiones precedentes en relación con este tema y ha definido explícitamente el MBT para, por un lado, homogeneizar su utilización y, por otro, poner a disposición del proyectista un instrumento de análisis que le permita resolver los distintos problemas que se presentan en el proyecto y comprobación de estructuras.

En la EHE se describen, en el Título II *Análisis*, las características que debe tener un modelo de bielas y tirantes. En el Título IV *Cálculo de secciones y elementos estructurales*, en un

capítulo dedicado a este tema, se indican las condiciones resistentes de las bielas de hormigón (sin armadura, con armadura, con armadura transversal de confinamiento, con distintos grados de fisuración, etc.), los tirantes de armadura o de hormigón y los nudos. Finalmente, para cada Estado Límite Último o para los distintos elementos estructurales tratados, en los que se utiliza este Método, se utilizan estos criterios, establecidos de forma general, para la formulación de los distintos procedimientos o para la resolución de los elementos estructurales incluidos.

### Durabilidad

La durabilidad ha sido objeto de muchos de los cambios realizados en las últimas versiones de las Instrucciones de hormigón y también de nuevas modificaciones en la EHE. La necesidad de construir estructuras más durables, para evitar los grandes costos de reparación que se requieren cuando se pro-

ducen problemas imputables a esta causa, ha exigido una nueva apuesta por la durabilidad.

Desde un punto de vista muy general, la nueva EHE define el problema de la durabilidad como un problema no sólo de materiales, tal como recogían las Instrucciones precedentes, sino como un problema que debe tenerse en cuenta en todas etapas de una obra de hormigón estructural.

En proyecto, debe tenerse en cuenta la durabilidad cuando se eligen los materiales a utilizar, en función de la agresividad del ambiente en el que se sitúe la obra y de su uso, y en la definición de distintos detalles que garanticen un buen comportamiento. Los agentes agresivos, y particularmente el agua, deben disponer de un sistema para su evacuación de la estructura que sea rápido y efectivo. Debe diseñarse la forma de los elementos estructurales, el sistema de drenaje, etc., de tal forma que garantice una correcta evacuación y un adecuado funcionamiento.

Muchos tableros de vigas han tenido que ser reparados, debiéndose sustituir la viga exterior, porque los sumideros de drenaje estaban situados inadecuadamente y el agua y las sales de deshielo drenaban directamente sobre la viga. Este problema se plantea también en la zona de juntas de dilatación de cubiertas o en las cubiertas en general. La solución de los problemas de durabilidad, en estos casos, es un problema que sólo puede resolverse en proyecto.

Durante la construcción, además de controlar las características de los materiales, recubrimientos, etc., debe controlarse adecuadamente la ejecución. La colocación, compactación y curado del hormigón influyen en su compacidad y, consecuentemente, en la durabilidad.

Por último, el correcto uso de la estructura, para el fin proyectado, y su mantenimiento son aspectos que deben considerarse seriamente para que se consiga el objetivo de durabilidad planteado.

Figura 9. Pilar con oxidación de armaduras.



## 2. ORGANIZACIÓN GENERAL DE LA EHE

La nueva EHE esta organizada en seis Títulos que, aunque en términos de contenido han existido en todas las versiones precedentes, están ordenados y organizados de forma diferente y con un formato más moderno. La nueva EHE tiene los títulos que se describen a continuación y trece anejos:

- ▼ Título 1. Bases de Calculo
- ▼ Título 2. Análisis
- ▼ Título 3. Propiedades Tecnológicas de los Materiales
- ▼ Título 4. Cálculo de Secciones y Elementos Estructurales
- ▼ Título 5. Ejecución
- ▼ Título 6. Control
- ▼ Anejos
  - Anejo 1. Notación
  - Anejo 2. Relación de normas UNE

Anejo 3. Recomendaciones generales para la utilización de los cementos especificados en la Instrucción para el Recepción de Cementos RC-97

Anejo 4. Prescripciones para la utilización del cemento de aluminato de calcio

Anejo 5. Métodos de ensayo para determinar la agresividad de aguas y suelos al hormigón

Anejo 6. Método de ensayo para determinar la estabilidad de la inyección

Anejo 7. Recomendaciones para la protección adicional contra el fuego de elementos estructurales

Anejo 8. Cálculo simplificado de secciones en Estado Límite de Agotamiento frente a sollicitaciones normales

Anejo 9. Análisis de secciones fisuradas en servicio sometidas a flexión simple

Anejo 10. Tolerancias

Anejo 11. Recomendaciones para hormigón de alta resistencia

Anejo 12. Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas

Anejo 13. Documento nacional de aplicación de la norma UNE ENV 1992-1-1 experimental

Esta forma de ordenar el contenido de la nueva Instrucción era inevitable para poder crear una estructura moderna que permitiera la evolución que se producirá en el futuro. Esta forma de presentar el contenido se ha planteado también para facilitar su uso en las distintas Escuelas en las que se enseña Hormigón Estructural y se utiliza la Instrucción como referencia fundamental.

