



**EN PORTADA**  
*El tablero continuo  
del Viaducto de Baladres*

**REPORTAJES**  
*Aceros revestidos con epoxi*  
Una técnica viable para luchar contra la corrosión

# ARCER

Armaduras para Hormigón

## La Trazabilidad de un proceso garantizado

Garantía

Seguridad

Compromiso

Innovación

I+D+i

Trazabilidad

Prestaciones

En ARCER la **Investigación** e **Innovación Tecnológica** son nuestra razón de ser. Por ello, hemos desarrollado una nueva generación de barras corrugadas para hormigón con unas mayores **Prestaciones**, asumiendo el **Compromiso** de mantener este elevado nivel de **Calidad** y de seguir aportando al usuario final el mejor de los aceros.

Orense 58, 10º C; 28020 MADRID • Tel.: 91 556 76 98; Fax: 91 556 75 89  
www.arcer.es  
e-mail: buzon@arcer.es

AENOR



Producto  
Certificado

# Sumario

Zuncho es una revista técnica especializada en la fabricación, investigación, transformación y uso del acero para estructuras de hormigón, que se edita cuatro veces al año.

A través de la dirección de correo electrónico [zuncho@ferraplus.com](mailto:zuncho@ferraplus.com) puede enviar sus propuestas y comentarios a la redacción de la revista.

#### DIRECTOR DE LA PUBLICACIÓN:

Julio José Vaquero García

#### COORDINADORA EDITORIAL

Raquel Martín-Maestro Arranz

#### ASESORES:

Juan Jesús Álvarez Andrés  
Emilio Caro de la Rosa  
Ignacio Cortés Moreira  
Antonio Garrido Hernández  
Eduardo Gimeno Fungairiño  
Valentín Trijueque y Gutiérrez de los Santos  
Luis Vega Catalán

#### EDICIÓN:

CALIDAD SIDERÚRGICA, S.L.  
C/ Orense 58, 10º C  
28020 Madrid

#### DISEÑO, PRODUCCIÓN Y PUBLICIDAD:

Advertising Label 3, S.L. (ALCUBO)  
Tel.: 91 553 72 20  
Fax: 91 535 38 85

#### IMPRESIÓN:

MEDINACELI PRINTER, S.L.

Depósito legal: M-43355-2004  
ISSN: 1885-6241

*Las opiniones que se exponen en los artículos de esta publicación son de exclusiva responsabilidad de sus autores, no reflejando necesariamente la opinión que pueda tener el editor de esta revista. Queda terminantemente prohibido la reproducción total o parcial de cualquier artículo de esta revista sin indicar su autoría y procedencia.*

## 3 EDITORIAL

## 5 EN PORTADA

- El tablero continuo del Viaducto de Baladres.

## 13 REPORTAJES

- Aceros revestidos con epoxi. Una técnica viable para luchar contra la corrosión.
- Eficiencia energética e incremento de la sostenibilidad. Aplicación a los edificios de hormigón.
- La Ley Omnibus a debate. De la acreditación obligatoria a la declaración responsable.

## 41 SOLUCIONES TÉCNICAS

- Grifado de barras.

## 47 NOTICIAS

- Eduardo Gimeno se incorpora al Consejo Asesor de Zuncho.
- José Uriol Ibarz, Presidente de ANEFHOP.
- Los autónomos de la construcción pueden solicitar desde septiembre la Tarjeta Profesional de la Construcción.
- El Príncipe de Asturias preside el Comité de Honor del 11º Simposio Internacional de Pavimentos de Hormigón.



# Revestimientos 3M para Construcción

## 3M™ Scotchkote™ Soluciones Anti-Graffiti

- Facilita la retirada de los graffiti
- Excelente adhesión a diferentes sustratos
- Mantiene intacto el acabado, color y brillo



## 3M™ Scotchkote™ Sistemas de Pared de Protección frente a Impactos

- Excelente resistencia al impacto
- Protección duradera
- Acabado uniforme, fácil de limpiar
- Fácil aplicación con brocha o rodillo



## 3M™ Scotchkote™ Sistemas Decorativos para Suelos

- Sistemas higiénicos, de fácil limpieza y acabado uniforme
- Adecuados para una intensidad de tráfico media o baja
- Curado rápido, mínima interrupción en la aplicación
- Amplia gama de colores y acabados



## 3M™ Scotchkote™ Sistemas de Protección de Techos

- Excelente membrana de protección frente al agua
- Acabado uniforme
- Para todo tipo de techos, planos e irregulares



## 3M™ Scotchkote™ Sistemas de Protección de Suelos

- Excelente protección al impacto y a la abrasión
- Resistencia química
- Fácil limpieza y mantenimiento
- Protección duraderas en suelos industriales incluso en los ambientes más agresivos.



## 3M™ Scotchkote™ Sistemas para Paredes Higiénicas

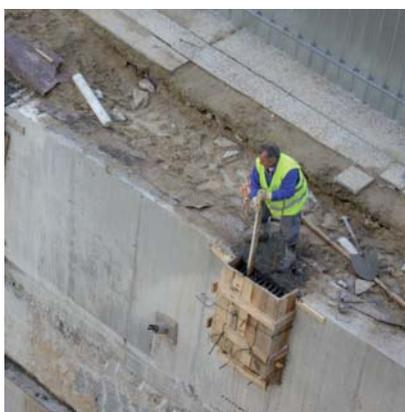
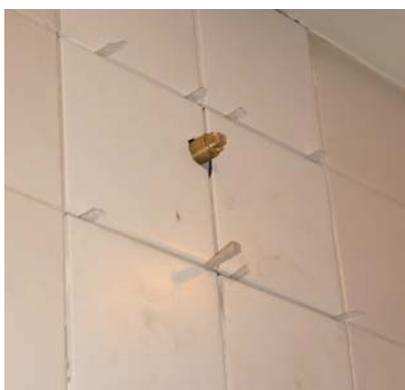
- Resistencia al impacto y a los graffiti
- Productos base agua sin olores
- Acabado uniforme
- Colores estables

## Dpto. Productos para Corrosión

3M España, S. A.  
Juan Ignacio Luca de Tena, 19-25  
28027 Madrid  
Teléfono: +34 91 321 64 30  
jsaez1@mmm.com



# Editorial



Las novedades introducidas por la Ley Omnibus han suscitado un importante debate en el sector de la construcción. Más allá de la controversia generada en torno a si se eliminaban o no los visados de los colegios profesionales, la Ley ha repercutido en un sector, no siempre atendido por los medios de comunicación, que desempeña una labor clave en el proceso constructivo: los laboratorios y las entidades de control de calidad.

Las modificaciones introducidas por esta Ley, recogidas en el Real Decreto 410/2010, apuntan hacia la mejora de la competitividad del sector al derribar algunas barreras administrativas que hacen realidad un verdadero mercado nacional del control de calidad. Desde que entrara en vigor este Real Decreto, el pasado 23 de abril, a través de una simple declaración responsable presentada ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que esté ubicado el laboratorio o la entidad de control, se puede prestar servicio en todo el territorio español. Se reducen con ello las cargas administrativas y se simplifican los procedimientos, al mismo tiempo que se reducen los costes.

¿Cuál es la sensación que perciben en estos momentos los laboratorios y entidades de control? Este número incluye una mesa de debate organizada al efecto, de la

que se extraen unas interesantes conclusiones. Una nueva forma de abordar temas de interés y que dada la buena experiencia repetiremos en alguna otra ocasión.

Otra de las novedades introducidas en la revista es una nueva sección a la que hemos bautizado con el nombre de "Soluciones Técnicas". En ella queremos abordar los problemas y carencias que día a día se detectan en la actividad profesional de la construcción, y más concretamente de las estructuras de hormigón, aportando ideas y soluciones para ellos.

Es una sección abierta a todos nuestros lectores que pueden sugerirnos temas e incluso participar activamente con artículos concretos, en los que las imágenes valen más que mil palabras. En ella tienen cabida el proyecto, la ejecución, el control, la seguridad, la conservación, la rehabilitación o la formación, entre otros.

Y como muestra de lo que pensamos que puede aparecer en esta sección incluimos en este editorial algunas fotografías que pueden resultar de revulsivo para todos nosotros. Desde unos azulejos que parecen estar sujetos con alfileres, el picado del hormigón con tablón, hasta la más flagrante ausencia de seguridad en la disposición de puntales o de asunción de riesgos innecesarios en obra.



**CALTER** Ingeniería

# A LA VANGUARDIA DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

En Obra Civil y Edificación

[www.calter.es](http://www.calter.es)

Parque Eólico en Finlandia

Calter Ingeniería S.L., Valenzuela 8, 2º izqda. Madrid, 28014. Telf: 91 319 12 00 Fax: 91 319 12 00 E-mail: [calter@calter.es](mailto:calter@calter.es)

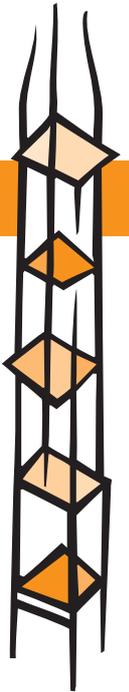


**SOFISTIK**  
COMPETENCE CENTER

CERTIFICADA EN EL DISEÑO Y CÁLCULO  
DE PROYECTOS DE ESTRUCTURAS DE  
OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN



# EL TABLERO CONTINUO DEL VIADUCTO DE BALADRES



Antonio Romero Ballesteros - CALTER Ingeniería.

*Este artículo describe el proceso de diseño y el resultado final del cálculo del tablero del viaducto de Baladres de la Línea de Alta Velocidad Madrid - Levante, en el tramo sobre la Autovía N-330 Madrid - Alicante. Un tablero formado por vigas prefabricadas en el que ha habido que efectuar un refinado cálculo sísmico.*

**E**l Viaducto sobre el Barranco Baladres y sobre la autovía Madrid – Alicante, es un viaducto de 682 m de longitud perteneciente al tramo Monóvar-Novelda de la línea ferroviaria de alta velocidad Madrid - Levante.

Los primeros 15 vanos de este viaducto se resuelven mediante una solución de vanos isostáticos de 36 m de

luz entre pilas y 2,60 m de canto de viga cuyo cálculo fue realizado por la empresa Tierra Armada.

En los últimos 3 vanos es preciso efectuar el cruce sobre la autovía N-330 Madrid – Alicante, lo que plantea la necesidad de disponer un vano de 62 m de luz sobre la misma. La solución propuesta fue un viaducto continuo, separado del tramo isostático por medio de una junta de dilatación, formado por 3 vanos de 40, 62 y 40 m de



Figura 1.- Vista general del Viaducto de Baladres a su paso sobre la N-330.



## EN PORTADA

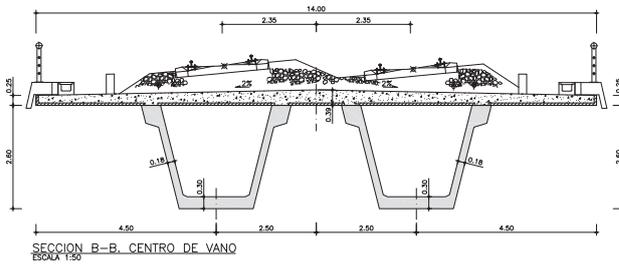


Figura 2.- Sección transversal del tablero en centro de vano.

luz, respectivamente, que mantienen el canto de viga de 2,60 m en su conexión con el resto de vanos y en el centro del vano central, pero que al llegar a las pilas varía en forma de cartabón hasta alcanzar sobre éstas un valor de 4,60 m (Figura 1).

La luz central de 62 m constituye una de las mayores luces utilizadas en puentes prefabricados continuos para alta velocidad.

Este tramo continuo se dividió en 5 partes que generaron un total de 10 vigas: 4 vigas laterales de 29 m y canto constante de 2,60 m, 2 vigas centrales del mismo canto y 40 m de longitud, y 4 vigas cartabón de canto variable entre 2,60 y 4,60 m de 22 m de longitud.

El cálculo del tablero del puente y su proceso de montaje por fases constructivas fue realizado por CALTER Ingeniería.

El tablero, de 14 metros de anchura, se ha resuelto con una solución hiperestática de 2 vigas artesas pre y postesadas de hormigón HP-50 y canto variable entre 2,60 m mínimo y 4,60 máximo, con una separación de 5 m entre ejes de vigas, y una losa superior de hormigón *in situ* HP-35 postesada en la zona de pilas de canto variable entre 0,25 y 0,39 m. Para garantizar un comportamiento adecuado frente a sismo en cada apoyo las vigas están unidas mediante una riostra transversal hormigonada *in situ*.

Para mejorar la transmisión de cargas verticales cada viga está dispuesta, aproximadamente, bajo una vía de circulación. La relación canto/luz para la luz principal es aproximadamente de 1/13. (Figura 2).

Las vigas son prefabricadas y se conectan entre sí según avanza el proceso constructivo para asegurar el funcionamiento como puente continuo. La conexión se realiza



Figura 3.- Detalle de la armadura activa y pasiva en la viga del vano central (Viga 3).

mediante el propio postesado de las vigas y mediante barras pretensadas en las juntas de las distintas fases. En este punto es donde toman importancia el orden y la magnitud de las distintas fases de postesado en las vigas, siendo crítico para el óptimo encaje de la estructura.

Al encontrarse el viaducto en zona sísmica se disponen topes transversales en todos los apoyos y un único punto fijo longitudinal en el estribo. La aplicación del método de bielas y tirantes para el dimensionamiento de las riostras transversales en la zona de los apoyos fue de especial relevancia en el proyecto.

**PRETENSADOS Y DISPOSICIÓN FINAL**

Para la constitución de estos vanos se han utilizado tres tipos de vigas:

- Viga de vano extremo (1) de 29 m de longitud.
- Viga de canto variable en la zona de la pila (2) de 22 m de longitud.
- Viga de vano central (3) de 40 m de longitud.

El ala inferior de la sección artesa tiene 30 cm de canto que se incrementa hasta 60 cm en la zona de las pilas; las almas son de 18 cm de espesor, alcanzando los 24 cm en la zona de las pilas e incrementándose hasta los 54 cm en la junta para permitir la ubicación del postesado de conexión.

Una vez elegida la tipología se planteó la cuestión de elegir entre distintas posibilidades de combinar postesado

de vigas con postesado interior y/o exterior y también postesado de la losa superior *in situ*.

Al final se adoptó la solución clásica de pretensar inferiormente las vigas del puente, salvo la viga de canto variable en la zona de la pila, para posteriormente realizar un postesado interior en la parte inferior de las vigas 1 y 3 y postesar la losa superior *in situ* correspondiente a la viga 2.

Se desechó la opción de postesado exterior por su menor contribución a Estados Límite Últimos, su peor conservación y porque realiza una peor conexión de juntas que el postesado interior.

El resumen de postesado por viga es, por tanto, el siguiente:

- Viga 1: Pretensado inferior 64Ø 0.6”  
Postesado inferior 2x12Ø 0.6”
- Viga 2: Postesado centrado 4x9Ø 0.6”  
Postesado losa superior 29x7Ø 0.6”
- Viga 3: Pretensado inferior 90Ø 0.6”  
Postesado inferior 4x19Ø 0.6”

Dados los esfuerzos, se optó por afinar el dimensionamiento en la zona pésima de pila y dejar un mayor coeficiente de seguridad en el centro del vano principal para tener en cuenta posibles redistribuciones.

Los extremos de las vigas se ejecutaron con un sobrecanto de alma suficiente, que variaba entre 48 cm ó 54 cm dependiendo de la zona, para poder ejecutar el postesado de conexión mediante barras (Figura 4) y se dejaron dentados para favorecer su unión que se realizó con mortero de alta resistencia y baja retracción.

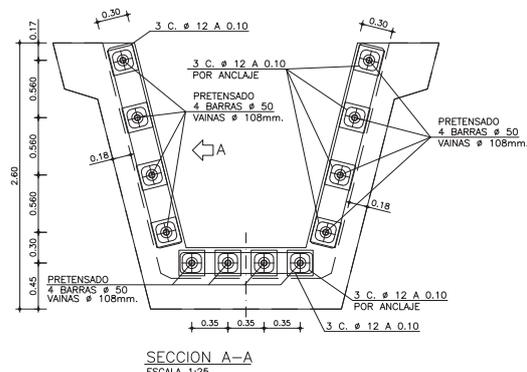
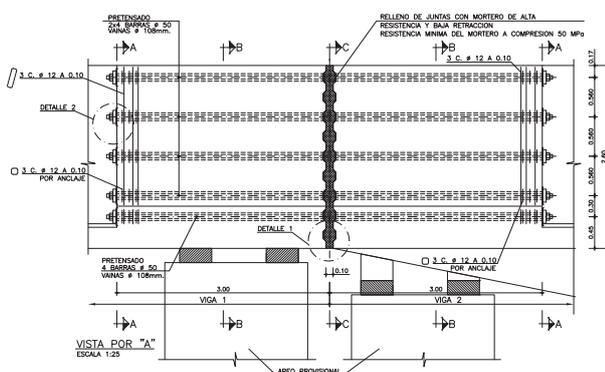
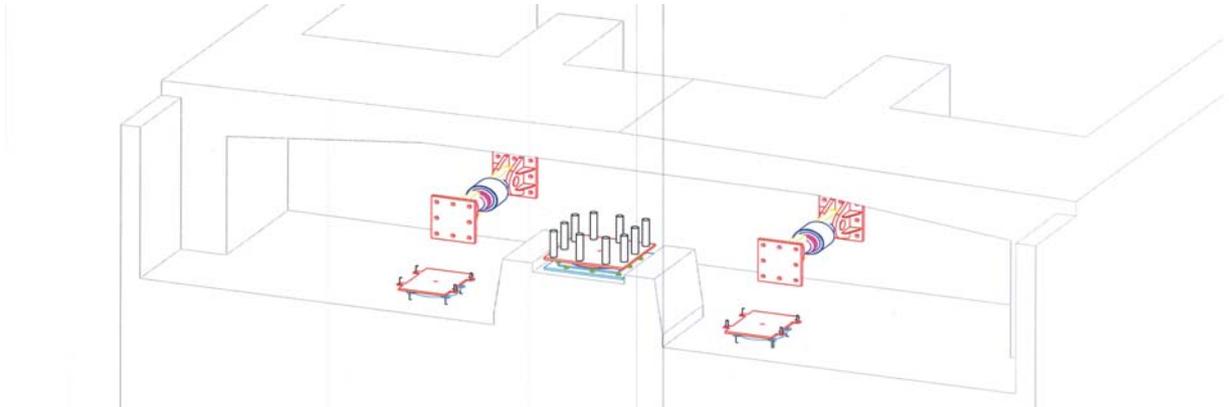


Figura 4.- Detalle de junta entre vigas.



