

**REPORTAJE**  
*Centro de Artes Escénicas de la  
Comunidad de Madrid*

**FERROTECNIA**  
*La mejora continua en los aceros corrugados*

**SOSTENIBILIDAD**  
*Los residuos de construcción y demolición*

# AENOR

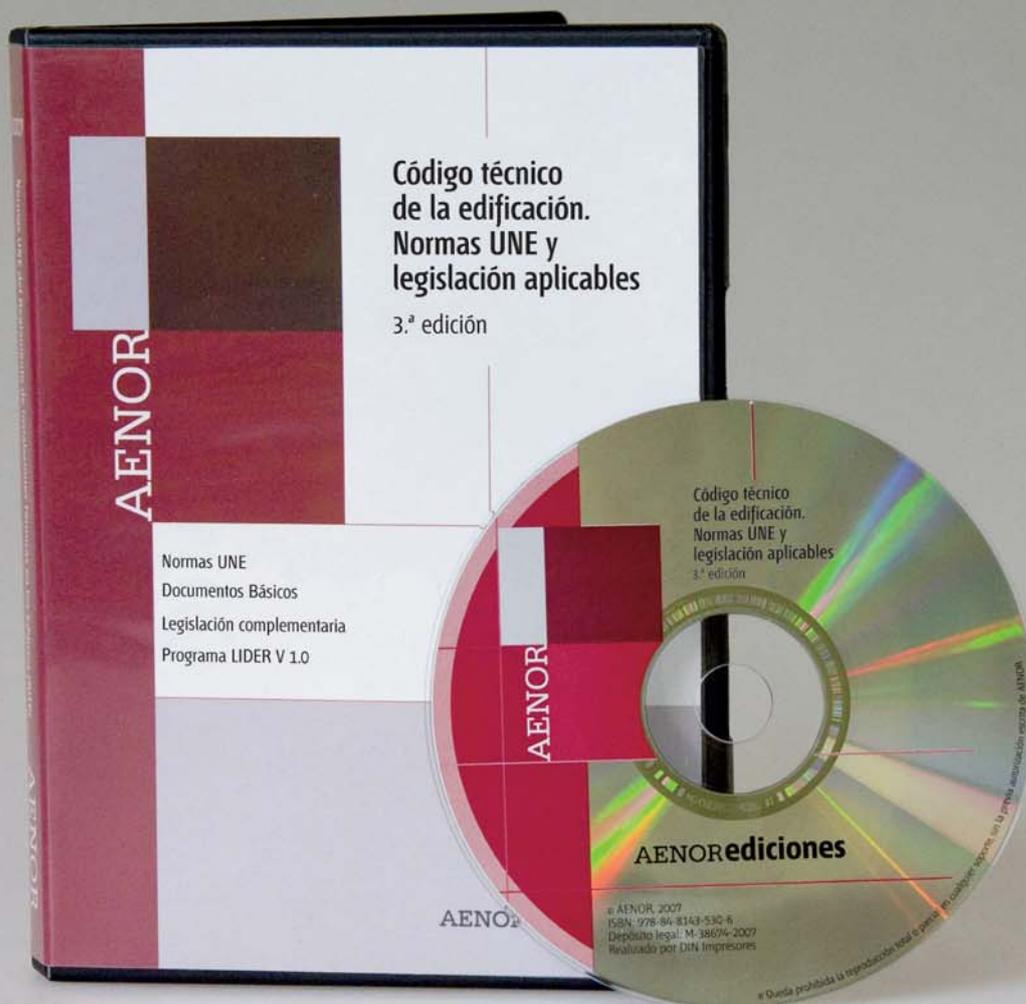
www.aenor.es ■ 902 102 201 ■ comercial@aeor.es

nueva publicación

El único manual que contiene el texto completo del CTE, más de 600 Normas UNE citadas en los DB, incluyendo las referenciadas en el nuevo "DB-HR Protección frente al ruido", y toda la legislación complementaria al CTE.