La nueva EHE tiene aproximadamente 450 páginas y un primer análisis de esta situación podría llevar al usuario a pensar que la unión de EH-91 y EP-93 no ha permitido reducir su contenido. En realidad la situación real es bien diferente. La nueva EHE tiene un articulado que ocupa, con comentarios, del orden de 250 páginas. Las 200 páginas restantes son de Anejos y, dentro de éstos el Anejo 13, que constituye el Documento Nacional de Aplicación para el uso del Eurocódigo 2 en España, ocupa del orden de 100 páginas.

Un segundo análisis del alcance de la nueva EHE, después de los datos anteriores, es que la nueva Instrucción ha dedicado al articulado y comentarios 250 páginas, bastante menos que la suma de las dos anteriores y, si no se tiene en cuenta el Anejo 13, sólo 100 páginas a los distintos anejos. Además, sólo de la lectura del título de los anejos puede verse que, además de recoger los anejos existentes en las Instrucciones anteriores, convenientemente actualizados, existen muchos nuevos anejos que cubren contenidos de mucho interés y que son completamente nuevos.

La nueva EHE se ha organizado de acuerdo con un índice que cubre todos los temas tratados por las precedentes y que permite la evolución para versiones posteriores. Para el usuario, no se trata, por desgracia, de una mera actualización como

las precedentes, que cambiaban unos pocos artículos y que, por lo tanto, sólo requerían un pequeño esfuerzo de digestión. Es una versión nueva y más moderna, que requiere una lectura global y, ciertamente, un mayor esfuerzo para su aprendizaje.

La EHE presente otra peculiaridad ya que, por primera vez, sólo el articulado y los anejos son normativos y los comentarios están planteados como un texto complementario que puede variar de acuerdo con las necesidades sin que ello requiera la aprobación de una nueva Instrucción. Esta posibilidad es muy novedosa e interesante y el usuario deberá estar pendiente de las sucesivas ediciones por los cambios, que a nivel de comentarios, pueden aparecer.

### **3. BREVE ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LA NUEVA EHE, MOSTRANDO LAS PRINCIPALES NOVEDADES**

#### **Título 1. Bases de proyecto**

En este título se definen las bases del formato de seguridad y, en definitiva, las bases para el proyecto.

La nueva EHE mantiene las bases generales de las versiones precedentes y establece como formato de seguridad el método de los Estados Límite, como es tradicional en los últimos 40 años aproximadamente. Sin embargo presenta algunas novedades que se describen brevemente a continuación.

La nueva EHE establece, a nivel de bases de proyecto, el tema de la durabilidad. Esta nueva situación es debida a lo ya expuesto en el apartado 1 y pone de manifiesto que la durabilidad debe estar presente en todas las etapas: proyecto, construcción, uso y mantenimiento de una estructura de hormigón.

La nueva EHE propone el Método de los Estados Límite para el proyecto de estructuras de hormigón que puede llevarse a cabo por cálculo, utilizando el Método de los Coeficientes Parciales de Seguridad, o por ensayos. Esta segunda posibilidad, enunciada en la nueva Instrucción aunque no desarrollada en detalle, ofrece una nueva herramienta sobre todo a los prefabricadores o a quienes quieran introducir nuevos productos en este ámbito.

Como ya se ha dicho, EHE trata de forma conjunta el hormigón armado y pretensado y tiene la vocación de cubrir la más amplia gama posible de elementos estructurales (edificación, obra civil, etc.) y, consecuentemente, el proyecto por ensayos puede permitir, para productos industriales cuyas dimensiones, materiales y usos están perfectamente acotados, la evaluación de ciertas propiedades de forma más particularizada y, por lo tanto, con mayores beneficios. En contrapartida, debe ponerse de manifiesto que el estudio experimental que requiere el proyecto por ensayos debe ser planificado seriamente, con una metodología y número de ensayos suficientes, que permita evaluar estadísticamente las propiedades que se estudien con un nivel de fiabilidad equivalente al que se obtiene con el proyecto por cálculo.