## EN PORTADA



⇒ **Figura 5.** Esquema de distribución de apoyos en el estribo con fusible en el centro.

### DISEÑO SÍSMICO

El diseño sísmico tradicional consiste básicamente en seleccionar los parámetros de la estructura, especialmente rigidez y capacidad de disipación de energía, necesarios para que la construcción sea capaz de resistir eficazmente la excitación sísmica esperada. Ya que las cargas sísmicas son altamente aleatorias e impredecibles —y hoy día se piensa que las estructuras deberían ser diseñadas para terremotos más severos que los considerados habitualmente hasta ahora— no es factible proyectar estructuras que no sufran ningún daño (lo que equivale aproximadamente a que permanezcan en su rango lineal elástico) para el movimiento sísmico más intenso que puede ser esperado con un nivel razonable de probabilidad durante su vida útil.

Por tanto, la energía de excitación debe ser disipada mediante un comportamiento no lineal plástico, ya que el comportamiento

"normal" no es suficiente en excitaciones violentas. Esto conlleva la aparición de deformaciones permanentes, generándose habitualmente daños en las estructuras y en los elementos no estructurales, especialmente en estructuras de baja ductilidad.

Hoy en día está generalmente admitido que estos efectos son inevitables pero pueden ser minimizados concentrando las demandas de ductilidad en puntos cuyo fallo no produzca el colapso de la estructura.

Para superar las limitaciones del diseño sísmico tradicional surgen de forma natural dos soluciones:

- Ya que para terremotos de alto poder destructivo no es posible evitar cierto nivel de daño, es conve-



⇒ **Figura 6.** Disposición de amortiguadores en estribo.

niente concentrarlo en elementos que puedan ser fácilmente reemplazados.

- El efecto del movimiento sísmico puede ser desviado de la estructura para que excite principalmente a otros elementos, de forma que estas vibraciones no la dañen y puedan ser amortiguadas de forma natural.

En el primer caso la energía de excitación se absorbe y se disipa en dispositivos ajenos a la estructura (disipadores de energía) y, por tanto, con un diseño apropiado no causa daños en la estructura ni en los elementos no estructurales. En el segundo caso la energía se difracta y produce vibraciones que no afectan sustancialmente a la estructura. En ambos casos la ductilidad es proporcionada por mecanismos que no forman parte de la estructura convencional, reduciéndose de esta forma la demanda de ductilidad sobre ésta.

Hay que tener en cuenta que al tratarse de un puente de ferrocarril de alta velocidad está sometido a unas

fuerzas longitudinales importantes (frenado, etc.) que obligan a la estructura a disponer de un punto fijo que las resista, y esto debe ser compatible con un diseño sísmico adecuado según lo señalado anteriormente. Para este viaducto se han utilizado los siguientes sistemas de control del sismo longitudinal:

- Se ha dispuesto un punto fijo, o fusible, en el estribo consistente en una unión tablero-estribo mediante 9 pernos de alta resistencia  $\varnothing 96$  con una resistencia horizontal de 8.200 kN (Figura 5). Este mecanismo proporciona el punto fijo a la estructura en condiciones normales sin sismo e incluso sería capaz de resistir sismos pequeños.
- Cuando el sismo es el de proyecto o superior, el fusible no aguanta la fuerza sísmica y se rompe. Es en ese momento cuando actúa un sistema de dos amortiguadores viscosos (Figura 6) instalados en el estribo capaces de absorber una cantidad importante de energía (3.000 kN cada uno) y, por tanto, derivar a la subestructura, al estribo en este caso, una fuerza sísmica mucho menor de la que habría si no se hubieran dispuesto. Una vez pasado el sismo, se reemplazaría el fusible y el viaducto quedaría de nuevo listo para su uso.

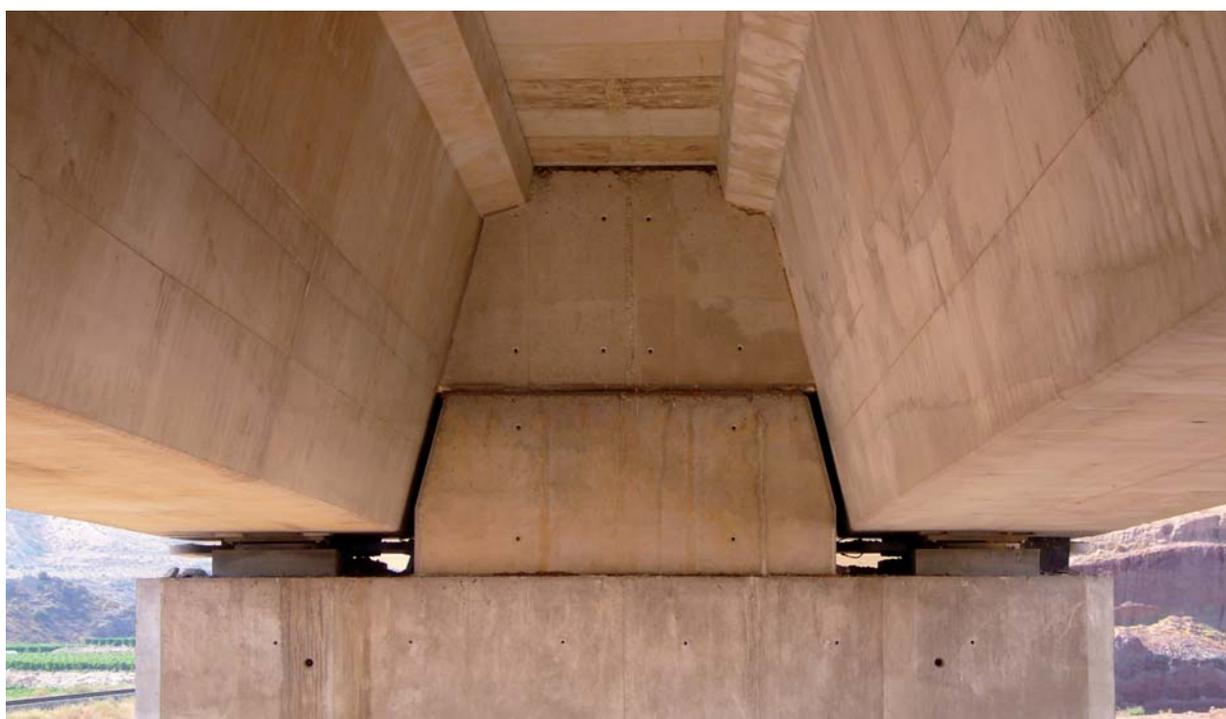


Figura 7.- Tope transversal en apoyos.



## EN PORTADA

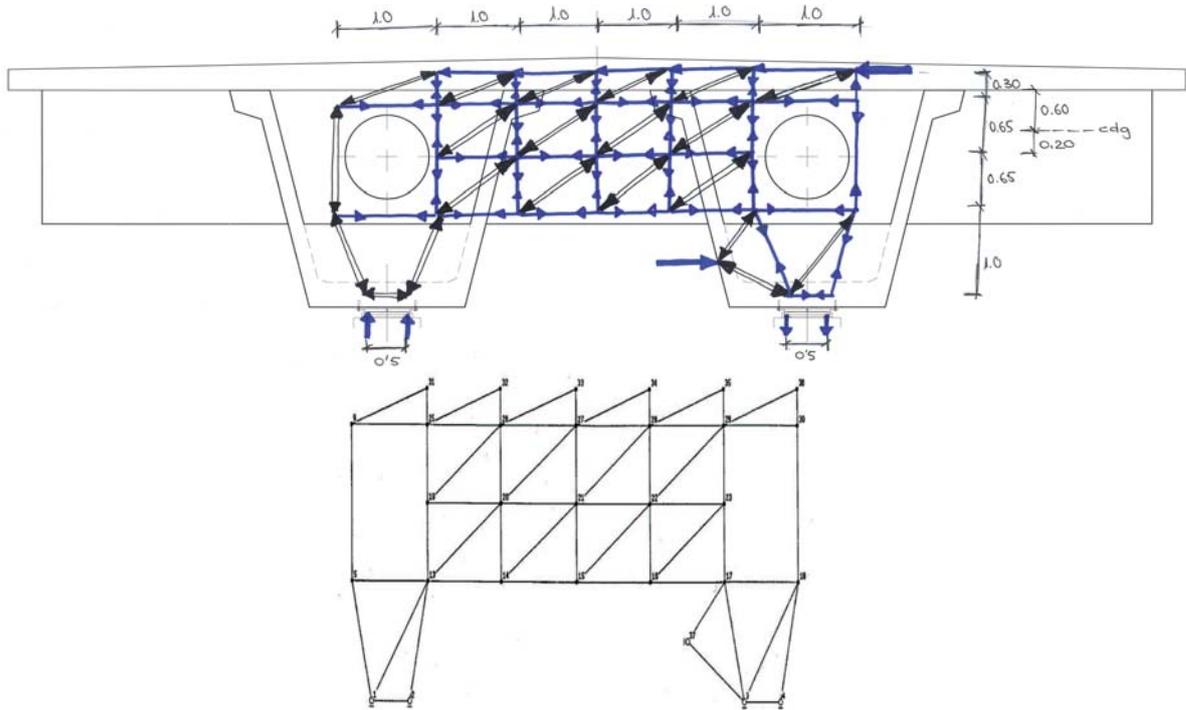


Figura 8.- Modelo de bielas y tirantes de la riostra de estribo. Esquema y cálculo.

Para el sismo transversal se ha optado por un diseño tradicional en el que de las pilas y estribo surge un tetón de hormigón que hace de tope transversal unido a las vigas del tablero mediante apoyos tipo pot deslizantes en sentido longitudinal (Figura 7). La fuerza sísmica transversal que reciben las pilas centrales es de 13.150 kN y de 6.050 kN en el estribo.

El diseño sísmico y el cálculo de la subestructura fueron realizados por la empresa Siegrist y Moreno.

### CÁLCULO DE RIOSTRAS TRANSVERSALES. MÉTODO DE BIELAS Y TIRANTES.

Uno de los aspectos fundamentales del proyecto fue el dimensionamiento de las riostras transversales en apoyos, debido sobre todo a la magnitud del sismo transversal a transmitir del tablero a la subestructura, 6.050 kN en el estribo y 13.150 kN en las pilas centrales.

Para ello se realizó un modelo de bielas y tirantes coherente con la transmisión de cargas, de donde se obtuvo el armado necesario teniendo en cuenta, además, que la riostra se hormigonaba *in situ* contra las vigas (Figura 8).

### PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo utilizado se optimizó para que durante el mismo se produjeran las menores tracciones posibles en las vigas. De forma resumida las fases seguidas fueron las siguientes:

- Fase 1 (Figura 9):  
Montaje de las vigas cartabón de canto variable (vigas tipo 2) sobre apeos provisionales.  
Ejecución *in situ* de la riostra entre vigas.



Figura 9.- Proceso constructivo del puente. Fase 1.



Figura 10.- Proceso constructivo del puente. Fase 2.

- **Fase 2** (Figura 10):  
Montaje de las vigas extremas (vigas tipo 1) sobre subestructura y apeos provisionales.  
Disposición del punto fijo y de los amortiguadores en el estribo.  
Ejecución *in situ* de la riostra entre vigas.  
Conexión entre las vigas extremas (1) y las vigas de canto variable (2).  
Colocación de prelasas y hormigonado de la losa superior sobre las vigas anteriores (1) y (2).
- **Fase 3:**  
Montaje de las vigas del vano central (vigas tipo 3) apoyadas en los extremos de las vigas de canto variable (2).  
Conexión entre vigas (2) y (3) dando continuidad a todo el viaducto.  
Ejecución del postesado inferior en vigas (2).
- **Fase 4:**  
Postesado de la losa superior en zona sobre pilas.  
Colocación de prelasas y hormigonado de la losa superior sobre las vigas del vano central (3).
- **Fase 5:**  
Ejecución del postesado inferior en vigas (3).  
Ejecución del postesado inferior en vigas (1).
- **Fase 6:**  
Colocación del balasto, vías, aceras y acabados.

### CONCLUSIONES

Desde el punto de vista del cálculo, el reto más importante ha sido ordenar las distintas fases del hormigonado y el postesado para conseguir el mejor estado tensional para el tablero en fase constructiva, ya que cada postesado influía en su correspondiente tramo a corto plazo, pero también lo hacía en el resto de tramos a largo plazo. Así, se ha conseguido tener el tablero básicamente comprimido durante su montaje o con pequeñas tracciones asumibles.

En la ejecución el punto crítico fue el hormigonado *in situ* de las riostras transversales uniendo las vigas.



## EN PORTADA



⇒ **Figura 11.-** Proceso constructivo del puente. Puente a falta de acabados.

### EL TABLERO CONTINUO DEL VIADUCTO DE BALADRES

**Propiedad:** ADIF

**Empresa constructora:** ACCIONA

**Prefabricado en obra:** TIERRA ARMADA

**Cálculo tramo isostático:** TIERRA ARMADA

**Cálculo del tablero continuo y proceso de montaje:** CALTER Ingeniería

**Diseño sísmico y cálculo de subestructura:** SIEGRIST y MORENO

#### **Cuantías principales del tablero:**

Hormigón: 0,66 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

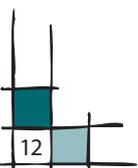
Armadura activa: 27 kg/m<sup>2</sup>

Armadura pasiva: 130 kg/m<sup>2</sup>

#### **Agradecimientos por su colaboración a:**

D. Miguel Peláez (TIERRA ARMADA)

D. Guillermo Siegrist (SIEGRIST y MORENO)



# ACEROS REVESTIDOS CON EPOXI

## UNA TÉCNICA VIABLE PARA LUCHAR CONTRA LA CORROSIÓN

Departamento de Corrosión – 3M España  
Julio Vaquero - IPAC

*El revestimiento con epoxi de las armaduras pasivas como forma de protección del acero frente a la corrosión es una técnica que se utiliza en Estados Unidos desde los años 70 y que se ha ido extendiendo a otras zonas del mundo. En este artículo se describen las actividades efectuadas en España para profundizar en su conocimiento y poder poner a disposición del mercado una técnica sencilla, eficaz y contrastada en numerosas realizaciones.*

**E**n el año 2006 el Departamento de Corrosión de 3M España entró en contacto con el Instituto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC) para conocer de primera mano el interés que podría tener en España una técnica extensamente utilizada en Estados Unidos para la protección de las armaduras contra la corrosión, consistente en el revestimiento de éstas con una resina epoxi, y las razones por las que esta técnica no había llegado a tener una mayor implantación en Europa.

Fruto de aquellas conversaciones iniciales comenzó una colaboración técnica entre 3M España e IPAC para la puesta en marcha de los estudios y pruebas necesarios para establecer las bases sobre las que asentar esta técnica “desconocida” en la práctica constructiva española y europea.

Los estudios efectuados fueron objeto de un convenio de investigación suscrito entre 3M España y la Fundación Agustín de Betancourt, de la Universidad Politécnica de Madrid, cuyas principales conclusiones se describen en este artículo.

### ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A finales de los años 60 se detectó un importante problema de corrosión prematura de las armaduras en los tableros de puentes en Norte América, como consecuencia del empleo de sales fundentes, lo que motivó la puesta en marcha de un estudio específico sobre los mecanismos de protección más eficaces por parte de la FHWA (US Federal Highway Administration) y el NBS (National Bureau of Standards). En aquel estudio se planteó el empleo de aceros inoxidable, revestimientos metálicos y no metálicos así como el uso de determinado tipo de aditivos en el hormigón, analizándose los costes, la ejecución y las prestaciones de las distintas soluciones llegándose a la conclusión de que el procedimiento más eficaz y con un coste más razonable era el recubrimiento de las armaduras de acero con resinas epoxi [1, 2, 3].

Las armaduras revestidas con epoxi (ECRs – Epoxi Coated Rebars) comenzaron a emplearse en los años 70 en Estados Unidos y Canadá con la finalidad de proporcionar una barrera física entre el acero y los cloruros que pudieran provocar su corrosión, convirtiéndose en una estrategia básica de protección frente a este fenómeno en muchas administraciones de carreteras americanas.