Una herramienta que permite el acceso rápido a los textos de todas las normas UNE referenciadas en sus DB del CTE que desarrollan las especificaciones y los métodos de ensayos de materiales, así como los datos y procedimientos de cálculo necesarios en la redacción de proyectos y la construcción de los edificios.

2008 • DVD • 127,60 €  
ISBN: 978-84-8143-574-0



## CTE + Normas UNE

### Incluye DB-HR Protección frente al ruido

Buscar, encontrar y comprar...  
SUS LIBROS EN UN CLICK!

**5% de descuento**  
**www.aenor.es**

EL MARCO NORMATIVO  
A CUMPLIR EN  
CUALQUIER PROYECTO Y  
OBRA DE CONSTRUCCIÓN

AENOR ediciones

# 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.

## DIRECTOR DE LA PUBLICACIÓN:

Julio José Vaquero García

## ASESORES:

Juan Jesús Álvarez Andrés  
Ignacio Cortés Moreira  
Antonio Garrido Hernández  
Enric Pérez Plá  
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.*

## 2 REPORTAJES

- Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid.



## 13 FERROTECNIA

- La mejora continua en los aceros corrugados.
- CELSAMAX. Un nuevo impulso a las armaduras de hormigón.

## 26 SOSTENIBILIDAD

- Los residuos de construcción y demolición.
- Valorización y gestión medioambiental.

## 46 NOTICIAS

- X Conferencia Internacional sobre Materiales y Tecnologías no Convencionales.
- Publicaciones:
  - Hormigón de altas prestaciones.
  - Uniones en estructuras prefabricadas.

# CENTRO DE ARTES ESCÉNICAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

**Mercedes Madrid Ramos** - Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Dragados S.A.

**Antonio Tabera Atienza** - Arquitecto. Dragados S.A.

**Juan Jesús Álvarez Andrés** - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados S.A.

### INTRODUCCIÓN

El Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid, también conocido como "Teatros del Canal", responde a la necesidad de disponer de unos locales modernos, funcionales y versátiles para el desarrollo de la actividad teatral en la ciudad de Madrid, carente hasta el momento de instalaciones adecuadas por cuanto que los teatros existentes previamente no están a la altura de los tiempos actuales en cuanto a funcionalidad, confort, visibilidad o acústica.

El proyecto de los nuevos teatros fue promovido por la Comunidad de Madrid, con el patrocinio del Canal de Isabel II, y a tal fin se convocó en junio del año 2000 un concurso que fue ganado por el arquitecto Juan Navarro Baldeweg. El proyecto de la compleja estructura del edificio fue desarrollado por el ingeniero de caminos Julio Martínez Calzón y su equipo de MC-2 Estudio de Ingeniería, y la obra ha sido construida por una UTE formada por Dragados y OHL.

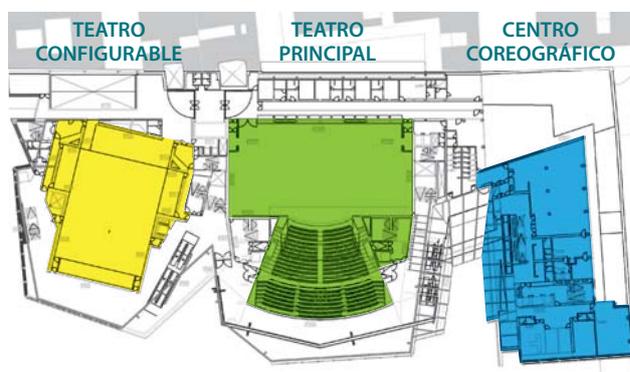


Figura 1 - Planta general.

Próxima la obra a su fin, previsto para la segunda mitad del presente año 2008, el resultado final no sólo cumple el objetivo marcado de dotar a Madrid de unos teatros a la altura que le corresponde, sino que es una interesante obra de arquitectura y, sobre todo, una magnífica, complicada y atrevida obra de ingeniería.

### DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

La nueva construcción se encuentra en una parcela rectangular, alargada, colindante por sus lados sur y oeste con edificios de viviendas, y con fachada a la calle por los lados este y norte. Este último lado, el que da al norte, es la fachada principal. Ocupa una parcela de 8.750 m<sup>2</sup>, la superficie construida es de 35.200 m<sup>2</sup> y la superficie útil es de 29.400 m<sup>2</sup>.

El edificio consta de tres partes claramente diferenciadas en todos los sentidos: arquitectónica, funcional y estructuralmente; son el Teatro Configurable, el Teatro Principal y el Centro Coreográfico (Figura 1). Mirando la fachada principal (figuras 2 y 3), y de izquierda a derecha, se ven en ese orden; quedan perfectamente diferenciados puesto que son volúmenes separados unidos solamente por su parte dorsal, la más lejana a la fachada principal. Adicionalmente, bajo rasante, están conectados entre sí puesto que comparten el espacio común de aparcamientos, almacenes y demás dependencias de los sótanos.



Figura 2 - Vista general. De izquierda a derecha, Teatro Configurable, Teatro Principal y Centro Coreográfico.

El Teatro Configurable es una sala de uso polivalente, adaptable en función de las necesidades impuestas por el espectáculo de que se trate. El escenario puede situarse al fondo o en el centro y a su vez las gradas escamoteables se adaptan a la disposición del escenario. Como consecuencia el aforo es variable entre 450 y 694 espectadores. El acceso al edificio, por planta baja, es un espacio abierto sin pilares ni elementos estructurales que supongan algún tipo de barrera visual, de modo que el techo es un gran voladizo aparentemente sustentado sólo por un lado, el opuesto a la entrada. Realmente está colgado de las plantas superiores, configurando un complejo funcionamiento estructural que se describe posteriormente.

El Teatro Principal se encuentra en el centro del conjunto. Consta de un gran escenario y dos niveles de gradas, inferior y anfiteatro, con capacidad total para 928 espectadores. Adicionalmente, y por encima de la zona destinada a público, existe una sala de ensayos de 700 m<sup>2</sup>. Como en el Teatro Configurable la

entrada es diáfana y exenta de pilares, con la misma disposición estructural antes comentada, y con un voladizo aparente de 18 m que condiciona el mecanismo resistente de todo el edificio.

El Centro Coreográfico está dedicado a la danza y consta de salas de baile, camerinos, salas de entrenamiento, aulas y oficinas. Aunque también tiene algunas singularidades es un edifi-



Figura 3 - Recreación virtual de la obra terminada.



## REPORTAJES

cio claramente más sencillo que los anteriores, tanto en lo que respecta al diseño arquitectónico como en su funcionamiento estructural.

Las fachadas de los tres cuerpos que componen el conjunto son muros cortina de vidrio que se cuelgan de la parte superior de la estructura de los edificios, lo que supone añadir carga en zonas sin soportes al suelo, como se ha comentado anteriormente al hablar de las zonas de entrada a los teatros.

La zona trasera de los edificios, común a los tres, estructuralmente es convencional. Destaca el lucernario superior, que recorre de lado a lado esta zona, y que no sólo permite la entrada de luz natural en una zona que está adosada a los bloques de viviendas existentes, sino que disminuye la sensación de confinamiento al elevarse en forma de bóveda apuntada aumentando el volumen interior y la superficie acristalada (Figura 4).

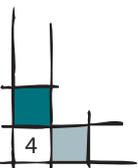
## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La complejidad de las formas de los edificios, las luces relativamente grandes de algunos de sus elementos y, sobre todo, el hecho de disponer en los dos teatros unos grandes espacios de entrada desde el nivel de calle sin soportes, con el techo colgado del resto de la estructura, han exigido emplear, por parte del proyectista de la estructura, soluciones resistentes singulares y hasta audaces, además de exigir, por una parte, un proceso de cálculo y dimensionamiento estructural complicado y minucioso y, por otra, procedimientos constructivos de indudable complejidad.