**Tabla 1.**  
Coeficientes básicos de mayoración de acciones para distintas combinaciones y tipos de carga.

TIPO DE ACCIÓN	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\lambda_G=1,00$	$\lambda_G=1,35$	$\lambda_G=1,00$	$\lambda_G=1,00$
Pretensado	$\lambda_P=1,00$	$\lambda_P=1,00$	$\lambda_P=1,00$	$\lambda_P=1,00$
Permanente de valor no constante	$\lambda_{G^*}=1,00$	$\lambda_{G^*}=1,50$	$\lambda_{G^*}=1,00$	$\lambda_{G^*}=1,00$
Variable	$\lambda_G=0,00$	$\lambda_G=1,50$	$\lambda_G=0,00$	$\lambda_G=1,00$
Accidental	—	—	$\lambda_A=1,00$	$\lambda_A=1,00$

**Tabla 2.**  
Coeficientes de mayoración de acciones para distintos tipos de control.

TIPO DE ACCIÓN	Nivel de control de ejecución		
	Intenso	Normal	Reducido
Permanentes	$\lambda_G=1,35$	$\lambda_G=1,50$	$\lambda_G=1,60$
Pretensado	$\lambda_P=1,00$	$\lambda_P=1,00$	—
Permanente de valor no constante	$\lambda_{G^*}=1,50$	$\lambda_{G^*}=1,60$	$\lambda_{G^*}=1,80$
Variable	$\lambda_G=1,50$	$\lambda_G=1,60$	$\lambda_G=1,80$

Otra novedad en este Título es la definición de nuevos valores para los coeficientes de mayoración de acciones y minoración de materiales.

EHE establece como coeficientes básicos de mayoración de acciones 1,35 para las cargas permanentes de valor constante y para las permanentes de valor no constante y 1,50 para las cargas variables, para las situaciones persistentes y transitorias, y 1,00 para las combinaciones accidentales o sísmicas (Tabla 1). Estos valores son los que se utilizan para las estructuras metálicas desde hace años en España y son los que existen en los códigos modernos para estructuras de hormigón.

Debido a la tradición de las Instrucciones precedentes de vincular los coeficientes de mayoración de acciones al control de ejecución, los valores de la tabla anterior son aplicables sólo si el control de ejecución es intenso. Cuando el control de ejecución es normal o reducido estos coeficientes son mayores y parecidos a los que las Instrucciones precedentes asignaban para estos tipos de control de ejecución (Tabla 2).

Este planteamiento responde a la idea de impulsar el control de ejecución intenso o, más precisamente, un control de ejecución adecuado.

En la mayoría de los códigos modernos no existe una relación entre los coeficientes de mayoración y el control de ejecución.

En España el control de ejecución es el que menos implantación tiene en la construcción. En el pasado, la elección de

los coeficientes de mayoración respondía más a la tradición (para obra pública se ha venido utilizando como coeficiente de mayoración de acciones 1,50, para un control de ejecución intenso, y en edificación 1,60, con un control de ejecución normal) que a la realidad del control de ejecución realmente ejecutado en obra. El control de ejecución ha sido el hermano pobre del control y, excepto para obras de una particular importancia, era un control casi inexistente.

Sería deseable que, en futuras versiones, EHE definiera

como coeficientes de mayoración de acciones los que hoy define como básicos y de aplicación con control de ejecución intenso y que desaparecieran el resto de los coeficientes y modalidades de control. Seguramente este planteamiento requiera una adaptación de la definición de control de ejecución intenso y la adecuada solución de los problemas prácticos que se producen para obras pequeñas.

Los coeficientes de minoración de los materiales también presentan novedades (Tabla 3).

Para empezar, tanto el coeficiente del hormigón como el del acero han dejado de depender del nivel de control de estos materiales. Para combinaciones persistentes o transitorias se han adoptado los valores normalmente utilizados en el pasado. Para combinaciones accidentales o sísmica estos coeficientes pueden reducirse debido al carácter especial de la combinación.

## Título 2. Análisis

Este Título es nuevo y tiene como objetivo recoger todo lo relacionado con el cálculo de esfuerzos. En las versiones precedentes estos temas estaban distribuidos en distintos artículos y capítulos de forma un tanto desordenada. Se había mantenido además, a lo largo del tiempo, una serie de métodos y referencias que requerían una actualización y puesta al día.

El espíritu de este Título no es definir la forma de evaluar los efectos producidos en la estructura por las distintas accio-

nes, ya que constituye un tema fuera del alcance de un código de este tipo.