La primera referencia sobre el empleo de ECRs se remonta al año 1973 en un puente sobre el río Schuylkill en las proximidades de



## REPORTAJES

Filadelfia. Durante más de una década esta técnica fue considerada como un procedimiento eficaz para prevenir la corrosión por cloruros en puentes y otro tipo de estructuras, hasta que en el año 1986 se detectaron fenómenos de corrosión en la subestructura de diversos puentes en los Cayos de Florida. La corrosión se producía en las pilas de los puentes en la zona de carrera de marea y de salpicaduras tras un periodo de tan sólo 4 a 6 años de puesta en servicio, lo que condujo finalmente a la Administración de Carreteras de Florida a prohibir el uso de ECRs en puentes, algo que no ha sucedido en las otras 48 Administraciones de Carreteras de los Estados Unidos en las que se utiliza esta solución.

En los fenómenos acaecidos en Florida confluyen numerosas circunstancias como la elevada salinidad de la zona, las altas temperaturas, la existencia de escaso espesor de recubrimiento por la inadecuada colocación de las armaduras (en algunas zonas inferior a 25 mm), elevados contenidos de cloruros en el hormigón en el momento de la fabricación con porcentajes comprendidos entre 0,3 % y 0,7 % del peso de cemento, o la construcción por etapas que dejaba zonas expuestas al ambiente marino durante largos periodos de tiempo y que finalmente han conducido a la



⇒ **Figura 1.- Empleo de ECRs en losas.**

delaminación del revestimiento por pérdida de adherencia con el acero y al progreso de la corrosión en las armaduras.

Posteriormente a este suceso fueron apareciendo algún que otro caso aislado a partir de 1990, lo que motivó la realización de seguimientos del comportamiento de las estructuras con ECRs pudiendo concluir que el balance final de su empleo era positivo [4].

No obstante, la FHWA comenzó en mayo de 1993 un proyecto de investigación de 5 años de duración con el objeto de desarrollar procedimientos efectivos para la protección de las armaduras contra la corrosión, que permitiesen garantizar vidas de servicio comprendidas entre 75 y 100 años. Los nuevos materiales o sistemas debían ser capaces de minimizar los daños sobre la protección del acero durante las diversas fases de aplicación, transformación mediante corte y doblado, transporte y colocación en obra.

Por lo tanto, las aleaciones debían ser más resistentes y los recubrimientos debían tener mejores propiedades físicas y químicas para permanecer inalterados tras la exposición a largo plazo a radiaciones ultravioletas, altas temperaturas, atmósferas salinas y otras condiciones climáticas que pudieran producirse durante su acopio y almacenamiento antes de colocarse en el hormigón.

En el proyecto se incluyeron 52 procedimientos alternativos entre los que había tratamientos orgánicos, inorgánicos, cerámicos, recubrimientos metálicos y determinadas aleaciones incorporadas al acero (cromo, níquel, cobre, etc.), así como recubrimientos con resinas epoxi de distintas formulaciones y fabricantes. Todos ellos fueron ensayados [5, 6, 7] y de entre ellos se seleccionaron 12 procedimientos que fueron sometidos a un ensayo de corrosión denominado "Southern Exposure" (SE) en el que las barras tratadas se embeben en unas losas de hormigón, para reproducir su situación en los tableros de puentes, y se someten durante 96 semanas

a ciclos de humedad sequedad con una solución que contiene un 15 % de NaCl. Durante el ensayo se miden las corrientes de corrosión y finalmente se destruyen para ver el nivel de daños alcanzado [8].

En total se fabricaron 150 losas de ensayo, de las que 31 se conservaron a la intemperie durante otros 4 años (de septiembre de 1998 a diciembre de 2002), reproduciendo así unas condiciones naturales de corrosión. Las barras objeto de estudio en esta segunda fase fueron de acero inoxidable y recubiertas con epoxi. En este segundo caso con distintos sistemas y productos de recubrimiento sobre los que se realizaron distintos niveles de daño con el fin de representar posibles defectos en la ejecución. Asimismo, se dispusieron dos capas de armado entre las que se medía la densidad de corriente de macrocelda (un parámetro que se mostró muy eficaz para deducir el nivel de corrosión producido), empleándose tanto acero revestido como sin revestir.

La conclusión final de este estudio [9] fue que el empleo de ECRs en la capa superior de armado de las losas de puente puede reducir la susceptibilidad a la corrosión al menos en un 50 % con relación al empleo de acero sin revestir, incluso cuando las condiciones del recubrimiento son deficientes por la existencia de daños localizados. La situación cambia considerablemente si en ambas capas de armado se emplean ECRs al incrementarse la resistencia a la corrosión a valores similares a los proporcionados por aceros inoxidables.

Estas conclusiones se confirman con diversos estudios [10] realizados sobre puentes con 30 años de servicio en los que las armaduras revestidas se han comportado satisfactoriamente a pesar de tener elevadas concentraciones de cloruros, habiéndose analizado casos de tableros en los que las ECRs se emplearon sólo en la capa de armado superior y otros en los que se utilizaron tanto en la armadura superior como inferior de la losa.



Figura 2.- Barras de acero B 500 SD revestido utilizadas en el estudio.

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

A la vista de los antecedentes históricos anteriormente descritos, con una amplia experiencia en Estados Unidos —país en el que se han construido más de 54.000 puentes con esta solución y en el que existen 30 empresas dedicadas al revestimiento de barras con resinas epoxi— que, en principio, puede calificarse como positiva a pesar de la existencia de problemas puntuales, se consideró razonable considerar esta técnica como una medida de protección alternativa para los aceros empleados en la elaboración de armaduras pasivas.

En este sentido, se establecieron una serie de pasos a realizar para conseguir que esta técnica fuese en realidad una alternativa viable en España.

Uno de los primeros pasos consistió en la definición de un estudio experimental que permitiera establecer el comportamiento de los revestimientos epoxi con aceros para armaduras pasivas utilizados en España. Para ello, se mantuvieron varias reuniones entre representantes de 3M, miembros del Departamento de Ingeniería Civil-Construcción de la Universidad Politécnica de Madrid e IPAC, que dio lugar a la firma de un Convenio de investigación entre los dos primeros cuyo objetivo principal era el establecimiento de la eficacia de la protección de las barras de acero corrugado mediante el recubrimiento con la resina epoxi Scotchkote® de 3M frente a la corrosión en el hormigón armado.

***"Las barras recubiertas con epoxi se han empleado en más de 50.000 puentes en los últimos 30 años en Estados Unidos y Canadá"***



## REPORTAJES

El estudio [11, 12] se organizó en las siguientes fases:

1. Ensayos de caracterización del acero, antes y después del recubrimiento.
2. Ensayos comparativos de corrosión acelerada.
3. Ensayos comparativos de adherencia.

Los ensayos se efectuaron sobre barras de acero fabricadas en España de 8 mm, 16 mm y 25 mm de diámetro y 12 m de longitud, que se enviaron a Estados Unidos para su revestimiento con el producto Scotchkote® en una instalación certificada por el CRSI (*Concrete Reinforcing Steel Institute*). El proceso seguido fue el ordinario para este tipo de aceros procediéndose después al corte de las barras en distintos formatos para su posterior ensayo en España.

### EL REVESTIMIENTO

El comportamiento de las ERCs depende de la naturaleza del producto utilizado y de la calidad del recubrimiento que se realice sobre el acero. Son fundamentales una serie de aspectos como por ejemplo:

- El espesor del recubrimiento, que si es excesivamente pequeño proporciona una menor protección frente a la corrosión y si es anormalmente elevado perjudica las condiciones de adherencia con el hormigón favoreciendo el "deslizamiento" de las barras bajo tensión, efecto tanto más acusado cuanto menor es el diámetro de la barra y menor, por tanto, la altura de corruga. El espesor óptimo está comprendido entre las 200 y 250 micras.
- La adherencia del recubrimiento al acero para formar una piel que acompañe a éste en todos sus movimientos y que impida



Figura 3.- Aplicación de revestimiento epoxi sobre una malla electrosoldada.

da la formación de productos de oxidación entre ambos que favorezcan su despegue y deterioro.

- La continuidad del revestimiento que ha de formar una película uniforme y cerrada sin poros ni defectos, que ha de tener la flexibilidad suficiente para adaptarse al doblado y la resistencia adecuada para no resultar dañada durante el manejo en obra (abrasión e impacto fundamentalmente).
- Resistencia química al ambiente agresivo en el que va a estar inmerso el recubrimiento, caracterizado por una elevada alcalinidad inicial y la posterior presencia de humedad y cloruros.

La aplicación de la resina epoxi sobre el acero se puede realizar por diversos procedimientos:

**a) Aplicación por vía húmeda** en la que la resina se encuentra en estado líquido y se pinta con ella el acero o bien se sumerge éste en un baño preparado al efecto. Al evaporarse los solventes presentes en el epoxi en forma líquida la resina comienza a endurecer, si bien durante este proceso se produce un cierto "escurrimiento" como consecuencia del cual el espesor de recubrimiento no es uniforme, siendo más fino en la parte superior de la barra y más grueso en la zona inferior de ésta.

**b) Aplicación en forma de lecho de polvo.** En este caso las barras se calientan y se hacen pasar a través de un lecho en el que la resina se encuentra en forma de polvo que se funde en contacto con el acero caliente. Para mejorar la uniformidad de este sistema se puede hacer circular una corriente de aire en el interior del lecho que hace que el polvo se comporte como si se tratase de un fluido, o bien cargar electrostáticamente el lecho de polvo para que las partículas sean atraídas hacia el acero cuando éste pasa sobre ellas.

**c) Pulverización electrostática de la resina en forma de polvo sobre el acero.** Se trata del procedimiento

más evolucionado y el que se ha mostrado más eficaz hasta el momento, y es el que se ha empleado en el estudio que se describe en este artículo.

Este procedimiento se conoce como FBE (Fusion Bonded Epoxi) [13] y consiste en la pulverización de la resina epoxi en forma de polvo sobre las barras de acero corrugado previamente preparadas. Para que la adherencia sea la máxima posible la superficie de las barras debe estar completamente limpia, para lo cual se utiliza un chorro de arena o de granalla metálica para eliminar suciedades, óxidos y cascarillas no adherentes, proporcionando además una microrrugosidad en la superficie de la barra que incrementa la adherencia con el revestimiento. Para que la película sea uniforme y continua las partículas de polvo de resina se cargan electrostáticamente y son atraídas por el acero depositándose sobre su superficie donde se funden al entrar en contacto con la barra que previamente ha sido calentada a una temperatura próxima a 230 °C. Tras la fusión se produce un proceso irreversible de catalización en el que el polvo se transforma en un gel que solidifica y endurece a velocidad controlada gracias a la ayuda de un sistema de refrigeración por aire o por agua.

El proceso es muy sencillo pero las exigencias que se le piden al recubrimiento son bastante rigurosas lo que hace que no todas las resinas existentes en el mercado puedan satisfacer todos estos requisitos, producto de la experiencia adquirida con el tiempo, fundamentales para conseguir el propósito que se persigue: una adecuada protección del acero frente a la corrosión.

Las exigencias del producto, su forma de aplicación, los controles a efectuar sobre los revestimientos resultantes o la forma de actuar en obra cuando hay que manipular los aceros así tratados están adecuadamente cubiertos por la normativa americana y más concretamente por las normas ASTM A 775 [14] para los recubrimientos de barras corrugadas, ASTM A 934

## "El recubrimiento no afecta a las características del acero y mantiene prácticamente las mismas condiciones de adherencia iniciales"

[15] para los recubrimientos de armaduras elaboradas y ASTM D 3963 [16] para el ferrallado y montaje en obra.

### ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL ACERO

Los ensayos de caracterización efectuados en la investigación sobre las barras corrugadas tenían como objetivo:

- Comprobar que el tratamiento térmico al que se somete el acero no altera sus propiedades mecánicas, en especial sus condiciones de ductilidad, pues el acero utilizado era del tipo SD.
- Medir la geometría final del corrugado y comprobar si se seguía cumpliendo el certificado de homologación de adherencia.
- Determinar el espesor del recubrimiento efectuado.
- Comprobar la trabajabilidad del material resultante mediante un ensayo de doblado a 180°.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que las características mecánicas del acero no habían experimentado variación alguna. En relación a la geometría del corrugado se mantenían los valores de inclinación y separación de corrugas, pero aumentaba la altura de corruga, por lo que se seguía cumpliendo sin problemas el certificado de homologación de adherencia. El incremento



Figura 4.- Secciones transversales de las barras para la medida del espesor del recubrimiento.



## REPORTAJES



Figura 5.- Ausencia de defectos en las barras revestidas tras el doblado a 180°.

de altura fue de 0,01 mm para las barras de 8 mm de diámetro, 0,21 mm para las de 16 mm y 0,63 mm para las de 25 mm.

El espesor de recubrimiento se midió sobre secciones transversales de las barras con la ayuda de un proyector de perfiles en 4 puntos equidistantes. El espesor medio de recubrimiento medido fue de 250  $\mu$ m en las barras de 8 mm de diámetro y de 280  $\mu$ m en las de 16 mm y 25 mm.

Por último, el ensayo de doblado a 180° puso de manifiesto la ausencia de fisuras en el revestimiento apreciables a simple vista, por lo que las barras así tratadas admiten sin problemas su transformación en formas de armado.

En las zonas correspondientes al corte, así como en aquellas otras en las que hubiese defectos producidos durante el proceso de elaboración y montaje, puede restablecerse la continuidad del revestimiento mediante la aplicación del mismo producto utilizado, como si se tratase de una pintura. La eficacia del procedimiento se ha analizado también en el estudio realizado, como se verá a continuación.

Como anécdota, merece la pena mencionar la dificultad que tuvo el personal de laboratorio para poder desprender la película de epoxi depositada sobre las barras dada su fuerte adherencia.

## ENSAYOS COMPARATIVOS DE CORROSIÓN ACELERADA

Para comprobar la eficacia del revestimiento frente a la corrosión se llevaron a cabo ensayos acelerados en los que se comparó el comportamiento observado en los siguientes casos:

- Barras desnudas (referencia).
- Barras revestidas.
- Barras revestidas con daños en su superficie.
- Barras revestidas con daños reparados en su superficie.

Estas barras se embebieron en unas placas de hormigón en el que se había añadido cloruro cálcico durante el amasado para acelerar el proceso agresivo. El contenido final de iones cloruro en el hormigón fue del 0,4 % sobre el contenido de cemento. Además, se aplicó una diferencia de potencial de corriente continua con el fin de polarizar las barras de acero, creándose una celda de corrosión con la ayuda de una placa de plomo de las mismas dimensiones que la placa de hormigón, apoyada sobre éste a través de una bayeta que se humedecía diariamente.



Figura 6.- Detalle del ensayo acelerado de corrosión.

El ensayo de corrosión acelerada se llevó a cabo durante 110 días a lo largo de los cuales se aplicó una densidad de corriente sobre las barras de, aproximadamente,  $70 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , registrándose las intensidades y diferencias de potencial de la corriente suministrada. Al finalizar el ensayo se extrajeron las barras embebidas para comprobar su nivel de corrosión, observándose:

- La corrosión generalizada y la presencia de picaduras en las barras de acero desnudo, con una pérdida media de sección del 10 % para las barras de 8 mm de diámetro, del 5 % para las barras de 16 mm y del 3 % para las de 25 mm.
- La inalterabilidad en las barras revestidas con epoxi, y en aquellas otras en las que se habían efectuado daños y éstos habían sido reparados.
- Ligeras manchas de óxido superficial en las zonas dañadas y no reparadas del recubrimiento epoxi, que se mantenía perfectamente adherido al acero.

### ENSAYOS COMPARATIVOS DE ADHERENCIA

El recubrimiento del acero con una resina epoxi produce una modificación de las condiciones iniciales de adherencia entre el acero y el hormigón, como consecuencia de diversos mecanismos como puede ser el "redondeo" de las posibles aristas que presentan las



Figura 7.- Al avanzar el ensayo el aumento de volumen de los productos de corrosión produce la rotura de la placa de ensayo.



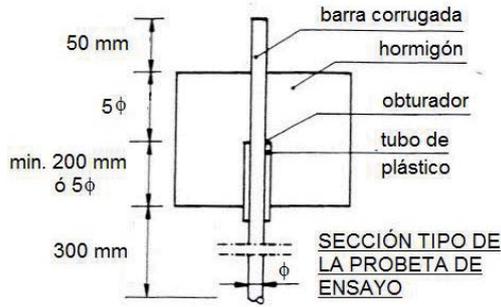
Figura 8.- Estado de las barras una vez finalizado el ensayo de corrosión.



Figura 9.- Detalle del estado de las barras revestidas con defectos reparados tras el ensayo acelerado de corrosión y su comparación con la barra desnuda de referencia.



## REPORTAJES



ESQUEMA DEL ENSAYO DE PULL OUT

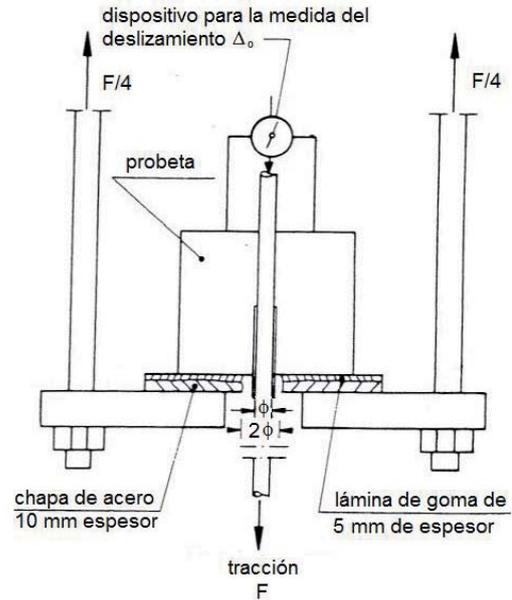


Figura 10.- Ensayo de pull out según el procedimiento RILEM.

corrugas, el relleno de las zonas de transición entre la corruga y el núcleo de la barra, y el cambio de la microrrugosidad de la superficie que reduce las condiciones de adherencia y facilita que se produzcan posibles deslizamientos.