El proyecto ha acudido a diversas soluciones estructurales para resolver los diferentes problemas resistentes. Así, aunque predomina el hormigón armado en forma de losas y pantallas, también se ha empleado el hormigón pretensado (en las losas de mayor luz), y estructuras mixtas (vigas



Figura 4 - Zona dorsal y lucernario superior.



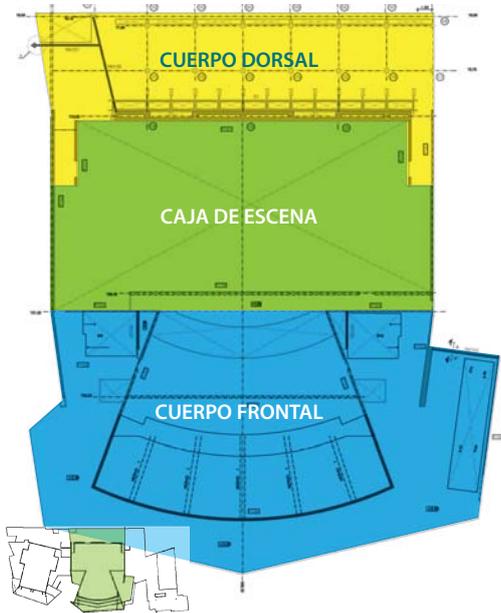


Figura 5 - Teatro Principal. Planta.

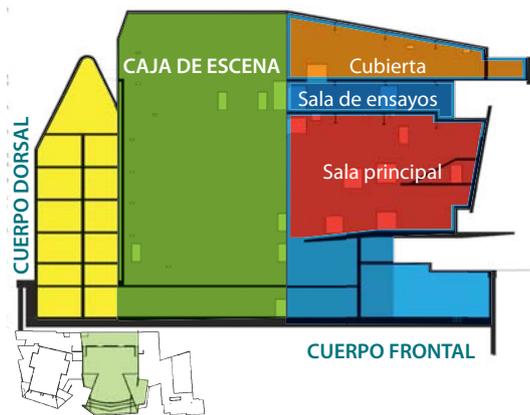


Figura 6 - Teatro Principal. Sección longitudinal.

y celosías). Los soportes, que se disponen básicamente en los sótanos, en la zona trasera común y en el Centro Coreográfico, son de hormigón, mixtos o metálicos.

Para evitar efectos indeseados debidos a la retracción, fluencia y oscilaciones térmicas, los tres edificios están separados por juntas de modo que su funcionamiento estructural es completamente independiente.

### Cimentación

La capacidad resistente del terreno es elevada, con una tensión admisible variable según las zonas entre

3 y 4,5 kp/cm<sup>2</sup>. Como consecuencia, la cimentación es directa: los elementos portantes principales (pantallas) se cimentan mediante grandes zapatas-losas de formas complejas; los soportes y las pantallas menores van sobre zapatas convencionales.

Adicionalmente, en todo el contorno de la construcción se dispone una pantalla de pilotes de 0,80 m de diámetro que no sólo sirve para contener las tierras a nivel de sótano, sino para limitar los movimientos de los edificios colindantes, cuyas cimentaciones quedan por encima de la cota de excavación. Se optó por disponer pantallas de pilotes casi tangentes –en lugar de emplear el sistema de pantalla convencional– para minimizar los efectos sobre las construcciones existentes (movimientos horizontales, asientos y, sobre todo, efectos dinámicos durante la ejecución), y por ser más flexible de cara a la adaptación a las alineaciones quebradas en planta. El mismo sistema de contención se ha empleado en el resto del perímetro de la obra, donde no hay construcciones colindantes sino aceras, aumentando la separación entre pilotes.

### Esquema estructural del Teatro Principal y del Teatro Configurable

Ambos teatros comparten el mismo esquema de funcionamiento estructural, si bien en cada uno de ellos se adapta ligeramente a las particularidades del mismo.

En cada uno de los dos teatros la estructura se compone, básicamente, de tres partes: caja escénica, cuerpo frontal y cuerpo dorsal. En las figuras 1, 5, 6, 7 y 8 se muestra esquemáticamente la disposición de dichas zonas.