Los objetivos principales de este Título son, por un lado, la definición de las limitaciones de los distintos métodos de cálculo de esfuerzos disponibles cuando se utilizan para estructuras de hormigón y, por otro, todos aquellos temas particulares de estructuras de hormigón.

En este Título se definen las posibilidades y limitaciones de uso, tanto para Estados Límite Últimos como para Estados Límite de Servicio, de los métodos elástico, elástico con redistribución, plástico y no lineal.

EHE deja claro que el método elástico es el que resulta más interesante desde el punto de vista práctico, que ha dado a lo largo del tiempo unos resultados muy adecuados y, por lo tanto, que es el método recomendado por excelencia para el proyecto de estructuras de hormigón.

Por el contrario, EHE deja claro que el método no lineal, teóricamente más preciso, tanto para Estados Límite Últimos como para Estados Límite de Servicio, es un instrumento de comprobación más que de proyecto. Por otro lado no puede utilizarse con los criterios de seguridad definidos en el Título 1 y debe ser objeto de un planteamiento de seguridad diferente, actualmente en discusión en la comunidad científica y técnica.

EHE presenta una serie de Artículos en los que define procedimientos que son específicos de las estructuras de hormigón.

En el Artículo 20º se describe el efecto estructural del pretensado, en el Artículo 22º se describe el método de los pórticos virtuales, que es un procedimiento simplificado específicamente desarrollado para placas hormigón sobre apoyos pun-

**Tabla 3. Coeficientes de minoración de materiales.**

Situación de proyecto	Hormigón $\lambda_C$	Acero pasivo y activo $\lambda_S$
Persistente o transitoria	1,50	1,15
Accidental	1,30	1,00

tuales, en el Artículo 24º se establecen las condiciones para la definición de un modelo de bielas y tirantes y en el Artículo 25º se definen los criterios para el estudio del comportamiento en el tiempo de estructuras de hormigón, debido a la fluencia y retracción del hormigón y la relajación del acero de pretensar, especialmente importante para estructuras construidas con un procedimiento evolutivo [22].

**Título 3. Propiedades tecnológicas de los materiales**

En este Título, tradicional en las versiones anteriores, se han recogido los distintos aspectos tratados por EH-91 y EP-93, se ha puesto al día su contenido, teniendo en cuenta el estado del conocimiento y las particularidades regionales de algunos materiales, y se han definido más explícitamente y con mayores exigencias todas las condiciones relativas a la durabilidad.

En relación con el hormigón, EHE contempla en el articulado hormigones de 25 a 50 N/mm<sup>2</sup> y recoge en el Anejo 11 las exigencias adicionales que deben tenerse en cuenta para hormigones con resistencias a compresión comprendidas entre 50 y 100 N/mm<sup>2</sup>.

EHE establece como resistencia mínima del hormigón armado 25 N/mm<sup>2</sup> y esto ha creado un cierto revuelo en los distintos estamentos de la construcción. En realidad, EHE ha recogido los criterios que proponía otro documento elaborado por la Comisión Permanente del Hormigón para la mejora de calidad en edificación [23]. En este documento se proponía como resistencia mínima la adoptada por EHE con el argumento de que, cumpliendo las condiciones de mínimo contenido de cemento y máxima relación a/c, establecidos por EH-91 o EP-93, para el ambiente menos agresivo, se obtienen resistencias no inferiores a 25 N/mm<sup>2</sup>. En definitiva, el cumplimiento de las exigencias de durabilidad de las Instrucciones precedentes hubiera conducido inevitablemente a resistencias de hormigón como las que exige la EHE. El que en el

**Figura 10. Vista durante la construcción del arco sobre el pantano del Burguillo [22].**



pasado se utilizaran hormigones de resistencias menores pone de manifiesto, lamentablemente, el incumplimiento sistemático de las condiciones de durabilidad.

En el otro extremo, se podría pensar que es absurdo hacer una Instrucción para hormigones de alta resistencia si se ve con dificultad utilizar hormigones de 25 N/mm<sup>2</sup>.

En España se utilizó por primera vez un hormigón de alta resistencia con motivo de la construcción de las pasarelas de Montjuïc en Barcelona en 1991 [24]. Desde entonces se han realizado proyectos con hormigones de alta resistencia para distintas tipologías estructurales (edificios, vigas de puentes, taberos de puentes con pretensado exterior, mixtos, pilas de puentes, etc.), con dosificaciones y áridos muy diferentes (con humo de sílice, con distintas cantidades de cemento y con distintos áridos de diferentes procedencias) y produciendo el hormigón de muy diferentes formas (en central, a pie de obra, con hormigón preparado amasado en central o en bombona). Esta situación, que ha quedado reflejada en la documentación del 1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Hormigones de Altas Prestaciones [25], presagia un futuro alentador para el uso de este tipo de hormigones, en aquellas aplicaciones que lo requieran, y justifica sobradamente el planteamiento dado al tema en la Instrucción EHE.