Existe una amplia bibliografía al respecto y numerosos estudios efectuados de los que se concluye que es preciso aumentar las longitudes de anclaje y solape en torno a un 20 % en la armadura de tracción, así como evitar el empleo de barras con espesores de recubrimiento gruesos (superiores a 500 mm).



Figura 10.- Rotura de la probeta de ensayo de barras de 25 mm de diámetro.

Si bien la Instrucción EHE-08 contempla los revestimientos como medida de protección del acero frente a la corrosión, no indica nada en relación a las consideraciones que haya que adoptar en relación a las condiciones de adherencia. Por ese motivo, en el estudio efectuado se decidió obtener información sobre la influencia que el tipo de revestimiento analizado podría tener sobre las condiciones de adherencia.

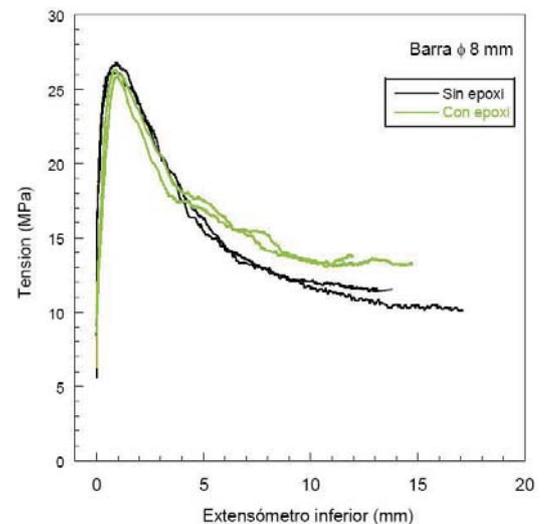


Figura 12.- Curvas experimentales tensión de adherencia-deslizamiento en las probetas con barras de 8 mm de diámetro.

Por su simplicidad, y al tratarse de una prueba comparativa, se llevó a cabo un ensayo de arrancamiento (*pull-out*) siguiendo las recomendaciones RILEM [17]. El ensayo consiste en embeber una barra en un cubo de hormigón de 20 cm de arista para barras de diámetro igual o inferior a 16 mm, o de 25 cm de arista para diámetros superiores, en la que se impide la adherencia con el hormigón por medio de un encapsulado plástico, salvo en una zona de 5 diámetros de longitud. La barra sobresale del cubo una longitud suficiente para efectuar el ensayo de arrancamiento. Durante el ensayo se miden las tensiones sobre la barra y el desplazamiento que experimenta ésta, hasta que se produce el fallo por adherencia o bien se produce la rotura de la probeta.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto un descenso de las tensiones máximas de adherencia comprendido entre un 2,5 %, para el diámetro de 8 mm, y un 9,65 % para el diámetro de 25 mm. En este último caso el fallo se produjo por rotura del bloque de hormigón y no por arrancamiento de la barra, por lo que se trata de un valor que hay que manejar con precaución.

De la forma de los diagramas tensión-deslizamiento no se observan diferencias apreciables en el comportamiento de las barras revestidas y sin revestir, sin que se produzcan mayores deslizamientos al alcanzarse la carga máxima, presentando las barras revestidas una pendiente de descarga más suave que las barras de acero desnudas.

## CONCLUSIONES

El empleo de ECRs ha ido evolucionando a lo largo de los más de 37 años transcurridos desde la primera realización llevada a cabo en las proximidades de Filadelfia en el año 1973. Desde entonces se han ejecutado más de 50.000 estructuras en Estados Unidos y Canadá, pero también en otras zonas del mundo, fundamentalmente Oriente Medio y, en alguna aplicación puntual, en países europeos donde esta técnica no ha terminado de consolidarse.

A lo largo de estos años se han multiplicado los estudios, investigaciones y seguimientos de obras realizadas; se han

## "El empleo de barras recubiertas con epoxi reduce el riesgo de corrosión"

modificado las formulaciones de los productos empleados, se han optimizado los sistemas de aplicación de este tipo de revestimientos y se ha desarrollado un cuerpo normativo completo que permite verificar el cumplimiento de las especificaciones establecidas para las ECRs.

Podemos pues concluir que se trata de una técnica madura y desarrollada, cuyas ventajas pueden ser aprovechadas con un nivel de riesgo reducido.

Para comprobar la bondad del sistema se ha llevado a cabo una investigación cuyo principal objetivo era determinar la capacidad de protección frente a la corrosión de este tipo de tratamiento, comprobando que su empleo no modifica las características del acero, permite que éste pueda seguir transformándose en formas de armado mediante su corte y doblado, y no altera significativamente las condiciones de adherencia con el hormigón.

Como se ha expuesto, todas estas cuestiones han sido superadas satisfactoriamente por el producto Scotchkote® de 3M aplicado mediante el procedimiento FBE sobre barras de acero fabricadas en España.

También se ha podido comprobar que la reparación de posibles defectos superficiales en la superficie de la barra, como consecuencia de las operaciones de corte o de manipulación y colocación de las armaduras en el encofrado, es sencilla y eficaz.

Por lo tanto, puede concluirse que el empleo de ECRs es una alternativa viable en estos momentos en España, pudiéndose disponer en los próximos meses no sólo de aplicadores que permitan obtener recubrimientos de calidad, sino también de instalaciones de ferralla especializadas en su manejo y montaje, así como de los correspondientes pliegos de condiciones que permitan su incorporación a los proyectos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Clifton J.R., Beeghly, H.F. y Mathey, R.G. "Non-metallic Coatings for Concrete Reinforcing Bars". Report FHWA-



## REPORTAJES

- RD-74-18 Federal Highway Administration Washington D.C., 1974.
- Pike, R.G., Hay, R.E. Clifton, J.R. Beeghly, H.F. y Mathey, R.G. "Non-Metallic Coatings for Concrete Reinforcing Bars". Public Roads 1973.
  - Virmani, Y.P., Clear, K.C. y Pasko Jr., T.J. "Time-To-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs". Vol. 5 – Calcium nitrite admixture or epoxy-coated reinforcing bars as corrosion protection systems. Informe FHWA/RD-83/012, Federal Highway Administration, Washington D.C. 1983.
  - Manning, D. G. "Corrosion Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Steel: North American Experience". Construction and Building Materials, volumen 10, nº 5, 1996, páginas 349 – 365.
  - McDonald, D.B., Sherman, M.R., y Pfeifer, D.W. "The Performance of Bendable and Nonbendable Organic Coatings for Reinforcing Bars in Solution and Cathodic Debonding Tests". Informe FHWA-RD-94-103, Federal Highway Administration, McLean, VA, enero 1995, 148 pp.
  - McDonald, D.B., Sherman, M.R., y Pfeifer, D.W. "The Performance of Bendable and Nonbendable Organic Coatings for Reinforcing Bars in Solution and Cathodic Debonding Tests: Phase II Screening Tests". Informe FHWA-RD-96-021, Federal Highway Administration, McLean, VA, mayo 1996, 121 pp.
  - McDonald, D.B., Pfeifer, D.W., y Blake, G.T. "The Corrosion Performance of Inorganic-, Ceramic-, and Metallic-Clad Reinforcing Bars and Solid Metallic Reinforcing Bars in Accelerated Screening Tests". Informe FHWA-RD-96-085, Federal Highway Administration, McLean, VA, octubre 1996, 112 pp.
  - McDonald, D.B., Pfeifer, D.W., y Sherman, M.R. "Corrosion Evaluation of Epoxy-Coated, Metallic-Clad, and Solid Metallic Reinforcing Bars in Concrete". Informe FHWA-RD-98-153, Federal Highway Administration, McLean, VA, diciembre 1998, 137 pp.
  - Lee, S.K. and Krauss, P.D. "Long-Term Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Steel in Heavy Salt-Contaminated Concrete". Informe FHWA-HRT-04-090, Federal Highway Administration, McLean, VA, junio 2004, 133 pp.
  - Pincheira, J.A., Aramayo, A., Kim, K.S. y Fratta, D. "Corrosion Protection Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Bars". Informe MN/RC 2008-47, Minnesota Department of Transportation, Saint Paul, MN, septiembre 2008, 224 pp.
  - Gálvez Ruiz, J.C. y Fernández Cánovas, M. "Eficacia de la Protección Frente a la Corrosión de Armaduras Pasivas Recubiertas con Resina Epoxi". E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (UPM), enero 2009.
  - Fernández Cánovas, M., Gálvez Ruiz, J.C., Goicolea Marín, P. "Estudio del Comportamiento Mecánico y Frente a Corrosión de Armaduras Pasivas de Acero Revestidas con Resina Epoxi". Hormigón y Acero nº 257, julio - septiembre 2010, páginas 91 – 104.
  - Anzalone, P. "Armaduras Recubiertas con Epoxi". Revista Técnica Zuncho nº 11, marzo 2007, páginas 18 - 21.
  - ASTM A 775/ A 775M-07. "Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars". American Society for Testing and Materials, 2007.
  - ASTM A 934/ A 934M-07. "Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars". American Society for Testing and Materials, 2007.
  - ASTM D 3963/ D3963M-01. "Standard Specification for Fabrication and Jobsite Handling of Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars". American Society for Testing and Materials, 2001.
  - RILEM. "RC 6 Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out test". International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures. Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. E & FN SPON, 1994, páginas 218-220. ■

# EFICIENCIA ENERGÉTICA E INCREMENTO DE LA SOSTENIBILIDAD

## APLICACIÓN A LOS EDIFICIOS DE HORMIGÓN

**José Antonio Tenorio Ríos, Luis Vega Catalán y Fernando Martín-Consuegra Ávila** – Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC.

**José Turmo Coderque** – Universidad de Castilla La Mancha.

**Manuel Burón Maestro, Arturo Alarcón Barrio y Renata D'Andrea** – Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

**Alfonso Burón García** – Pecsca Gestión Inmobiliaria, S.A.

**E**n los países más desarrollados una buena parte del consumo energético y de las emisiones de efecto invernadero son debidas a los edificios, y podrían reducirse significativamente, del orden de un 30 a un 50 %, sin incurrir en un apreciable incremento de los costes de inversión, según las estimaciones realizadas por el grupo de trabajo de la Sustainable Buildings and Construction Initiative del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). En Europa, por ejemplo, los edificios consumen el 42 % de la energía y emiten el 35 % de los gases de efecto invernadero, lo que ha motivado la revisión de la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios mediante la cual se estima alcanzar un ahorro comprendido entre 160 y 210 MtCO<sub>2</sub>/año, lo que supone el 4-5 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 2020.

Según diversos autores, durante la vida de servicio de un edificio —estimada en un principio en 60 años— el 87-90 % de sus emisiones de CO<sub>2</sub> se producen durante su uso, entre un 8-10 % son achacables a los materiales con los que está construido, y el 2-3 % restante se emite durante la fase de construcción.

Por lo tanto, el ahorro en el consumo de energía de los edificios y, por ello, de sus emisiones de CO<sub>2</sub>, puede

depender de millones de decisiones individuales de sus usuarios, que pueden responder a una señal de concienciación individual, o tener una cierta independencia al haberse construido con criterios intrínsecamente ahorradores de energía que aprovechen todas las potencialidades de los materiales y sistemas constructivos para que el ahorro se produzca desde el primer día, como expresión de una concienciación colectiva o social, asumida por todos los usuarios.

El hormigón puede jugar un importante papel en este segundo enfoque al presentar una serie de características como son su masa y su calor específico, que le permiten proporcionar interesantes prestaciones en relación con la inercia térmica y el confort acústico que son fácilmente aprovechables en edificación.

En este artículo se describe, de forma concisa, el estudio realizado sobre una nueva forma de hacer uso de materiales tradicionales, de manera que, respetando las nuevas exigencias reglamentarias establecidas por el Código Técnico de la Edificación, se mejore el diseño estructural del edificio aprovechando todas sus potencialidades y consiguiendo ahorros de energía.

Para ello se ha partido de dos edificios similares en forma y tamaño. Uno de ellos se ha solucionado mediante una estructura tradicional de pórticos de hormigón armado y fachada de ladrillo



## REPORTAJES

con aislamiento por el interior, mientras que en el segundo, tanto la envolvente, como las particiones del edificio, son pantallas de hormigón, que además de aportar una función estructural proporcionan al edificio aislamiento acústico y una mayor inercia térmica con la que pueden conseguirse relevantes ahorros de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### NUEVOS REQUISITOS

La Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación define el Código Técnico de la Edificación como el marco normativo mediante el cual se establecen las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones, que permiten el cumplimiento de los requisitos básicos fijados en la misma, esto es:

Requisitos de funcionalidad:

- Utilización.
- Accesibilidad.
- Acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información.

Requisitos de seguridad:

- Seguridad estructural.
- Seguridad en caso de incendio.
- Seguridad de utilización.

Requisitos de habitabilidad:

- Higiene, salud y protección del medio ambiente.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.
- Otros aspectos funcionales.

La nueva reglamentación se basa en el concepto de las prestaciones. Una prestación determinada hace que, fijado un nivel reglamentario, los elementos y sistemas del edificio den una respuesta, en cuanto a aptitud al uso, suficiente para alcanzar dicho nivel.

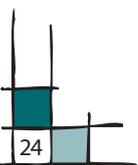
El Código Técnico de la Edificación aumenta los niveles de calidad que deben proporcionar los edificios y que deben ser satisfechos mediante un diseño que aproveche al máximo las prestaciones de los sistemas constructivos.

Los requisitos relacionados con las condiciones acústicas, el ahorro energético y la seguridad frente al fuego son, sin duda, los que mayor incidencia pueden presentar en el incremento de la sostenibilidad y en el impulso de la innovación, tanto en los materiales como en la forma de emplearlos, para construir edificios más confortables, más seguros, más económicos para el usuario que gastará menos energía durante la vida útil del edificio, más competitivos y más sostenibles para el conjunto de la sociedad.

Los requisitos de carácter térmico nacen de la preocupación medioambiental asociada a la energía empleada en los edificios y tiene como finalidad limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la mejora de la eficiencia energética de éstos. De hecho, el fomento de la eficiencia energética constituye una parte importante del conjunto de políticas y medidas necesarias para el cumplimiento de los compromisos del Protocolo de Kyoto, entre las que se encuadran las Directivas 93/76/CEE y 2002/91/CE cuya trasposición a la reglamentación nacional se ha hecho a través del CTE, la Certificación Energética de los Edificios y el Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE).

El nuevo Documento Básico DB-HE de Ahorro de Energía del CTE tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo su consumo energético y utilizando para ello, cuando así se determina, fuentes de energía renovable.

La nueva normativa de aislamiento térmico de la edificación, DB-HE1, a diferencia de la norma básica derogada, contempla la inercia térmica de los elementos constructivos del edificio e incluso proporciona un programa informático para evaluar la demanda energética del edificio: el programa LIDER (Limitación de la Demanda Energética) en el cual se está trabajando para incorporar la utilización de sistemas de aprovechamiento solar pasivo.



Las exigencias acústicas tienen como objetivo fundamental evitar que el ruido ponga en peligro la salud de las personas y/o les impida realizar satisfactoriamente sus actividades.

El Documento Básico del CTE DB-HR Protección frente al Ruido, fija las exigencias de aislamiento que tienen como objetivo limitar la transmisión de ruido aéreo y de impactos entre recintos colindantes, tanto verticalmente como horizontalmente. Estas exigencias son verificables *in situ* y suponen un aumento importante de los niveles de aislamiento requeridos.

En edificios en los que existan unidades de uso diferenciados (por ejemplo: edificios de viviendas, oficinas, etc.), el nivel de aislamiento acústico a ruido aéreo entre el recinto protegido (una vivienda) y cualquier otro, excluidos los recintos de instalaciones o de actividad, debe ser tal que el índice "RA" global de reducción acústica (ponderado A) de los elementos que proporcionan aislamiento frente al ruido aéreo no sea inferior a 51 dBA. Este valor cubre tanto el aislamiento acústico a ruido aéreo generado en el interior del propio edificio ( $D_{n,T,A} = 50$  dBA, según apartado 2.1.1 del DB-HR) como al ruido aéreo procedente del exterior, incluyendo el uso en el que el ruido exterior dominante sea el de aeronaves ( $D_{2m, nT, dir} = 47 + 4 = 51$  dBA, según tabla 2.1 del DB-HR).

En el mismo tipo de edificios, se exige que los elementos que conforman las separaciones horizontales entre recintos correspondientes a diferentes unidades de uso (suelos y techos) proporcionen un aislamiento acústico, frente al ruido de impactos, determinado por un nivel global de presión de impactos igual a 65 dBA o menor.

### EDIFICIO OBJETO DE ESTUDIO

La densidad del hormigón y los espesores con los que habitualmente se utiliza en las estructuras proporciona un buen aislamiento acústico, lo que combinado

con su inercia térmica lo convierten en una opción muy atractiva para dar respuesta a las exigencias de aislamiento térmico y acústico.