La caja escénica es un elemento de gran volumen con altura de unos 40 m en el Teatro Principal y 30 m en el Teatro Configurable, hueco en su interior, conformado mediante pantallas verticales de hormigón armado (Figura 9). La cubierta es una estructura mixta compuesta por celosías metálicas autoportantes y una losa de hormigón encofrada sobre chapa metálica no colaborante.

El cuerpo frontal se sitúa entre la caja escénica y la fachada, y contiene los accesos a las salas, pasillos, espacios para los equipos de climatización y, sólo en el Teatro Principal, las gradas y la gran sala de ensayo. Además, en la parte superior del edificio, se encuen-



## REPORTAJES

tra una gran viga-peto que va rodeando el borde exterior de la estructura y de la que cuelgan las fachadas acristaladas. Estructuralmente, el cuerpo frontal es un complejo conjunto de grandes pantallas y losas de geometría irregular.

El cuerpo dorsal está detrás de la caja escénica, en la parte trasera común, y estructuralmente es convencional, a base de losas de hormigón armado y soportes de hormigón o metálicos.

Las tres partes, caja escénica, cuerpo frontal y cuerpo dorsal, aunque tengan sus particularidades formales y resistentes, están unidas monolíticamente y su funcionamiento es conjunto. Básicamente, el cuerpo frontal –que en casi toda su extensión carece de soportes u otro elemento de sustentación vertical en planta baja para crear los grandes espacios diáfanos de la entrada a los teatros– se cuelga de las pantallas longitudinales que, o bien se unen a su vez a la caja escénica (caso del Teatro Principal) o bien son las propias caras laterales de la caja escénica (en el Teatro Configurable).

Aunque las pantallas son básicamente de hormigón armado los elevados esfuerzos a los que están sometidas en algunas zonas, especialmente las pantallas longitudinales, exigen pretensados locales.

La viga-peto antes nombrada, y que sustenta las fachadas acristaladas, es metálica o de hormigón armado, dependiendo de la zona de que se trate. En algunas zonas, la fachada se separa de la viga-peto hasta un máximo de 5 m, de modo que de ésta salen unas vigas metálicas en voladizo para sustentar una viga metálica de la que a su vez cuelga la fachada.

En ambos teatros la cubierta de las cajas escénicas se realiza mediante un sistema de celosías mixtas entre las que se dispone una estructura secundaria de vigas también mixtas. Las losas correspondientes se hormigonan sobre chapa grecada de encofrado perdido, que al no ser colaborante evita la necesidad de ignifugar la estructura metálica secundaria y la propia chapa.

### Aspectos particulares del Teatro Principal

En este teatro el cuerpo frontal se compone de un complejo sistema de losas y pantallas. Estas últimas van dispuestas según dos direcciones principales: las longitudinales van desde la parte dorsal del teatro

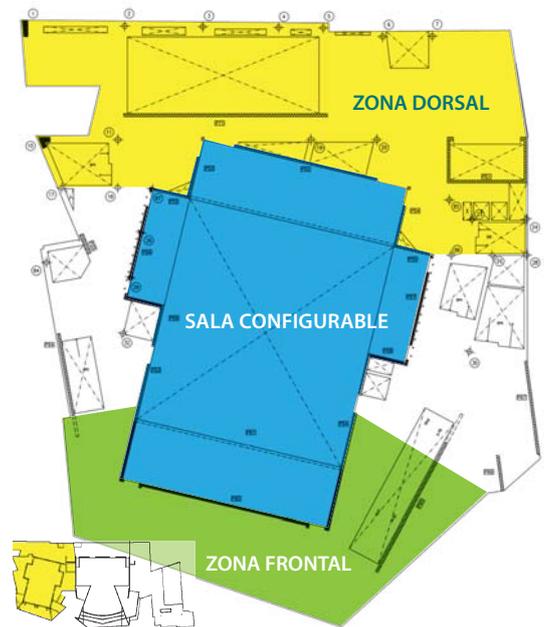


Figura 7 - Teatro Configurable. Planta.