La nueva versión del Eurocódigo 2 esta siendo redactada también para hormigones de una resistencia máxima de 100 N/mm<sup>2</sup>. Es de esperar que la próxima versión de la EHE incorpore en el articulado el contenido del Anejo 11 y se acople definitivamente a esta tendencia.

En cuanto al acero, la nueva Instrucción no incluye el acero liso y sólo incorpora los aceros corrugados soldables de 400 y 500 N/mm<sup>2</sup> de resistencia. En el Anejo 12 *Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas*, se recomienda el uso de un acero especialmente dúctil, con unas limitaciones resistentes muy estrictas ( $1,35 \leq f_s/f_y \leq 1,20$ ) de 400 N/mm<sup>2</sup> de resistencia.

En cuanto al acero, la nueva Instrucción no incluye el acero liso y sólo incorpora los aceros corrugados soldables de 400 y 500 N/mm<sup>2</sup> de resistencia. En el Anejo 12 *Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas*, se recomienda el uso de un acero especialmente dúctil, con unas limitaciones resistentes muy estrictas ( $1,35 \leq f_s/f_y \leq 1,20$ ) de 400 N/mm<sup>2</sup> de resistencia.

#### Título 4. Cálculo de secciones y elementos estructurales

Este Título, como ha sido tradicional en las Instrucciones de hormigón, es el dedicado al proyecto propiamente dicho.

En el Capítulo VIII Datos de los materiales para el proyecto, se definen, exactamente igual que en las versiones precedentes, las diagramas tensión deformación para el hormigón y los aceros junto a otras propiedades.

El Capítulo IX Capacidad resistente de la Bielias, Tirantes y Nudos, es un capítulo nuevo en el que se definen las características resistentes de estos elementos. En relación con las



Figura 11. Pasarelas de Montjuïc realizadas con hormigones de alta resistencia [24].

bielias hay pocas novedades, ya que de aunque de una forma no explicita, las propiedades que recoge la EHE ya existían en versiones precedentes. Lo mismo se puede decir en relación con las propiedades de los tirantes. La parte que es realmente nueva es la relativa a los nudos, ya que este tema nunca había sido abordado por la Instrucción.

En cuanto a los Estados Límite Últimos, recogidos en el Capítulo X, EHE no recoge el Estado Límite de Adherencia, aspecto que queda contemplado en la definición de las longitudes de anclaje y solapo, pero incorpora el Estado Límite de Rasante, que responde al tratamiento clásico de este tema en la bibliografía técnica especializada.

En cuanto al Estado Límite de Fatiga debe destacarse, en primer lugar, que es un estado límite que resultaba imprescindible si se tiene en cuenta, como se ha dicho, que EHE tiene como objetivo cubrir el campo más amplio posible de tipologías estructurales. La fatiga es un problema que puede presentarse en algunas estructuras, como por ejemplo los puentes de ferrocarril, y debía tener un tratamiento adecuado en la Instrucción de hormigón.

Por el contrario, el espíritu con el que se ha incorporado este Estado Límite es el de no crear problemas en donde no los hay. Por lo tanto, el texto del articulado correspondiente establece claramente que la fatiga no es un problema en la mayoría de las estructuras de edificación, puentes de carreteras, aparcamientos, etc.

Asimismo se indica que cuando se trata de puentes de ferrocarril y se sigue el criterio clásico de proyecto, es decir, proyectar el puente con pretensado total sin que se produzcan tracciones para la combinación de carga característica, tampoco es necesario proceder directamente a la comprobación del Estado Límite de Fatiga. Sólo en aquellos casos en los que no se cumplan todas estas condiciones es necesario llevar a cabo una comprobación como la que indica EHE.

Para el resto de los Estados Límite se ha puesto al día su contenido, de acuerdo con los nuevos resultados disponibles.