Para comprobar hasta qué punto es eficaz este material se plantea el estudio [17] de un edificio en altura de uso residencial con viviendas de 100 m<sup>2</sup>, con tipología de manzana cerrada en la que se reserva su interior para un espacio verde central que puede tener dotaciones deportivas y de ocio. Una solución habitualmente empleada en estos momentos en nuestro país

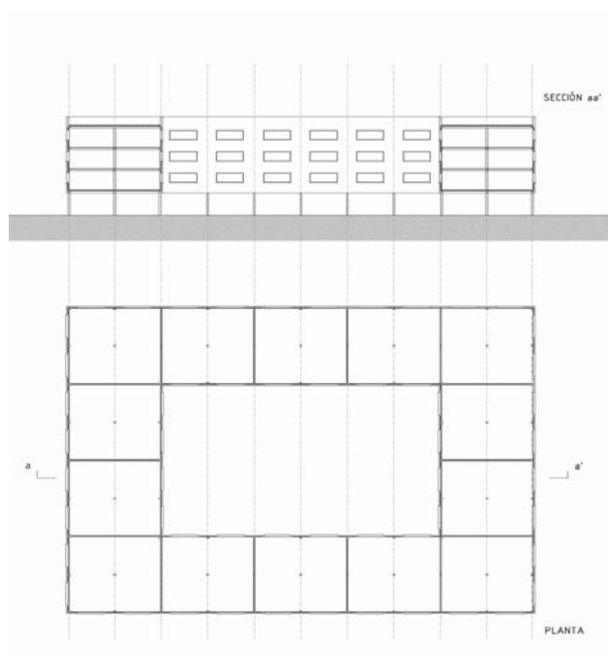


Figura 1.- Planta del edificio.

En el diseño del edificio no se adopta ningún tipo de mejora bioclimática (orientación, protecciones solares, etc.) o de ahorro energético, tratando de plantear una solución neutra en la que pueda estimarse la magnitud del posible ahorro obtenido al adoptar dos soluciones estructurales alternativas, una de ellas planteada con hormigón.

Desde el punto de vista de la energía el edificio se caracteriza por tener cuatro fachadas exteriores con acceso al viario público y cuatro fachadas al patio de manzana. Cada vivienda tiene una fachada a la calle y otra al interior, excepto las de las esquinas que no acceden al patio pero tiene dos fachadas al exterior. El porcentaje de huecos en todas sus fachadas es del 30 %.



## REPORTAJES

Para considerar los efectos de la inercia térmica las prestaciones de los cerramientos se eligen de forma que se cumpla de forma estricta el CTE DB-HE y respondan a sistemas constructivos habituales en la actualidad.

Se comparan, por tanto, dos soluciones constructivas:

- La solución convencional (Módulo 1) constituida por una estructura de pórticos de hormigón armado con forjados unidireccionales de vigueta y bovedilla, particiones interiores con tabicón de ladrillo hueco, y fachadas de ladrillo visto con el aislamiento térmico por el interior de las cámaras del edificio.
- La solución con cerramientos de alta inercia térmica (Módulo 2) en la que se emplean pantallas de hormigón como elemento de partición entre las viviendas y como fachadas, de 20 cm de espesor, con un claro uso estructural. Los forjados son losas macizas de hormigón y las particiones interiores son también paneles macizos de hormigón, de 12 cm de espesor. En el caso de las fachadas el aislamiento se dispone en la parte externa del edificio.

Ambas soluciones se han comprobado, a efectos térmicos desde el punto de vista de su demanda energética, mediante la herramienta LIDER (programa homologado por el CTE).

### VENTAJAS ESTRUCTURALES

Se ha calculado la estructura del edificio con ambas soluciones. En el caso del Módulo 1 (solución constructiva convencional) la estructura se materializa mediante pórticos (pilares y vigas planas) convencionales de hormigón armado y forjado de vigueta y bovedilla, mientras que en el caso del Módulo 2 (soluciones constructivas para cerramientos de alta inercia térmica) la estructura está formada por pantallas de hormigón armado en las particiones in-

teriores entre viviendas y en las fachadas, así como por la losa, de canto constante, de hormigón estructural que constituye el forjado y un pilar situado para partir la luz entre pantallas. Las pantallas de fachada contienen todos y cada uno de los huecos dispuestos en la solución convencional, en la misma posición y con igual dimensión.

La solución de pantallas empleada en el Módulo 2 ofrece una capacidad de compartimentación en caso de incendio que no ofrece la solución convencional de pórticos, presentando por tanto una mayor seguridad frente al fuego.

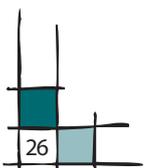
En ambos casos se han tratado de aprovechar de forma global las prestaciones que ofrece el hormigón: estructurales, de durabilidad, de compartimentación y resistencia al fuego y funcionales (aislamiento acústico), procurando obtener el máximo ahorro posible ofrecido por el edificio de forma pasiva en aspectos como la conservación, el mantenimiento o el consumo energético.

El cálculo de la estructura [16] del Módulo 2 da como resultado elementos estructurales con cuantías moderadas, además de reducirse el número de vigas y pilares al actuar las pantallas como elementos portantes y apoyos directos de las losas macizas que constituyen los forjados.

La cimentación también se modifica reduciéndose de forma considerable las zapatas individuales que son sustituidas por zapatas corridas en el perímetro y en la medianería entre viviendas.

El sistema de pantallas estructurales proporciona un esqueleto resistente poco deformable y muy bien configurado para resistir esfuerzos horizontales y la acción sísmica, en su caso. Además, ofrece una capacidad de resistencia al fuego REI 120 minutos, lo que cubre el campo de la edificación convencional incluyendo los sótanos, proporcionando una compartimentación efi-

***"El hormigón contribuye a incrementar significativamente la eficiencia energética y la sostenibilidad de los edificios"***



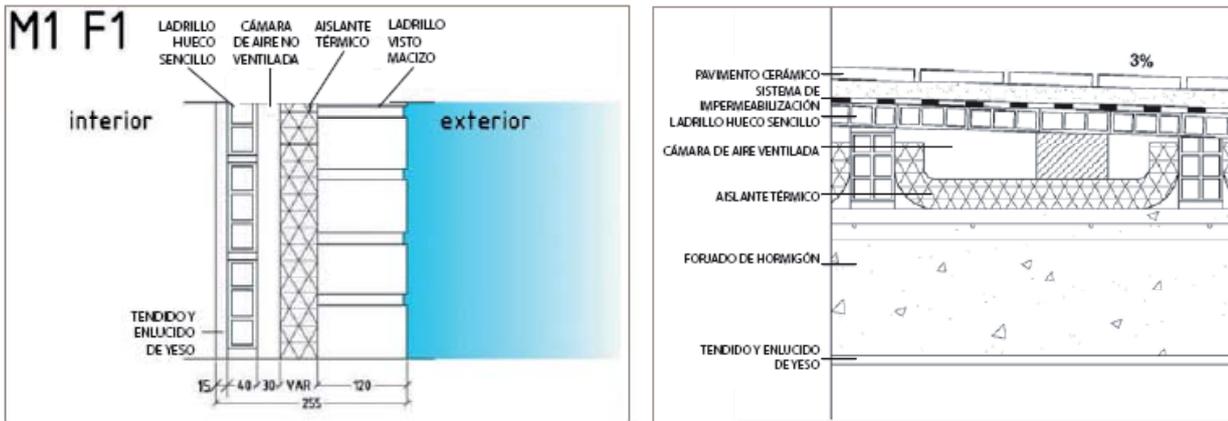


Figura 2.- Solución constructiva tradicional.

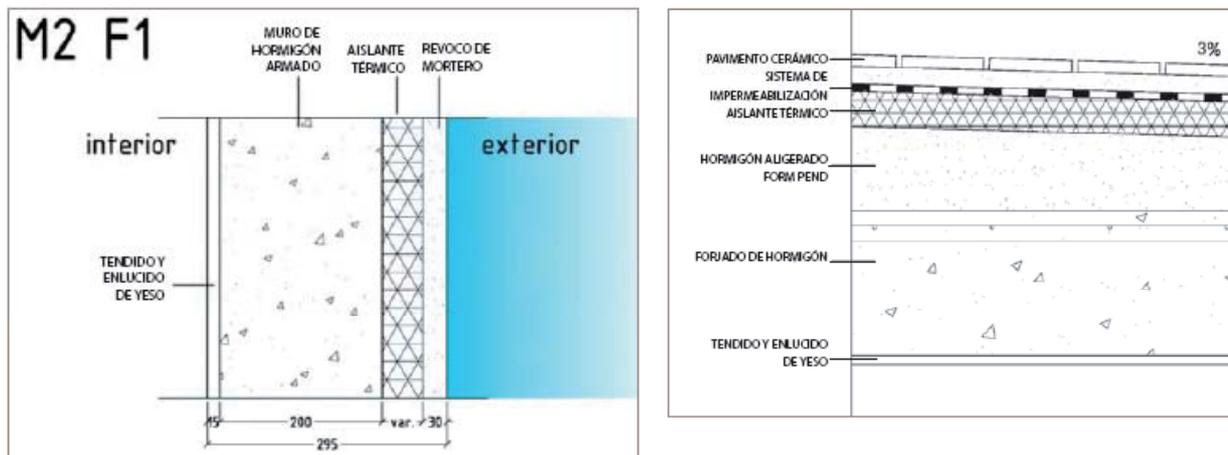


Figura 3.- Solución constructiva con cerramientos de alta inercia térmica.

caz frente al fuego, vivienda a vivienda, ya que el nudo forjado-pantallas impide la extensión del incendio entre plantas y el contorno de la propia vivienda lo impide entre viviendas de la misma planta.

Otras de las ventajas que puede presentar el Módulo 2 son las siguientes:

- Costes de mantenimiento y conservación irrelevantes a lo largo de toda su vida útil.
- Seguridad frente a actos vandálicos.
- Fachadas con posibilidad de recibir cualquier tratamiento arquitectónico hacia el exterior.

## COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

### Aprovechamiento de la energía solar

Una de las formas de conseguir un ahorro de energía en los edificios, sin disminuir los niveles de confort térmico exigidos por sus ocupantes, es aprovechar la energía solar que incide sobre ellos.

La denominada arquitectura bioclimática pretende lograr edificios con un consumo menor de energía convencional manteniendo las condiciones requeridas. Para ello, deben considerarse unas estrategias de diseño que aprovechen de forma óptima las condiciones ambientales del entorno como, por ejemplo, la acumulación térmica a través de cerramientos opacos. La captación solar se realiza a través de un elemento que actúa como acumulador de calor. Desde este elemento el calor es cedido al espacio interior



## REPORTAJES

### ***"Las viviendas de hormigón ofrecen a sus usuarios un mayor confort térmico y acústico, además de un notable ahorro en gastos de climatización"***

en forma de radiación y convección, por lo que se genera, debido a la inercia térmica del elemento, un retardo de la transmisión y un amortiguamiento en la oscilación de temperaturas.

Los cerramientos son un elemento importante dentro de la arquitectura bioclimática debido a su actuación como colector, con tres funciones destacadas:

- Captación de la radiación solar.
- Acumulación y cesión del calor acumulado. Regulación de la demanda de la energía térmica.
- Transferencia del calor al interior de las viviendas.

La captación solar se realiza a través de los huecos y de los propios cerramientos opacos que actúan como acumulador de calor. Desde ellos el calor es cedido al espacio interior en forma de radiación y convección, con un determinado retardo función de su inercia térmica y un amortiguamiento en la oscilación de las temperaturas.

Cuando la temperatura de los elementos que acumulan calor es inferior a la del ambiente, lo que ocurre durante el verano por la noche cuando se ventila el edificio, se produce un ciclo inverso al descrito disminuyendo, así, la demanda de energía de refrigeración.

Con una buena inercia térmica la temperatura interior del local se acerca a la temperatura media diaria, la cual muchas veces está dentro de la banda de confort térmico.

Por otro lado, las particiones interiores, tanto verticales como horizontales, juegan un importante papel en la capacidad de acumu-

lación de calor por lo que su diseño jugará también un papel importante en el confort.

En este caso, se han diseñado teniendo en cuenta también el cumplimiento del DB-HR en cuanto a ruido aéreo, llegando a proporcionar valores de RA superiores a 52 dBA (correspondiente a una masa de 300 kg/m<sup>2</sup>) y 65 dBA respectivamente. Para cumplir las exigencias en cuanto a ruido de impacto, las soluciones con losa de hormigón también pueden considerarse válidas, disponiendo sobre el forjado un suelo flotante de mortero de cemento sobre fibra mineral ignífuga antes de disponer el pavimento de acabado que corresponda. Con ello se consigue un nivel global de presión de impactos igual o menor a 65 dBA, salvo que un análisis más profundo permita evitar dicho suelo flotante. La colaboración del mismo en el cálculo térmico no ha sido considerada.

#### **Cálculo térmico**

Con ambos edificios y las soluciones consideradas para cada uno de ellos, se ha procedido a efectuar los cálculos de la demanda anual de calefacción y refrigeración, en kWh/m<sup>2</sup>, en las distintas zonas climáticas de España, de conformidad con la clasificación efectuada en el CTE DB-HE. Además, para ver la importancia que representa la resolución de los puentes térmicos, se ha considerado la situación ideal de que en la solución tradicional se pudieran eliminar todos ellos, algo que en la práctica no es posible. En las Tablas 1 y 2 se recogen los valores obtenidos en algunas de las áreas estudiadas.

El resultado obtenido pone de manifiesto que la solución con hormigón (Módulo 2) evita los puentes térmicos porque, en ella, la continuidad del hormigón en la estructura-fachada exterior permite dar continuidad al aislamiento térmico.

Ahora bien, también se constata que la masa y la inercia térmica del hormigón mejoran considerablemente

Tabla 1.- Consumo de energía de las soluciones estudiadas, en kWh/m<sup>2</sup>.

Zona climática	Módulo 1 (convencional)		Modulo 1 (sin puentes térmicos)		Módulo 2 (alta inercia térmica)	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Las Palmas	0,00	10,88	0,00	10,72	0,00	9,05
Alicante	16,43	16,55	13,58	16,06	12,81	14,06
Cáceres	39,97	19,94	35,28	19,24	34,96	16,42
Madrid	54,39	10,80	48,87	10,47	46,47	9,08
Burgos	94,22	0,00	87,04	0,00	84,99	0,00

Tabla 2.- Porcentajes de ahorro en calefacción y refrigeración en relación a la construcción convencional.

Zona climática	Modulo 1 (sin puentes térmicos)		Módulo 2 (alta inercia térmica)	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Las Palmas	—	1,47	—	16,76
Alicante	17,34	2,96	21,97	15,02
Cáceres	11,73	3,51	12,52	17,62
Madrid	10,15	3,06	14,56	15,92
Burgos	7,62	—	10,85	—

las prestaciones energéticas del edificio en comparación con las soluciones tradicionales aunque en éstas se hubiesen conseguido solucionar todos los puentes térmicos existentes, diferencia más acusada en energía de refrigeración que en energía de calefacción. Y es que la solución con hormigón permite optimizar su funcionamiento como acumulador de calor al poder disponer el aislamiento por el exterior de la envolvente térmica del edificio.

Para la **demanda de calefacción**, el porcentaje de ahorro es mayor en las zonas cálidas que en las frías, como consecuencia de una mayor contribución de la inercia térmica, tanto mayor cuanto mayor es la severidad climática en verano. En valores absolutos el ahorro neto es, sin embargo, mayor en las zonas frías si bien su repercusión será menor en el porcentaje total por representar una parte menor del consumo.

Para la **demanda de energía de climatización**, el ahorro debido a la masa térmica, tanto en porcentaje como en términos absolutos, es superior en refrigeración que en calefacción. El porcentaje de ahorro en refrigeración es mayor cuanto menor es la severidad climática en verano, exceptuando las zonas en las que no suelen haber demanda de aire acondicionado.

Sumando los valores absolutos de las demandas de refrigeración y calefacción obtenemos un indicador de la **demanda total del edificio** a lo largo del año para cada una de las dos soluciones constructivas consideradas en el análisis. A partir de estos datos se obtiene el ahorro que supone la utilización de la inercia térmica a lo largo del año en valores absolutos y en porcentajes de ahorro. De esta forma pueden definirse qué zonas climáticas pueden ser, según la simulación del programa LIDER, más adecuadas para utilizar la inercia térmica como estrategia de reducción de la demanda energética en los edificios.

Las zonas con mayor reducción de la demanda, en términos absolutos, serían las zona de máxima severidad climática en invierno,



## REPORTAJES

# "El CTE impulsa la mejora del diseño estructural del edificio para reducir el consumo de energía"

seguidas de las zonas templadas de la Península, cuya severidad climática en invierno no se acerca a los límites y cuya severidad climática en verano es baja.

En porcentajes de ahorro son las zonas cálidas las que ven disminuida en mayor porcentaje su demanda energética debido a que su consumo es principalmente de refrigeración.

El resumen del cálculo realizado es que, considerando todas las situaciones climáticas que, según el Código Técnico de la Edificación, se dan en España, el ahorro medio de energía de calefacción y refrigeración que la solución de hormigón estudiada (Módulo 2) produce sobre el consumo correspondiente a la solución tradicional (Módulo 1) es de un 16 %.

### CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

#### Respecto a la estructura

A partir del dimensionado realizado para definir el edificio tradicional (Módulo 1) y el edificio con contorno-pantallas de hormigón (Módulo 2) se han realizado las mediciones de aquellas unidades que, en ambas soluciones, conforman los elementos constructivos que realizan la misma función: estructura, fachadas y particiones medianeras entre viviendas.