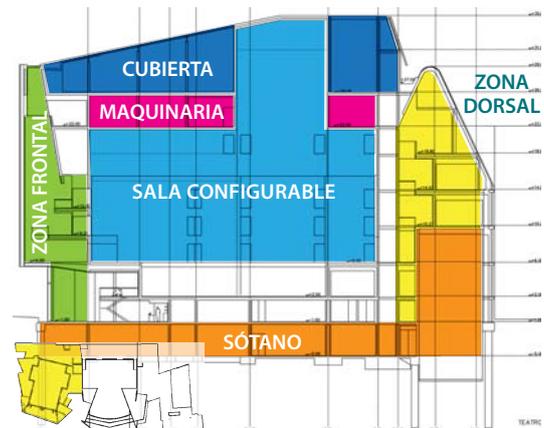
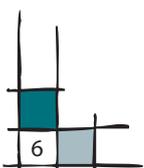


Figura 8 - Teatro Configurable. Sección longitudinal.

hacia la fachada o parte frontal; las transversales son perpendiculares a las longitudinales y sensiblemente paralelas a la fachada exterior. Las pantallas longitudinales, según van ganando altura, van incrementando su dimensión en voladizo sobre los niveles inferiores hacia la fachada. Esta disposición permite disponer en planta baja los espacios diáfanos antes comentados. Las losas y las pantallas transversales se sustentan sobre las longitudinales.

El cuerpo frontal, bajo el cual se sitúa el espacio diáfano de la planta baja, va colgado de las pantallas longitudi-



nales que a su vez se unen a la caja escénica, que con su peso equilibra el conjunto impidiendo su vuelco. Es decir, las pantallas longitudinales son grandes elementos en “bandera” que salen de la caja escénica y de los que cuelga el conjunto de losas y pantallas transversales del cuerpo frontal.

En el caso del Teatro Principal, donde el cuerpo frontal es muy grande puesto que incluye las gradas y la sala de ensayos, no todo él va en voladizo, sino que la parte trasera del mismo, la más cercana a la caja escénica, se apoya en el suelo mediante una pantalla transversal que, de este modo, comparte con la caja escénica la transmisión de cargas del resto del cuerpo frontal. Aún así, el vuelo de la losa pretensada que hace de techo del hall de entrada es de 18 m desde dicha pantalla transversal. Sin embargo, como esta losa está colgada del conjunto de pantallas del cuerpo frontal su voladizo real es de “sólo” 6 m, desde la más frontal de las pantallas transversales de dicho cuerpo frontal. En la Figura 10 se observa la losa durante la construcción, sobre apeos provisionales.

Un elemento característico del Teatro Principal es el anfiteatro, que es el cuerpo superior de gradas, y que estructuralmente es una gran viga cajón monocelular curva en planta y de sección trapezoidal, donde la cara superior es el pasillo de acceso, la cara inferior es el techo del patio de butacas, la cara vertical (lado fachada) forma parte de una de las pantallas transversales y la cara inclinada sigue la forma de la grada. La viga se apo-



Figura 9 - Caja escénica del Teatro Configurable.



Figura 10 - Teatro Principal. Losa en voladizo sobre apeos.



## REPORTAJES



Figura 11 - Teatro Principal. Pantalla longitudinal y viga curva del anfiteatro.

ya en las dos pantallas longitudinales, que delimitan lateralmente la sala, salvando una luz de 34 m sin interferir en el patio de butacas. En la Figura 11 se aprecia esta viga (a la izquierda) y una de las pantallas longitudinales (en el centro).

Sobre la sala de público y el anfiteatro se encuentra la sala de ensayo. Tanto el piso como la cubierta se materializan mediante estructuras mixtas formadas por grandes vigas metálicas armadas autoportantes apoyadas en las pantallas longitudinales y sobre las que se hormigona una losa armada. La luz de estos forjados mixtos es variable, puesto que las pantallas longitudinales sobre las que se sustentan no son paralelas, alcanzando los 34 m.