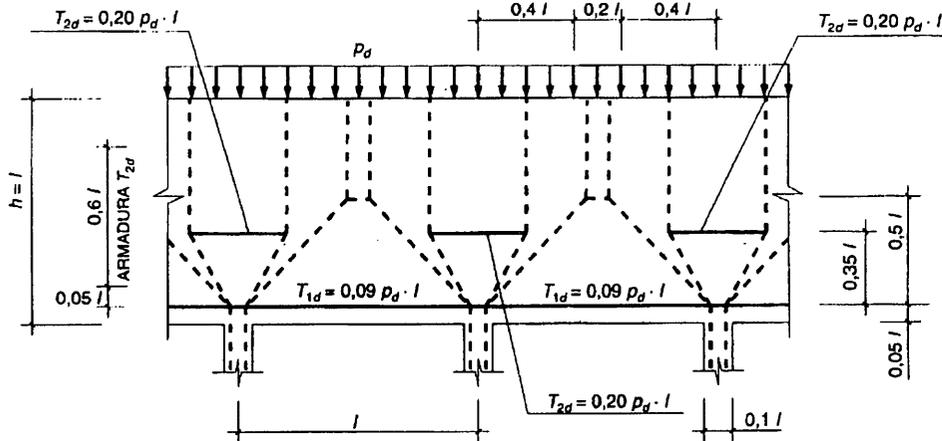


Figura 12. Modelo de Bielas y Tirantes para el análisis de vigas continuas de gran canto.

En cuanto a los Estados Límite de Servicio, tratados en el Capítulo XI, se han mantenido casi sin cambios los artículos dedicados a Fisuración y Deformaciones y se ha agregado uno dedicado a Vibraciones.

El Estado Límite de Vibraciones es un Estado Límite de Servicio ya que no afecta a la seguridad estructural sino al confort. Es un Estado Límite, igual que los otros que trata EHE, pero este particularmente tiene una definición difícil debido a la subjetividad que entraña la definición de parámetros de confort.

Por el contrario, es un Estado Límite que, si bien hasta hace poco parecía reservado a pasarelas peatonales, tipología estructural para la que se dispone de los estudios más detallados sobre este tema, ha cobrado cada vez más importancia en otras tipologías, incluso puede decirse que en prácticamente todas.

La nueva EHE ha definido los criterios que aparecen en otras normas, que aunque no cubren toda la casuística posible de problemas, constituyen una referencia para recordar la necesidad de comprobación de este tipo de fenómenos y para resolver los casos más frecuentes.

Como era tradicional en las Instrucciones precedentes, en la Capítulo XII se tratan los Elementos Estructurales. En este Capítulo se han incluido todos los elementos estructurales que estaban tratados por las Instrucciones precedentes. Es verdad que no son, ni mucho menos, todos los que se pueden encontrar en proyecto pero debe tenerse en cuenta que la principal novedad de esta nueva Instrucción, en este ámbito, es que da un procedimiento general, el Método de las Bielas y Tirantes, que permite el proyecto de cualquier tipo de elemento de hormigón estructural.

Asimismo EHE, y especialmente en este Capítulo, presenta los criterios para el proyecto de regiones D no sólo con unas fórmulas, como era tradicional, sino que se establecen unos modelos que justifican las fórmulas propuestas y que, a la vez,

pueden servir de ejemplo para el estudio de otras regiones D no tratadas en este Capítulo (fig. 12).

### Título 5. Ejecución

En este Título se han agrupado todos los aspectos relativos a la ejecución que existían en las anteriores EH-91 y EP-93.

Se ha hecho, además, un notable esfuerzo de puesta al día de todos los temas tratados desde el punto de vista tecnológico y, especialmente, desde el punto de vista de la durabilidad.

### Título 6. Control

Este Título, en todos los temas relativos a materiales, ha mantenido unos criterios similares a los de las Instrucciones precedentes y, en esta ocasión, el gran cambio se ha producido en el control de ejecución, que como se ha dicho anteriormente constituía la asignatura pendiente del control.

EHE vincula los coeficientes de mayoración de acciones al nivel de control y define éste de una forma cuantitativa. Se establecen tres niveles de control de ejecución. Elegido el nivel de control, debe definirse un plan de control que supone la definición de lotes de control, tal como se hace para los materiales, de acuerdo con los criterios generales que se establecen en la Tabla 4. Para cada lote, dependiendo del tipo de control, se establecen tres inspecciones para el control intenso, dos para el normal y una para el reducido.

Para cada lote debe establecerse un listado de actividades a controlar, lo que no quiere decir que deban controlarse todas en una inspección ni tan siquiera en las inspecciones del lote sino que constituye una guía para el control de la actividad que toque en el momento de cada inspección.

Las exigencias que se plantean para el control de ejecución seguramente permitirán no sólo aprovechar los menores coeficientes de mayoración que se pueden utilizar, con los consiguientes ahorros, sino que permitirá mejorar la calidad general de las obras de hormigón estructural.