Las unidades de obra y su descripción han sido obtenidos de la publicación "Precios de la construcción CENTRO 2008" editado por el Gabinete Técnico de Publicaciones del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara.

De la comparación de los presupuestos se deduce que la solución con contorno formado por pantallas de hormigón (Módulo 2) es un 2,94 % más cara que la solución tradicional (Módulo 1) y que a este porcentaje hay que sumarle el que resulte de valorar el coste de acabado arquitectónico de la fachada. En el caso de que este acabado sea una fábrica de ladrillo que iguale la expresión formal del acabado correspondiente a la solución tradicional, el porcen-

taje anteriormente indicado se eleva hasta un 11,06 %, que corresponde a una diferencia en el presupuesto del edificio de 77.800 €, lo que representa un incremento de aproximadamente 1.850 € por cada vivienda de las contenidas en el edificio estudiado (14 viviendas por planta y 42 viviendas en total).

#### Respecto al consumo energético

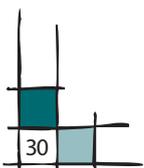
La solución de pantallas de hormigón (Módulo 2) consume, en media y considerando todas las situaciones climáticas existentes en España (que son los que se han estudiado), un 16 % menos de energía de climatización (calefacción + refrigeración) que la que corresponde al consumo de la solución tradicional (Módulo 1).

La evaluación del consumo energético se ha realizado en base a las tarifas según Resolución de 29 de diciembre de 2009 de la Dirección General de Política Energética y Minas para tarifas de último recurso aplicables al primer semestre de 2010. El cálculo se ha realizado por vivienda de 100 m<sup>2</sup> y año.

El coste del consumo energético correspondiente a las dos soluciones estudiadas, la solución tradicional (Módulo 1) y la solución con pantallas de hormigón (Módulo 2) se ha evaluado eligiendo en ambos casos la situación climática correspondiente a Madrid (ver Tabla 3), al considerarse que representa la situación media en España en cuanto a la diferencia entre consumos (un 14,56 % frente al 16 % de la media nacional), para tener una idea de la magnitud de ahorro al que se está haciendo referencia.

Con el ahorro producido en el caso estudiado el incremento del coste de construcción se compensa, para el usuario, en 15,5 años y en el caso de la media en España en 14,3 años.

Este análisis energético nos permite considerar que durante la vida útil del edificio el ahorro de energía de la solución con pantallas de hormigón (Módulo 2) hará que ésta sea más sostenible que la solución tradicional



(Módulo 1). No obstante esta es una visión parcial que debe completarse con el análisis del ciclo de vida completo, es decir, con la fase de producción de materiales y construcción (antes del inicio de la vida útil, en la que el usuario habita el edificio) y la fase de demolición y reciclaje o transporte y constitución de vertedero (después de dicha vida útil).

En este sentido merece destacar lo erróneo de asociar “la construcción ligera con la construcción más sosteni-

nible” o la de “construcción que emplea materiales o productos obtenidos con procesos exentos de emisiones de CO<sub>2</sub>, igual a construcción más sostenible”, salvo que ambas sean establecidas después de realizar el análisis del ciclo de vida correspondiente.

Estos errores están motivados al pretender evitar, con definiciones *a priori*, el análisis del ciclo de vida completo, que es la única herramienta capaz de establecer una valoración fiable de la sostenibilidad. También están motivados por el empeño en olvidar que la determinación de la sostenibilidad incluye consideraciones

Tabla 3.- Evaluación del consumo energético.

Hipótesis		Tarifa de Último Recurso sin discriminación horaria				
		Potencia contratada 5,5 kW				
Término potencia	No influye en la comparación	20,633129	€/kW año			
Término energía		0,117759	€/kWh			
Consumo anual	Módulo 1 Solución Tradicional	65,19	kWh/m <sup>2</sup> año	5.439	kWh/año	
Consumo anual	Módulo 2 Solución Hormigón	55,55	kWh/m <sup>2</sup> año	4.647	kWh/año	
Diferencia				792	kWh/año	14,56 %

**Calculo de la factura (anual)**

**Datos de consumo en energía de calefacción + refrigeración en Madrid, que coincide aproximadamente con la situación media en España en la que la diferencia es del 16 %**

Módulo 1 Solución Tradicional	Término potencia	113,48	
	Término energía	767,623817	
	Impuesto especial electricidad	45,05	
	Conceptos antes IVA	926,15	
	Total con IVA	1.074,34	€/año
	Total solución convencional (vida útil 50 años)	53.716,95	€

Módulo 2 Solución Hormigón	Término potencia	113,48	
	Término energía	654,151245	
	Impuesto especial electricidad	39,25	
	Conceptos antes IVA	806,88	
	Total con IVA	935,98	€/año
	Total solución hormigón (vida útil 50 años)	46.799,05	€

**Cálculo de ahorro en términos económicos y tiempo de recuperación del incremento de coste entre la solución de hormigón y tradicional**

	Caso con IVA	Caso sin IVA
Ahorro anual	138,36 €	119,27 €
Ahorro total vida útil	6.918,00 €	5.963,50 €



## REPORTAJES

medioambientales y energéticas, sociales y económicas, donde los aspectos relacionados con la seguridad, la durabilidad, la resistencia frente al fuego, el aislamiento acústico, la capacidad de resistir actos vandálicos o acciones accidentales provocadas por la propia naturaleza (sismos, etc.), los gastos de conservación y mantenimiento y los gastos en los que incurre el usuario para habitar en edificios confortablemente, comprometen los recursos que el usuario destina, a lo largo de toda la vida útil del edificio, al hacer uso del mismo, y, por tanto, tienen importancia en la determinación de la sostenibilidad de una solución concreta de entre las diversas alternativas posibles de construir el edificio y de constatar que la solución elegida para construirlo es más sostenible que las demás soluciones posibles.

### CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD

Con los datos del estudio realizado en términos de consumo energético, se puede realizar, a modo de ejercicio elemental, un primer balance energético de la contribución del hormigón a la sostenibilidad del edificio, teniendo claro que constituiría sólo una parte del análisis del ciclo de vida completo como ya se ha indicado.

Para ello vamos a partir de la cantidad de hormigón utilizado en la solución de alta inercia térmica (Módulo 2), del que se conoce su Declaración Medioambiental de Producto (EPD), en la que se incluyen todas las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a las materias primas (cemento, áridos y aditivos) y a su correspondiente transporte, así como la fabricación, transporte y colocación en obra, y que arroja un resultado de 215 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.



Al conjunto de emisiones de CO<sub>2</sub> achacables al hormigón utilizado en cada vivienda (que totalizan 4.698 kg) habrá que descontarle el ahorro producido en la energía necesaria para poder habitar ésta en condiciones confortables. Para ello, se ha considerado un valor de 0,3 kg de CO<sub>2</sub>/kWh, representativo del "mix" energético

## "Las condiciones acústicas, el ahorro energético y la seguridad frente al fuego son los factores que más inciden en la sostenibilidad de los edificios"

co nacional, o lo que es lo mismo 289,2 kg de CO<sub>2</sub> por vivienda y año. De este balance se deduce que al cabo de 16,24 años se produce la compensación de las emisiones correspondientes al hormigón utilizado y a partir de ese momento comienza un balance positivo, que se alargará a lo largo de la vida útil del edificio.

El ahorro neto de emisiones de CO<sub>2</sub> que puede llegar a producirse varía entre 447 y 1.110 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de hormigón para vidas útiles de 50 a 100 años.

La consideración de estos valores concluye que un empleo adecuado del hormigón en la edificación, tal como el estudiado, ofrece a la sociedad un balance de emisiones de CO<sub>2</sub> claramente favorable que incrementará, sin duda, la sostenibilidad de los edificios en relación con la solución tradicional.

### CONCLUSIONES

Del ejercicio realizado con la solución de pantallas de hormigón en el contorno del edificio y de cada una de las viviendas en él contenidas (Módulo 2) puede concluirse, en relación con el hormigón y el modo habitual de construir con él, las siguientes propiedades a favor del incremento de la sostenibilidad del edificio construido:

- Elevada vida útil al servicio del usuario.
- Seguridad frente al fuego:
  - el hormigón es incombustible;
  - compartimenta la acción del fuego, evitando la extensión del mismo desde una vivienda al conjunto del edificio;
  - protege a las personas, usuarios y equipos de emergencia y extinción, así como a los bienes materiales, directamente afectados y colindantes, privados y públicos;

- no desprende gases tóxicos ni productos que contaminen el medio ambiente.
- Ofrece seguridad resistente frente a acciones accidentales naturales y acciones vandálicas.
- Ofrece un buen aislamiento acústico, suficiente para cumplir los requisitos que aseguran la habitabilidad confortable del usuario.
- Ofrece, por la inercia térmica y la ausencia de puentes térmicos que son características de las construcciones de hormigón, una demanda de energía inferior a la de la construcción tradicional y, por tanto, una eficiencia energética mayor y un ahorro de energía de climatización favorable para el usuario y la sociedad en su conjunto.
- Todas las prestaciones antedichas del hormigón son pasivas, es decir, permanentes y consustanciales a la construcción con hormigón estructural, sin necesidad de realizar ni mantenimiento, ni conservación específicos y, por tanto, sin incurrir en costes significativos.
- El hormigón estructural es reciclable al 100 % al final de la vida útil o de servicio del edificio.
- El ahorro de energía de climatización del edificio de hormigón estudiado supone, para el usuario, un ahorro anual de 964 kWh para cada vivienda de 100 m<sup>2</sup>, en comparación con el consumo por el mismo concepto en un edificio tradicional, lo que compensa el mayor coste de construcción en un periodo medio en España de 14,3 años.
- Dicho ahorro, en términos de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>, compensa las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a la construcción con hormigón —materias primas y transportes asociados, así como



## REPORTAJES

fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón— en 16,2 años. A lo largo de la vida útil, o de servicio, del edificio, este hormigón genera un ahorro neto de 447 kg de  $\text{CO}_2/\text{m}^3$  de hormigón, si ésta es de 50 años, cifra que alcanza el valor de 1.110 kg de  $\text{CO}_2/\text{m}^3$  de hormigón si la vida útil o de servicio es de 100 años

Por todo ello, el hormigón se configura como un material que, unido al modo habitual de construir con él, ofrece de manera global un conjunto de prestaciones que contribuyen a incrementar, de modo significativo, la eficiencia energética de los edificios con él construidos y la sostenibilidad.

## BIBLIOGRAFIA

1. ISO 14040: *Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.*
2. ISO 14044: *Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.*
3. ISO/DIS 15686-5: *Building and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing.*
4. ISO/TC 59/SC 17/WG 3N: *Building construction. Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products.*
5. ACI SP-145 *Durability of Concrete* (1994).
6. Aguado, A.: "Aplicación de índices de sostenibilidad medioambiental al proyecto de estructuras de hormigón". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
7. Burón, M.: "Cementos para hormigones más sostenibles". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
8. Burón, M.: "La sostenibilidad de las construcciones de hormigón". Cemento-Hormigón nº 897, enero 2007.
9. Burón, M.; Jofré, C.: "Evaluación global de la sostenibilidad de una carretera y vías de mejora". Carreteras nº 160, julio-agosto 2008.
10. Carrascón, S.; Aguado, A.; Josa, A.: "Evaluación medioambiental de productos de hormigón mediante el análisis del ciclo de vida". Cemento-Hormigón nº 898, febrero 2007.
11. Carrau, J.M.: "Sostenibilidad y hormigón preparado". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible". CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
12. Plataforma Europea del Hormigón: Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica. Cemento-Hormigón nº 911, febrero 2008.
13. Plataforma Tecnológica Española del Hormigón: Eficiencia energética utilizando hormigón. Cemento-Hormigón nº 911, febrero 2008.
14. Plataforma Tecnológica Española del Hormigón: Seguridad frente al fuego utilizando hormigón. Cemento-Hormigón nº 916, julio 2008.
15. Plataforma Europea del Hormigón: Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón. Cemento-Hormigón nº 916, julio 2008.
16. Turmo, J.: Optimización estructural de edificios de alta inercia térmica y acústica realizados en hormigón. Universidad de Castilla-La Mancha. Marzo 2009.
17. Vega, L.; Tenorio, J.A.; Martín Consuegra, F.; Gaviria, M.J.: Investigación sobre el comportamiento del hormigón como material de alta inercia térmica. Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Septiembre 2007. ■

## Mesa Redonda

# LA LEY OMNIBUS A DEBATE

## DE LA ACREDITACIÓN OBLIGATORIA A LA DECLARACIÓN RESPONSABLE

Raquel Martín-Maestro Arranz - Coordinadora Editorial. Zuncho



➔ Julio Vaquero, Valentín Trijueque y Antonio Garrido.

*La Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, incorpora al Derecho español la Directiva 2006/123/CE de 12 de diciembre de 2006, relativa a los servicios en el mercado interior. Su enfoque es ambicioso pues trata de mejorar el marco global del sector servicios con el fin de aumentar la eficiencia, productividad y empleo en los sectores implicados, además de incrementar la variedad y calidad de los servicios disponibles tanto para las empresas como para los ciudadanos.*

*Esta Ley pretende que los principios regulatorios de las diversas actividades sean compatibles con las libertades básicas de establecimiento y de libre prestación de servicios, suprimiendo las barreras y reduciendo las trabas que restringen injustificadamente el acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.*

*De esta forma, se establece la necesidad de analizar en detalle los instrumentos de intervención de las Administraciones Públicas para que sean conformes con los principios de no discriminación, se simplifiquen los procedimientos, se eviten retrasos innecesarios y se reduzcan las cargas administrativas a los prestadores de servicios. Para que el sistema siga ofreciendo las mismas garantías a consumidores y usuarios de los servicios, se obliga a los prestadores de éstos a actuar con transparencia tanto respecto a la información que deben proporcionar como en materia de reclamaciones.*



## REPORTAJES

*Para alcanzar el objetivo de reformar significativamente el marco regulatorio no basta con establecer los principios generales que deben regir la regulación actual y futura de las actividades de servicios, sino que es necesario proceder a un ejercicio de evaluación de toda la normativa reguladora del acceso a las actividades de servicios y de su ejercicio, para adecuarla a los principios que establece la Ley 17/2009.*

*Esta revisión se efectúa en la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, indicando las adaptaciones que han de efectuarse en la normativa de rango legal, pero va aún más allá al extender estos principios a otros sectores no afectados en principio por la Directiva.*

*El Sector de la Construcción no escapa a esta revisión que efectúa la Administración, resultando modificado el artículo 14 de la LOE (Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación) relativo a las entidades y laboratorios de control de calidad de la edificación. La modificación ha consistido en ambos casos en mencionar que para el ejercicio de su actividad en todo el territorio español es suficiente la presentación, ante el organismo competente de la Comunidad Autónoma en la que tenga su domicilio social o profesional, de una declaración responsable en la que se declare el cumplimiento con los requisitos técnicos exigidos reglamentariamente.*

*Para regular cuales son estos requisitos técnicos exigibles, qué es exactamente una declaración responsable, ante quién se presenta y qué potestades u obligaciones tiene este organismo, el 31 de marzo de 2010 se aprobó el Real Decreto 410/2010 que además de establecer las cuestiones anteriores, modifica el artículo 4 del Código Técnico de la Edificación para evitar incongruencias reglamentarias.*

*Con el objetivo de acercar a los lectores de Zuncho el debate que ha suscitado esta nueva legislación en torno a la prestación de servicios de control de calidad la revista ha realizado una mesa redonda en la que han intervenido Antonio Garrido, Director de Calidad de la Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) y Valentín Trijueque, Consejero Delegado de INTEINCO y Vocal de la Junta Directiva de la Asociación de Entidades de Control de Calidad Independientes (AECCTI), actuando como moderador Julio Vaquero, Director General del Instituto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC) y director de Zuncho. El presente artículo recoge las principales opiniones expuestas en este encuentro.*



⇒ **D. Antonio Garrido**, Director de Calidad de la Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).



⇒ **D. Valentín Trijueque**, Consejero Delegado de INTEINCO y Vocal de la Junta Directiva de la Asociación de Entidades de Control de Calidad Independientes (AECCTI).

La modificación del artículo 14 de la Ley de Ordenación de la Edificación ha eliminado el sistema de acreditación autonómica que, hasta el 23 de abril del presente año, era obligatorio para los Laboratorios de Control de Calidad de la Edificación y Entidades de Control de Calidad. La sustitución de la acreditación por el requerimiento único de la declaración responsable ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que estén ubicadas sus instalaciones supone avances importantes. Por un lado, alivia a los laboratorios de cargas administrativas, inversiones y costes estimables en tiempo necesario para acometer la acreditación y, por otro, permite prestar servicios en todo el territorio del Estado. Con ello se elimina la barrera de la disparidad normativa entre Comunidades Autónomas. En este punto, los dos ponentes reunidos en la redacción de Zuncho –Antonio Garrido y Valentín Trijueque, destacaron que la situación que se daba con anterioridad al Real Decreto 410/2010 restaba competitividad a las empresas del sector. “Hasta la fecha, cada administración autonómica tenía potestad para introducir los requisitos que considerara necesarios para la obtención de la acreditación –afirmó Trijueque–, llegando incluso a entrar en el ámbito de las competencias profesionales, asumiendo unas competencias que nos les corresponden, al exigir una determinada titulación técnica al personal de los laboratorios o entidades de control. Esto sin duda era un obstáculo para la libre prestación de servicios”.

La declaración responsable debe ser presentada por cada laboratorio y entidad de control de calidad con carácter previo al inicio de su actividad. En ella se indica que el titular de dicho laboratorio o entidad de control se hace responsable de que dispone de los instrumentos y personal cualificado necesario para prestar unos servicios específicos (ensayos de materiales, controles, etc.).