### Aspectos particulares del Teatro Configurable

Su diferencia básica respecto al Principal radica en que el espacio para el público se sitúa dentro de la caja escénica en lugar de formar parte del cuerpo frontal del edificio. Aunque de este modo se reduce apreciablemente la parte en voladizo, ésta sigue siendo considerable, dado que a cambio de dicha reducción se da el hecho de que el cuerpo frontal no tiene ninguna pantalla transversal que llegue al suelo, de modo que debe colgarse por entero de la caja escénica.

No existen pantallas longitudinales en el cuerpo frontal que sustenten toda esta zona en voladizo, sino que parte de la propia caja escénica cuelga "en bandera" de la zona dorsal o trasera de la misma, liberando el espacio inferior. El cuerpo frontal se compone

básicamente de losas de geometría irregular que vuelan desde la caja escénica, con voladizos de hasta 15 m. Estas losas tienen canto variable y van pretensadas.

### Centro Coreográfico

Su estructura es mucho más simple que las de los teatros al no tener que salvar grandes luces ni tener que dejar los espacios diáfanos de la planta baja. La complejidad viene dada por sus características geométricas irregulares, plantas intermedias y dobles alturas, así como por la considerable cantidad de instalaciones que contiene.

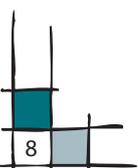
Se compone de losas de hormigón armado sustentadas por soportes de hormigón (en sótanos) y metálicos (en plantas sobre rasante); en las zonas de mayor luz (salas de danza y aulas), se disponen adicionalmente vigas mixtas soportando la losa.

Las acciones horizontales se transmiten por medio de las losas a unas pantallas y a los núcleos de ascensores.

Un elemento singular, en cuanto a su aspecto formal y su comportamiento estructural, es la rampa que comunica los pisos del Centro Coreográfico. Es una losa de hormigón armado que se sostiene mediante una viga ménsula que vuela desde cada piso, y desde la cual la rampa vuela a su vez de modo que prácticamente queda exenta. La presencia de algunos tabiques verticales, que unen los dos tramos de rampa contiguos a modo de diafragmas, permite que el espesor de la losa sea extremadamente reducido (25 cm) para la magnitud de la rampa, cuyos tramos más largos tienen 16,5 m de longitud. Una cristalería al exterior permite apreciar desde la calle la liviandad de esta estructura.

### Zona dorsal común

Como se ha indicado anteriormente, es la parte trasera de los edificios, colindante con otras construcciones, que permite la comunicación entre los mismos y dispone de juntas para separarlos estructuralmente.



Se compone de losas de hormigón armado que se apoyan sobre soportes de hormigón en las plantas inferiores y metálicos en las superiores, así como sobre las pantallas de las cajas escénicas contiguas. La cubierta es un gran lucernario acristalado soportado por una estructura de perfiles metálicos.

## PROCESO CONSTRUCTIVO

### Implantación

A las dificultades intrínsecas de una construcción de este tipo, con la complejidad estructural que ha quedado de manifiesto en los apartados anteriores, se ha sumado una serie de factores vinculados a su emplazamiento.

Se trata de una obra urbana en pleno centro de Madrid, en una zona de intenso tráfico, lo que implica muchas limitaciones para la obtención de permisos de ocupación de aceras y calzada y para el movimiento de camiones y máquinas. Esto obliga a realizar buena parte de los trabajos en horario nocturno que, a su vez, se ven dificultados por la limitación de ruidos.

Por otra parte, el espacio es limitado, pues el edificio ocupa casi la totalidad del solar, lo que deja poco espacio disponible para las casetas, medios auxiliares y zonas de acopio.

### Cimentación

Enlazando con lo anterior, el mal estado de conservación de alguno de los edificios colindantes ha obligado a extremar las precauciones durante la fase de ejecución de la pantalla de pilotes perimetral y el vaciado del solar, siendo necesaria la implantación de un riguroso e ininterrumpido control topográfico de asentos y verticalidad de las medianerías.