### Anejos

Como se ha indicado ya, EHE tiene trece anejos, muchos de los cuales son nuevos y presentan información muy interesante. Aparte de los ya tradicionales en versiones precedentes, quizá convenga comentar algunos, bien por su novedad o por las características de su contenido.

El Anejo 7, *Recomendaciones para la protección adicional contra el fuego de elementos estructurales*, que ya existía en la

**Tabla 4. Criterios para la definición de los lotes de control de ejecución.**

Tipo de obra	Tamaño del lote
Edificios	500 m <sup>2</sup> , sin rebasar las dos plantas
Puentes, Acueductos, Túneles, etc.	500 m <sup>2</sup> de planta, sin rebasar los 50 m
Obras de Grandes Macizos Chimeneas, Torres, Pilas, etc.	250 m <sup>3</sup> 250 m <sup>3</sup> , sin rebasar los 50 m
Piezas prefabricadas:	
- De tipo lineal	500 m de bancada
- De tipo superficial	250 m

EH-91, ha sido redactado nuevamente para recoger los criterios del Eurocódigo 2.1 [26], que se planteaban como criterios de proyecto en la CPI [27], e intentar resolver las tipologías locales no tenidas en cuenta en el Eurocódigo.

El Anejo 8, *Cálculo simplificado de secciones en Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales*, sustituye al Método del Momento Topo. Éste, de gran tradición en la normativa española, ha sido sustituido por otro equivalente que usa las hipótesis generales indicadas en el Artículo 42º, sin necesidad de nuevas definiciones. El Método recogido tiene una similitud formal con muchas de las expresiones utilizadas en el Método del Momento Topo y da resultados similares, generalmente, y más precisos y económicos, para los casos de flexión compuesta. Para quienes estén acostumbrados al uso del Método del Momento Topo, la mejor recomendación es que continúen usándolo ya que mantiene su validez.

El Anejo 9, *Análisis de secciones fisuradas en servicio sometidas a flexión simple*, es nuevo y recoge, para secciones rectangulares y en T, las expresiones de las características mecánicas de la sección fisurada.

El Anejo 10, *Tolerancias*, es también nuevo y define, con carácter de recomendación, las tolerancias más útiles para obras *in situ* o prefabricadas.

El Anejo 11, *Recomendaciones para hormigones de alta resistencia*, es también nuevo y recoge los requisitos adicionales a los definidos en el articulado a tener en cuenta para el uso de hormigones de resistencia característica a 28 días comprendida entre 50 y 100 N/mm<sup>2</sup>.

El Anejo 12, *Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas*, es también nuevo y recoge todos aquellos requisitos para estructuras de hormigón en zonas sísmicas que plantea EHE en el articulado, más los detalles adicionales definidos por la Norma Sismorresistente [27] y la IAP.

Por último, el Anejo 13, *Documento Nacional de Aplicación de la Norma UNE ENV 1992-1-1 Experimental*, es, como ya se ha dicho, el complemento al Eurocódigo de Hormigón para que pueda ser utilizado en España.

#### 4. CONSIDERACIONES FINALES

La nueva EHE ha aprovechado, por un lado, la larga y brillante tradición de la normativa precedente en el campo del hormigón y, por otro, ha introducido importantes cambios que han permitido su actualización, tanto en lo que respecta a su organización general como en lo relativo su contenido y alcance.

EHE trata de forma conjunta el hormigón en masa, armado y pretensado, con armadura pretesa y postesa y, dentro de este último grupo, con armadura adherente y no adherente. Aunque de forma genérica y no explícita, la EHE trata también el pretensado exterior.

#### La nueva EHE se ha redactado con la idea de considerar el más amplio campo de tipologías estructurales posibles.

EHE adopta, como es tradicional en las distintas normas nacionales de materiales y cargas, el Método de los Estados Límite como formato de seguridad. A nivel de definición de contenidos, la EHE sigue el criterio planteado en las normas modernas, según el cual una norma de materiales, como ésta, sólo debe definir los aspectos de la seguridad específicos del material, dejando a las normas de acciones la definición de las cargas y los criterios de combinación.

Aunque con una organización diferente, EHE presenta una continuidad doctrinal con las anteriores Instrucciones. Las actualizaciones introducidas están inspiradas fundamentalmente en el Código Modelo del 90 y los Eurocódigos Estructurales.