Una vez presentada la declaración, el laboratorio o entidad pueden comenzar a prestar servicio en toda España.

## "La Ley Omnibus elimina trabas administrativas y mejora la competitividad empresarial"

### INSPECCIONES

Para comprobar que el sistema funciona, cada Comunidad Autónoma es libre de realizar inspecciones. En caso de incumplimiento de lo establecido en la declaración responsable, la administración autonómica podrá interponer los procesos de penas o multas que establezca para el caso.

Según el Director de Calidad de la Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Antonio Garrido, el equilibrio al que debe tender esta ley es al de los valores de libertad y seguridad. “No por facilitar el acceso a la prestación de servicios, por liberalizar, se debe perjudicar a la seguridad”, afirmó Garrido, que añadió: “la seguridad estructural no es la cuestión, porque la durabilidad ha creado las condiciones suficientes para que la seguridad de las estructuras haya pasado a un segundo plano”.

Para el Consejero Delegado de INTEINCO, Valentín Trijueque, la seguridad que ofrece el sistema no se ha visto modificada con la novedad de la declaración responsable, ya que “no por el hecho de que alguien te acredite, significa que todo lo vas a hacer bien”. “Sí se debe incidir –explicó Trijueque–, en que cada empresa ejerce su responsabilidad, y lo manifiesta en esa declaración, de acuerdo a su póliza de responsabilidad civil y a la acreditación de su sistema de calidad”.





## REPORTAJES



### ACREDITACIÓN VOLUNTARIA = COMPETITIVIDAD

La sustitución de la acreditación obligatoria por una declaración responsable, ha dado paso a la acreditación voluntaria, como una forma de distinguir a unas empresas de otras en el mercado. "La empresa que sea capaz de acreditar su sistema de calidad tanto por ENAC como por AENOR, tendrá más credibilidad que otra en el mercado", indicó Valentín Trijueque.

El precio suele determinar de forma mayoritaria la elección de una opción u otra, coincidieron ambos ponentes, sin embargo, destacaron que ya que la acreditación obligatoria se ha suprimido, la acreditación voluntaria constituye un factor destacado a la hora de distinguir las bonanzas de un laboratorio o entidad frente a



otro. En este punto, Antonio Garrido aconseja que se consulte la historia de una empresa antes de contratarla. "La supervivencia de una empresa en el mercado, a pesar de los cambios de regulación, da buena cuenta de si es buena en su ámbito de trabajo o no", afirmó.

También se convertirá en una práctica común para las Direcciones Facultativas, la consulta telefónica o la visita a las instalaciones de los laboratorios para poder conocer exactamente qué tipo de ensayos realizan y a qué área pertenecen, ya que "con el actual registro del Código Técnico de Edificación (CTE) sólo se sabe si han presentado la declaración responsable o si cuentan con una acreditación voluntaria", indicó Julio Vaquero.

En la relación a si la ausencia de acreditación obligatoria supondrá una reducción del coste del trabajo final, los ponentes reunidos en Zuncho coincidieron en que "no tiene por qué". Según éstos, lo caro en un laboratorio o en una entidad de control de calidad es disponer de los equipos, no la acreditación en sí, por lo que la inversión seguirá latente en este tipo de empresas de servicios. La disyuntiva existe en si estas compañías seguirán acreditándose o no. Un ahorro de costes en la acreditación voluntaria puede significar una mayor competitividad en precio, aunque también un mensaje algo difuso para el mercado en torno al servicio que se contrata.

Según Julio Vaquero, "si la Administración no estimula la acreditación voluntaria, no se estimulará la excelencia de las empresas. Una empresa excelente es aquella que compite por ofrecer el mejor servicio, no únicamente al mejor precio y en el mercado el contratante debe poder acceder fácilmente a una información clara que distinga qué empresa es la excelente frente a la mediocre".

***"Con un sencillo trámite las entidades y laboratorios de control pueden ejercer su actividad en toda España"***

## DEMOSTRACIÓN DE INDEPENDENCIA

El debate sobre la demostración de la independencia de las entidades que intervienen en la contratación de una obra no es nuevo. Asociaciones del sector como la Federación Nacional de Asociaciones de Laboratorios Acreditados para la Construcción (FENALAC) y la patronal de entidades de control, AECCTI, llevan años apostando por la total separación entre aquellos que elaboran los proyectos, de los que los controlan y los que los dirigen, es decir, la independencia de las entidades de control de las ingenierías. "Por ahí vendría la independencia real", explica el Vocal de la Junta Directiva de AECCTI, Valentín Trijueque, quien afirma no entender "cómo todas las administraciones públicas del Estado permiten que a los concursos de asistencia técnica, de entidades de control, se puedan presentar ingenierías".

En el Real Decreto 410/2010 figura la obligatoriedad de demostrar la independencia en la declaración responsable que deben presentar laboratorios y entidades de control.

Sin embargo, en este debate, la independencia también se plasma en el control de los aparatos e instrumentos de medición. Según Julio Vaquero, "la ventaja de la acreditación es que otra entidad independiente hace las inspecciones y mide los aparatos, determinando si se ajustan a la norma". Con el sistema de la declaración responsable, salvo que la administración haya inspeccionado una instalación, el contratante debe confiar en la profesionalidad y buena voluntad de su titular, ya que no media un documento acreditativo de que sus instrumentos y sus prácticas se ajustan a la ley.

Para Antonio Garrido, "la independencia que se paga no se puede considerar independencia como tal", por lo que incluso la independencia asociada a la acreditación voluntaria queda en entredicho.

## CONCLUSIONES

La Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio introduce mejoras en la competitividad administrativa de los laboratorios y las entidades de

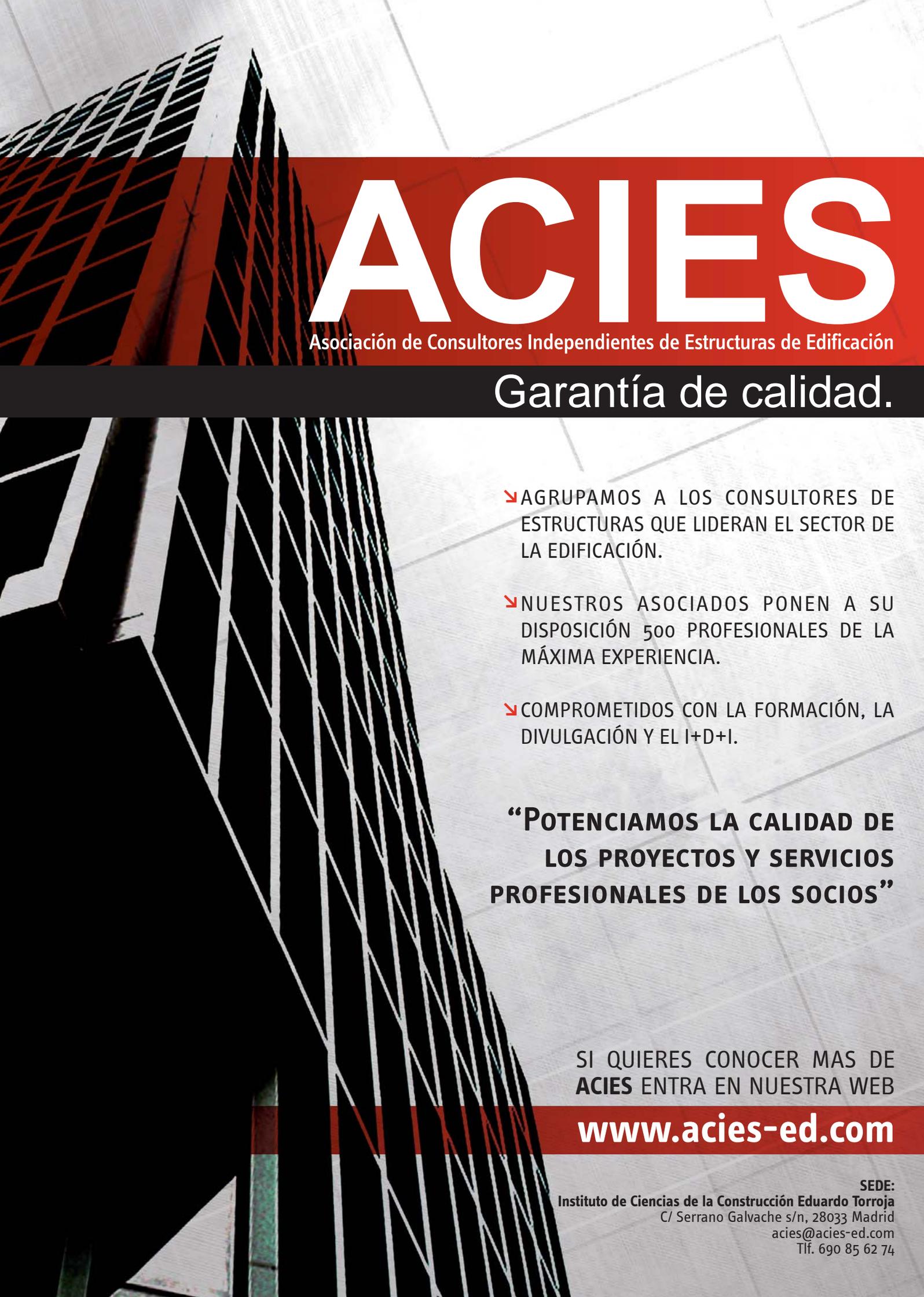
## "La acreditación voluntaria constituye una distinción de la excelencia empresarial"

control de calidad al hacer realidad un único mercado español, en cuanto a normativa se refiere. Para Valentín Trijueque, "el Estado debe tener los medios necesarios para vigilar el cumplimiento de esta Ley e impedir que, aguas abajo, las Comunidades Autónomas vuelvan a la situación anterior con regulaciones independientes que lo único que hacen es mermar la competitividad de las empresas españolas".



Por otra parte, el nuevo sistema puede introducir algunas perversiones como el intrusismo y la falta de profesionalidad en este tipo de empresas. Las inspecciones pueden funcionar como un mecanismo corrector, un punto de equilibrio entre los valores de seguridad y libertad que indicaba Antonio Garrido. Sin embargo, se echa de menos un estímulo en positivo por parte de las Administraciones Públicas para fomentar la excelencia en torno al control de calidad.

La acreditación voluntaria constituye un valor añadido, un plus de credibilidad, para aquellas empresas que apuestan por la competitividad a través de la calidad de sus servicios. El mercado español de la construcción tiene la experiencia suficiente como para saber reconocer el valor de la acreditación. ■



# ACIES

Asociación de Consultores Independientes de Estructuras de Edificación

Garantía de calidad.

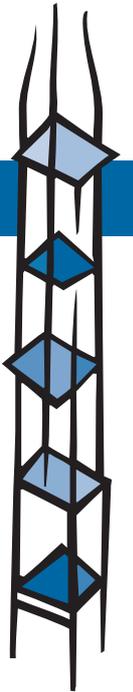
- AGRUPAMOS A LOS CONSULTORES DE ESTRUCTURAS QUE LIDERAN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN.
- NUESTROS ASOCIADOS PONEN A SU DISPOSICIÓN 500 PROFESIONALES DE LA MÁXIMA EXPERIENCIA.
- COMPROMETIDOS CON LA FORMACIÓN, LA DIVULGACIÓN Y EL I+D+I.

**“POTENCIAMOS LA CALIDAD DE  
LOS PROYECTOS Y SERVICIOS  
PROFESIONALES DE LOS SOCIOS”**

SI QUIERES CONOCER MAS DE  
ACIES ENTRA EN NUESTRA WEB

**[www.acies-ed.com](http://www.acies-ed.com)**

SEDE:  
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja  
C/ Serrano Galvache s/n, 28033 Madrid  
[acies@acies-ed.com](mailto:acies@acies-ed.com)  
Tlf. 690 85 62 74



## GRIFADO DE BARRAS

**Eduardo Gimeno Fungairiño, Daniel Bianchi Munuera** - Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. NB35 Ingeniería<sup>1</sup>.

**E**n las múltiples visitas que se han realizado a diversas obras de la geografía española, se han detectado unas incidencias repetitivas en todas y cada una de ellas, sin excepción, que vamos a intentar describir en este artículo.

Se trata de errores de colocación de las armaduras en pilares y muros, posteriores al replanteo de las mismas y, en consecuencia, al grifado (doblado) de las barras.

Muy a pesar de lo que se pueda pensar... «todas las barras se pueden grifar, independientemente de su diámetro; es sólo cuestión de que la "grifa" sea lo suficientemente larga y que existan suficientes operarios como para subirse en el extremo contrario»... el doblado y el desdoblado en obra de las barras ha de ajustarse a unos requisitos mínimos para evitar que se produzcan daños permanentes.

**El grifado de las barras está inicialmente previsto para compatibilizar el solape de las armaduras**, por ejemplo, en el extremo de un pilar. Sin embargo, en la práctica se emplea para solucionar problemas en la posición final de las barras, muchos de los cuales se podrían haber evitado fácilmente.

Las principales causas de estas diferencias, que provocan que las armaduras no se encuentren en la situación prevista, suelen ser las siguientes:

1. Errores de replanteo del pilar.
2. Problemas con la disposición de los separadores en el pilar que no evitan, o incluso ocasionan, movimientos de la armadura durante el proceso de hormigonado.
3. Mala ejecución de la reducción en cabeza del pilar.

Sea cual fuese el motivo de los indicados anteriormente, el problema se detecta una vez que se ha hormigonado el forjado de la planta y se ha procedido a marcar con azulete el replanteo del pilar.

La primera solución que se practica en todas las obras es el grifado de las barras de forma indiscriminada; tanto como se necesite, sin regirse por ningún criterio o procedimiento y, por supuesto, sin establecer un máximo de tolerancia. Esta forma de proceder, transmitida de una obra a la siguiente y adoptada por los operarios como una solución "de toda la vida", repercute negativamente en los siguientes factores:

- El funcionamiento del armado, al que se le imponen unas tensiones residuales debidas al grifado excesivo de la barra que pueden, incluso, producir fisuras o fracturas en ella. Esta última, aunque sea paradójico, es la situación ideal, pues permite detectar el fallo y tratar de solucionarlo mediante la colocación de una armadura adicional. Si no hay roturas o fisuras aparentes, quedará hormigonada una barra con su sección plastificada y una capacidad mecánica reducida.

***"El doblado de barras debe tener en cuenta lo indicado en la EHE"***

<sup>1</sup> Socia de ACIES (Asociación de Consultores Independientes de Estructuras de Edificación).



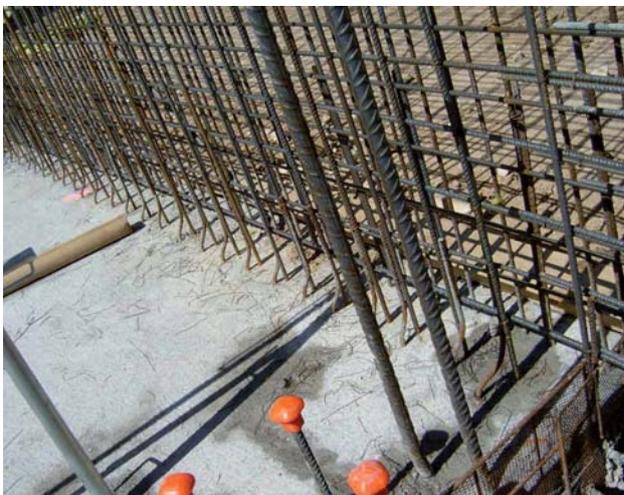
## SOLUCIONES TÉCNICAS



- La transmisión de cargas entre barras solapadas, insuficiente o ineficaz al perderse la continuidad entre sus ejes, o quedar éstos excesivamente separados.
- El hormigón, al producirse una concentración de tensiones y unos esfuerzos transversales no previstos que pudieran,

incluso, producir la expulsión del recubrimiento (*spalling*).

- Y otros tan básicos como la durabilidad por la falta de recubrimiento de la armadura en aquellos casos en los que ésta queda al límite del replanteo.



Comencemos por definir qué **entendemos por un grifado correcto**. El objetivo principal es la transmisión de la carga de cada barra a su par, y que ésta se produzca con la mínima variación posible. Para ello, es recomendable que la transición de las barras tenga una pendiente suave, inferior a 1:6 (horizontal/vertical), para evitar que se puedan producir empujes horizontales de consideración.

En el diagrama de esfuerzos de la Figura 1 se representan los estados tensionales a los que se ven sometidas las barras en función del ángulo de grifado. Los casos ana-

## "La pendiente de grifado no debe ser superior a 1:6"

lizados son, de inferior a mayor, los correspondientes a ángulos de grifado de 80° (1:6), 45° y 30°. Se observa claramente que las tensiones a las que se somete la barra, tanto de compresión como de tracción (muchas de ellas residuales), se triplican en función del grifado realizado.

Aún así, y por mucho que se entienda que el grifado "correcto" sea la solución a adoptar y la que se ejecute de forma habitual en obra, deberíamos recurrir a lo que indica la Instrucción EHE-08 al respecto en su artículo 69.5.2.2 Empalmes por solapo:

*"Este tipo de empalmes se realizará colocando las barras una al lado de otra, dejando una separación entre ellas de  $4\varnothing$  como máximo. Para armaduras en tracción esta separación no será menor que la prescrita en Art 69.4.1."*

Según esto, numerosos grifados serían evitables o, más concretamente, **numerosos grifados mal ejecutados podrían evitarse en obra**, ya que no serían necesarios en la mayoría de los casos. Para el resto de ellos, en los que debamos recurrir al grifado de barras, habrá que tener presente la pendiente máxima de 1:6 al ejecutarlo.

Cómo se debe actuar en aquellos casos en los que se exceda la separación máxima de 4 diámetros que señala la EHE-08, el grifado no nos proporcione la solución adecuada, o en el caso de hacerlo suponga el daño irreparable de la armadura. La recomendación más juiciosa es la de proceder al "pinchado" de nuevas barras entre cada par de barras a solapar, de forma que se reduzca la distancia entre ellas y se favorezca la transmisión de esfuerzos. Esta solución no es trivial, ya que requerirá un análisis técnico e individualizado del estado definitivo propuesto, debiendo incrementar en esa zona la armadura transversal.

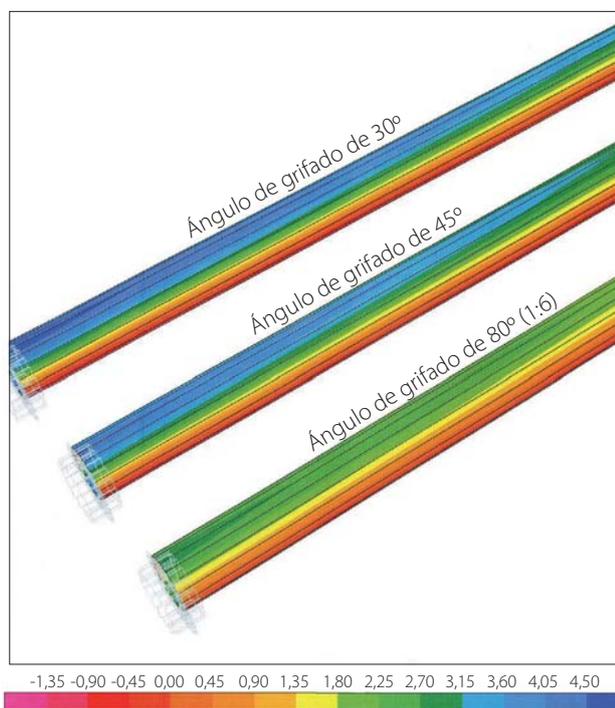


Figura 1.- Estados tensionales de barras según ángulo de grifado.

Otro de los aspectos a comentar es el ángulo de grifado o doblado de las barras. Para ello, debe atenderse a lo indicado en la Instrucción EHE-08 en su artículo 69.3.4. Doblado. En dicho artículo, además de indicar el diámetro mínimo de los mandriles en función del tipo de acero, tipo de doblado y diámetro de la barra, se da una indicación a tener muy en cuenta:

*"No se admitirá el enderezamiento de codos, incluidos los de suministro, salvo cuando ésta operación puede realizarse sin daño, inmediato o futuro para la barra correspondiente."*

*"Si resultase imprescindible realizar desdoblados en obra, como por ejemplo en el caso de algunas armaduras en espera, éstos se realizarán de acuerdo con procesos y criterios de ejecución contrastados, debiéndose comprobar que no se han producido fisuras o fracturas en las mismas. En caso contrario se procederá a la sustitución de los elementos dañados. Si la operación de desdoblado se realiza en caliente, deberán adoptarse las medidas adecuadas para no dañar el hormigón con las altas temperaturas."*



## SOLUCIONES TÉCNICAS



Es muy común ver cómo en obra, aparte de realizar un grifado inadecuado, posteriormente se procede en muchas de ellas al “desgrifado” de barras para rectificar excesos o enderezar barras grifadas de forma errónea, o proceder a un nuevo grifado prácticamente en la misma sección. Como se ha comentado, visto y mencionado en la Instrucción, esta práctica es muy perjudicial, ocasionando daños que producen la “eliminación” de dichas barras al quedar seriamente comprometidas sus prestaciones mecánicas.

No existe un procedimiento general y acordado para efectuar el desdoblado en obra, pero sí algunas **recomendaciones de carácter práctico**:

El desdoblado debe efectuarse en frío y nunca en caliente a menos que se tengan absolutamente contrastado el procedimiento y no se afecte al hormigón que rodea la armadura.

La operación debe hacerse de forma continua, sin golpes o esfuerzos alternativos y de una sola vez, no admitiendo correcciones en sentido contrario si no se ha alcanzado la orientación necesaria (es mejor perder algo de alineación que producir la plastificación y rotura de la barra en la zona de desdoblado).

***"El abuso en obra del doblado y desdoblado de forma indiscriminada puede «eliminar» numerosas barras"***

La barra que vaya a desdoblarse debe apoyarse sobre un bulón metálico, con el diámetro adecuado para que no se formen dos eses”.

Hay que evitar el efecto de entalla del hormigón, pues el esfuerzo cortante que se produce es tan grande que no solo puede dañar la barra sino romperla. Esta recomendación es tanto más importante cuanto mayor es el diámetro de la armadura.

En el caso de esperas o de armaduras de continuidad, lo más recomendable es disponer un berenjeno o un porexpan en la zona en la que vaya a efectuarse el desdoblado, de forma que pueda retirarse una vez endurecido el hormigón y dejar el espacio suficiente para efectuar el desdoblado.

Por último, pero no por ello menos importante, las esperas deben disponerse donde haya espacio suficiente para ello, en caso contrario es recomendable emplear otro sistema para el empalme de las armaduras (empalmes mecánicos o soldadura). En el despiece de la armadura hay que indicar esta circunstancia y pedir un diámetro de doblado superior al indicado en la tabla 69.3.4 de la Instrucción EHE-08, al menos  $6\emptyset$  para las barras de diámetro inferior a 20 mm y  $10\emptyset$  para las de tamaño superior.

En conclusión, se puede señalar que el grifado de barras sí se permite, pero con las indicaciones dadas en la EHE-08 sobre el ángulo de doblado, y con la recomendación de utilizar una pendiente inferior a 1:6, siempre y cuando la separación entre par de barras a solapar sea superior a los  $4\emptyset$  indicados y aprobados en la mencionada Instrucción.



Grifado correctamente ejecutado.



Grifado mal ejecutado.



## Servicios de Asesoramiento Técnico en Construcción:

- ◆ Project Management
- ◆ Estudio del estado de estructuras existentes, patología y rehabilitación
- ◆ Supervisión técnica y económica de proyectos
- ◆ Asesoramiento, técnico, económico y constructivo en la adjudicación de obras a contratistas
- ◆ Control del montaje y pruebas de recepción de instalaciones
- ◆ Estudios y asesoría geotécnica
- ◆ Control técnico de ejecución de obras
- ◆ OCT
- ◆ Estudios y ensayos acústicos

►► más información

[www.inteinco.es](http://www.inteinco.es)

 **INTEINCO**

902 10 30 44

IMPLANTACIÓN A NIVEL NACIONAL



## EDUARDO GIMENO SE INCORPORA AL CONSEJO ASESOR DE ZUNCHO

Eduardo Gimeno Fungairiño, Consejero Delegado de la consultora NB35 y miembro de la Junta Directiva de la Asociación de Consultores Independientes de Estructuras de Edificación (ACIES), ha entrado a formar parte del Consejo Asesor de la revista Zuncho.

Eduardo Gimeno ha desarrollado numerosos proyectos y obras singulares que por su diseño, tipología estructural y proceso constructivo, han sido merecedoras de importantes galardones como los Premios Construmat o los Premios FAD de Barcelona, en cinco y tres ediciones respectivamente. Entre sus proyectos destacan el Pabellón de España en la Expo Zaragoza 2008, las Torres Caixa Fórum en Barcelona, la reconstrucción de la Cúpula del Museo de Dalí en Figueras (Gerona) y la Estación de Castellón de la Plana.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid, Eduardo Gimeno posee además el Título del Programa de Desarrollo de Alta Dirección de Empresa del IESE de Barcelona e imparte conferencias y ponencias sobre temas técnicos y administrativos relacionados con la ingeniería.

Eduardo Gimeno se incorpora al Consejo Asesor de Zuncho con el objetivo de compartir sus amplios conocimientos



en el ámbito de la ingeniería estructural. En Zuncho le damos la bienvenida deseándole una larga y fructífera colaboración.

## JOSÉ URIOL IBARZ, PRESIDENTE DE ANEFHOP

La Asamblea General de la Asociación Nacional Española de Hormigón Preparado (ANEFHOP), ha nombrado Presidente a José Uriol Ibarz, director de Materiales de Financiera y Minera (FYM), quien sustituye en el cargo a Jaime Sivatte.



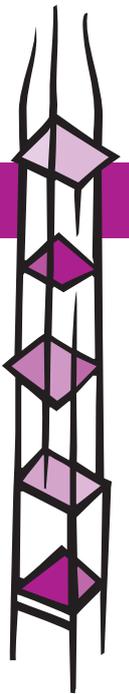
Con una experiencia de más de 25 años en la industria del hormigón preparado, José Uriol ha desarrollado su carrera profesional en empresas líderes del sector como FYM, filial española del Grupo Italcementi, a la que se incorporó en el año 1999.

Según ANEFHOP, entre los objetivos del nuevo Presidente se encuentra el reforzar el posicionamiento de la asociación como organización referente del sector, fomentando un diálogo fluido con las administraciones públicas y los grupos de interés, especialmente en materia de medio ambiente e innovación.

Fundada en el año 1968, ANEFHOP integra a 509 empresas fabricantes de hormigón que reúnen a un total de 1.706 plantas y representan el 80 % de la producción nacional. El sector da empleo a unos 22.000 trabajadores.

## LOS AUTÓNOMOS DE LA CONSTRUCCIÓN PUEDEN SOLICITAR DESDE SEPTIEMBRE LA TARJETA PROFESIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN

El Patronato de la Fundación Laboral de la Construcción ha aprobado que los trabajadores autónomos del sector puedan también ser titulares de la Tarjeta Profesional de la Construcción (TPC). Para este colectivo





## NOTICIAS

la TPC tendrá carácter voluntario, mientras que para los trabajadores del Régimen General será obligatoria a partir del 1 de enero de 2012.

De este modo, los trabajadores autónomos del sector de la construcción, tanto los acogidos al Régimen Especial de Trabajadores Autónomos (RETA), como los profesionales colegiados, pueden solicitar la nueva acreditación a partir de septiembre.

La TPC es un documento que identifica al trabajador formado en materia de prevención de riesgos laborales, al mismo tiempo que informa de su cualificación profesional y experiencia en el sector de la construcción. La implantación de la TPC, a través de la Fundación Laboral de la Construcción, constituye un gran avance en la profesionalización del sector, evitando el intrusismo profesional que hasta ahora le ha caracterizado.

Para obtener la TPC se debe realizar, al menos, una de las acciones formativas homologadas en materia de prevención de riesgos laborales que establece la Fundación Laboral de la Construcción y se imparten, bien en centros educativos homologados o bien en la propia Fundación. Se puede consultar la relación de centros y trámites para conseguir la TPC en la web [www.trabajoenconstruccion.com](http://www.trabajoenconstruccion.com).

## EL PRÍNCIPE DE ASTURIAS PRESIDE EL COMITÉ DE HONOR DEL 11º SIMPOSIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Sevilla acogerá del 13 al 15 del mes de octubre el 11º Simposio Internacional de Pavimentos de Hormigón, bajo el lema "La respuesta a los nuevos desafíos". En esta edición, el Comité de Honor está presidido por S.A.R. el Príncipe de Asturias, Felipe de Borbón, mientras que las vicepresidencias las ocupan el ministro de Fomento, José Blanco, el presidente de la Junta de Andalucía, José Antonio Griñán, el presidente de la Diputación de Sevilla, Fernando Rodríguez Villalobos y el alcalde de Sevilla, Alfredo Sánchez Monteseirín.

Durante tres días, más de 600 especialistas de 28 países —entre los que destacan, además de los españoles, representantes de Alemania, Bélgica, Francia, Estados Unidos, Sudáfrica, Australia y Japón— analizarán los principales retos a los que se enfrentan los

pavimentos de hormigón en la actualidad, tales como el respeto al medio ambiente, el aumento del precio del carburante, la contribución de los pavimentos de hormigón a la sostenibilidad de la red para los incrementos de transporte pesados, la seguridad vial y la política de infraestructuras, entre otros.

Organizado por la Asociación Europea de Pavimentos de Hormigón, EUPAVE, la Agrupación de fabricantes de Cemento, Oficemen, el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, IECA, y la Asociación de Cementos de Andalucía, AFCA, el Simposio se consolida como un referente desde el punto de vista científico y de la aplicación de nuevas tecnologías, donde se presentan los avances producidos en la construcción de pavimentos de hormigón.

Desde su primera edición, celebrada en París en 1969, este encuentro se ha constituido en la cumbre para la creación de una red mundial de expertos, en la que trabajan coordinadamente las administraciones públicas, centros de investigación, empresas constructoras, suministradores y asociaciones internacionales.

Según el Presidente de EUPAVE y Director General de Oficemen, Aniceto Zaragoza, el objetivo de esta edición del Simposio es "conseguir que las sesiones técnicas no sean un mero trasvase de conocimientos, prácticas y nuevas ideas, sino que el Simposio sea un punto de partida para el debate y la posterior consolidación de una nueva red de pavimentos de hormigón, que facilite la vida de los ciudadanos y su progreso, y que sea respetuosa con el medio ambiente y responsable con las generaciones venideras".

Por ello, además de las sesiones técnicas, los participantes tendrán la posibilidad de visitar proyectos relevantes realizados en hormigón, tales como la variante de Marchena, la autopista Sevilla-Cádiz, el Puente de Cádiz, los puertos de Huelva y Algeciras, o el recinto ferial de Écija. En esta localidad visitarán una piscina romana del siglo I cuyo fondo fue ejecutado con un hormigón puzolánico de la época.

# AENOR

www.aenor.es ■ 902 102 201 ■ comercial@aeonor.es

Catálogo de aceros + normas UNE

## Dos publicaciones clave

Para localizar, conocer y seleccionar el acero más adecuado para cada caso



### Catálogo de aceros. Designación de aceros según normas UNE

4ª edición

Una completa base de datos con todos los aceros normalizados.

Presenta grandes ventajas:

1. Acceso a la ficha de 2 431 aceros.
2. Recoge las especificaciones de los aceros normalizados.
3. Localizar rápidamente los aceros por diversas opciones de búsqueda.
4. Conocer la interrelación entre los aceros por distintos campos.
5. Incluye el Catálogo de normas UNE.

De cada acero conocerá:

- Designaciones.
- Norma UNE.
- Uso previsto.
- Composición química.
- Características mecánicas.

2009 • DVD • 60 €

ISBN: 978-84-8143-659-4



### Normas UNE vigentes del Catálogo de aceros

4ª edición

Agrupar el texto completo de las 136 normas UNE vigentes citadas en el Catálogo de aceros de cuyo contenido se han extractado y resumido las principales características de los aceros recogidos en las fichas que figuran en dicha publicación.

Complemento indispensable del Catálogo de aceros, ofrece a los técnicos la posibilidad de adquirir un conocimiento detallado de las especificaciones de los aceros, facilitando la selección del acero más adecuado en cada caso.

2009 • CD-ROM • 136 normas UNE • 92,8 €

ISBN: 978-84-8143-664-8

ADQUISICIÓN  
¡OFERTA!  
CONJUNTA



Catálogo de aceros.  
Designación de aceros  
según normas UNE



Catálogo de aceros.  
Designación de aceros  
según normas UNE

115 €

AENORediciones

# FERRA PLUS

CALIDAD  
FIABILIDAD  
GARANTÍA

**FerraPlus, más que ferralla certificada**

**Empresas en posesión de la marca**

ARMACENTRO, S.L. • ARMALLA, S.L. • ARTEPREF, S.A.U. • DESÁREO MUNERA, S.L. • COFEMA, S.A. • ELABORACIÓN Y MONTAJES DE ARMADURAS, S.A. • EURDARMADURAS, S.L. • FERRALLA GASTÓN, S.A. • FERRALLADOS CORE, S.A. • FERRALLAS ALBACETE, S.A. • FERRALLAS JJP MAESTRAT, S.L. • FERRALLATS ARMANGUÉ, S.A. • FERROBÉRICA, S.L. • FERROFET CATALANA, S.L. • FERROINSA, S.A. • FERROS ILURO, S.L. • FERROS LA POBLA, S.A. • FORJADOS RIOJANOS, S.L. • FORMAC, S.A. • HIERROS AYORA, S.L. • HIERROS DEL NOROESTE, S.L. • HIERROS DEL PIRINEO, S.A. • HIERROS GODOY, S.A. • HIERROS HUESCA, S.A. • HIERROS SÁNCHEZ, S.L. • HIERROS SANTA CRUZ SANTIAGO, S.L. • HIERROS URIARTE, S.L. • HIERROS Y AGEROS DE MALLORCA, S.A. • HIERROS Y MONTAJES, S.A. • HIJOS DE LORENZO SANGHO, S.A. • JESÚS ALONSO RODRÍGUEZ, S.L. • LENUR FERRALLATS, S.L. • MANUFACTURADOS FÉRRICOS, S.A. • PENTACERO HIERROS, S.L. • PREFORMADOS FERROGRUP, S.A. • S. ZALDÚA Y CÍA, S.L. • SINASE FERRALLA Y TRANSFORMADOS, S.L. • TÉCNICAS DEL HIERRO, S.A. • TEINCO, S.L. • TRANSFORMADOS Y FERRALLA MORAL, S. L.