La nueva EHE ha desarrollado de forma explícita, ordenada y sistemática el Método de la Bielas y Tirantes (MBT). De esta forma quedan justificadas las expresiones utilizadas en los distintos artículos y se dispone, asimismo, de un método potente y general para resolver muchos aspectos de proyecto que no están definidos en el catálogo de soluciones que ofrece la Instrucción.

La necesidad de construir estructuras más durables, para evitar los grandes costos de reparación que se requieren cuando se producen problemas imputables a esta causa, ha exigido una nueva apuesta por la durabilidad. Desde un punto de vista muy general, la nueva EHE define el problema de la durabilidad como un problema no sólo de materiales, tal como lo hacían las Instrucciones precedentes, sino como un problema que debe tenerse en cuenta en todas las etapas de una obra de hormigón estructural.

La nueva EHE se ha organizado de acuerdo con un índice que cubre todos los temas tratados por las precedentes y que permite la evolución para versiones posteriores. Lamenta-

blemente, no se trata de una mera actualización, como sucedía en las Instrucciones precedentes, que cambiaban unos pocos artículos y que, por lo tanto, sólo requerían un pequeño esfuerzo de digestión; se trata de una versión nueva y más moderna, que requiere una lectura global y un mayor esfuerzo para su aprendizaje.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Torroja, E. The Structures of Eduardo Torroja. An Autobiography of Engineering Accomplishment. F.W. Dodge Corporation. 1958.
- [2] Código Modelo CEB-FIP 1978, para Estructuras de Hormigón. CEB. 1978 (Edición Española).
- [3] IABSE Colloquium on Structural Concrete. Stuttgart. 1991.
- [4] Wicke, M. Performance Requirements for Structural Concrete. IABSE Colloquium on Structural Concrete. Stuttgart 1991.
- [5] Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Losas Postesadas con Tendones no Adherentes H.P.9-96. ATEP. 1996.
- [6] EH-91. Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado. Comisión Permanente del Hormigón. 1991.
- [7] EP-93. Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Pretensado. Comisión Permanente del Hormigón. 1993.
- [8] EA-95. Estructuras de Acero en Edificación. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. 1995.
- [9] NBE FL-90. Muros Resistentes de Fábrica de Ladrillo. 1990.
- [10] RPX-95. Recomendaciones para el Proyecto de Puentes Mixtos para Carreteras. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. 1995.
- [11] RPM-95. Recomendaciones para el Proyecto de Puentes Metálicos para Carreteras. Ministerio de Fomento. 1995.
- [12] NBE AE 88. Acciones en la Edificación. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1988
- [13] IAP 97. Instrucción sobre las Acciones a Considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. Ministerio de Fomento. 1997
- [14] IAPF. Instrucción Relativa a las Acciones a Considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril. Ministerio de Obras Públicas. 1972.
- [15] Código Modelo CEB-FIP 1990 para Hormigón Estructural. CEB. 1990 (Edición Española).
- [16] Eurocódigo 1. Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras. Parte 1. Bases de Proyecto. AENOR.
- [17] Eurocódigo 2. Proyecto de Estructuras de Hormigón. Parte II: Reglas Generales y Reglas para Edificación. AENOR. 1993. (Edición Española).
- [18] Mörsch, E. Teoría y Practica del Hormigón Armado. G.G. Editorial S.A. 1948.
- [19] Leonhardt, F.. Estructuras de Hormigón Armado. Tomo III. Bases para el Armado. El Ateneo. 1985.
- [20] Schlaich, J, Schäfer, K., Jennewein, M.. Toward a Consistent Design of Structural Concrete. PCI Journal, Mayo/Junio, 1987.
- [21] IABSE Workshop. The Design of Structural Concrete. New Delhi. 1993.
- [22] Puente Arco Sobre el Embalse del Burguillo (Ávila). I Congreso de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural, ACHE. Volumen 3. 1999.
- [23] Propuestas para Mejorar la Calidad del Hormigón. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- [24] Pasarela peatonal en Montjuic (Barcelona). Esteyco.
- [25] 1<sup>er</sup> Symposium Nacional de Hormigón de Altas prestaciones. Fundación Agustín de Bethencourt. 1998.
- [26] Eurocódigo 2. Proyecto de Estructuras de Hormigón. Parte 1-2: Reglas Generales Proyecto de Estructuras Frente al Fuego. AENOR.
- [27] CPI-96. Condiciones de Protección Contra Incendios en los Edificios. NBE. Ministerio de Fomento, 1996.
- [28] NCS-94. Norma de Construcción Sismorresistente. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. 1994. ■