El resto de la cimentación, a base de zapatas y losas, no reviste ninguna particularidad ni dificultad añadida.

### Cajas escénicas

Para construir la estructura sobre rasante, y dado que los voladizos de los cuerpos frontales tienden a desequilibrar la estructura, es necesario avanzar en primer lugar las cajas escénicas, que son los elementos que estabilizan el conjunto (Figura 12).

En primer lugar se ejecutan las pantallas principales, mediante encofrado trepante a dos caras. Las losas y pantallas del interior de las cajas, así como las conexiones de las cajas con las losas y pantallas de los cuerpos frontales y dorsales, quedan temporalmente desfasadas. La Figura 12 muestra una avanzada fase de construcción de las cajas escénicas, especialmente la del Teatro Principal.

La trepa de las pantallas ha planteado problemas técnicos que ha sido preciso solventar, tales como la necesidad de asegurar la estabilidad provisional de los elementos trepados y la de resolver las conexiones monolíticas con losas y otras pantallas.

Especial dificultad ha tenido la conexión entre elementos cuando se materializa mediante pretensado, especialmente el alojamiento de los anclajes en las pantallas trepadas, lo que en algunos casos ha obligado a modificar el diseño original aumentando el espesor de la pantalla o cambiando la disposición prevista de tendones colocando más unidades pero de menor capacidad para reducir el tamaño de los anclajes.

Para la conexión entre elementos armados se ha recurrido frecuentemente al uso de manguitos roscados que quedaban a ras de las pantallas trepadas para poder conectar posteriormente las armaduras de los elementos que se conectan a aquéllas (losas u otras pantallas). En otros casos se han empleado armaduras provisionalmente dobladas o placas metálicas embebidas.

Otro problema, derivado de las considerables dimensiones de las cajas escénicas, es el hecho de que provisionalmente están expuestas a la acción del viento, lo que ha obligado a realizar análisis locales sobre la estabilidad temporal de algunos de sus elementos y a añadir refuerzos internos y codales metálicos provisionales.

Por otra parte, las pantallas trepadas presentan huecos de paso de grandes dimensiones que han exigido emplear, en algunos, casos



## REPORTAJES



Figura 12 - Cajas escénicas en ejecución.

estructuras auxiliares metálicas; en otros se ha preferido hormigonar esas zonas para simplificar la ejecución procediendo posteriormente a su corte.

Completadas las pantallas trepadas de las cajas escénicas se procede a completar éstas ejecutando las pantallas secundarias interiores y las losas mediante cimbras, apeos y encofrados convencionales. Estos trabajos se pueden solapar con la ejecución de los cuerpos frontales, ya que el hecho de haber construido ya las pantallas principales (trepadas) de las cajas escénicas garantiza la estabilidad del conjunto.

### Cuerpos frontales

Se construyen con el retraso suficiente respecto a las cajas escénicas para que el conjunto sea estable, dado que los cuerpos frontales deben ser sustentados por aquéllas; en las figuras 12 y 13 se aprecia este desfase.

En los cuerpos frontales, compuestos por losas y pantallas, se emplean diversos medios de construcción. Las pantallas más bajas se hormigo-

nan como muros convencionales; para las de altura mayor de una puesta de encofrado se utiliza la trepa. Los tramos de pantalla en voladizo deben apearse mediante apeos que en algún caso son grandes torres apoyadas al nivel de la calle y arriostradas a la parte inferior de la estructura de hormigón. Algunas pantallas, que por su emplazamiento o su forma presentan especiales dificultades de ejecución –pantallas inclinadas, o a gran altura, o con necesidad de apeos altos– se resuelven, si arquitectónicamente es posible, con celosías o vigas cajón metálicas, siendo necesario en estos casos el empleo de grúas móviles muy potentes.

Las losas, incluyendo la viga cajón que conforma el anfiteatro, se hormigonan sobre cimbras. Las de mayor luz, especialmente los voladizos, se ejecutan incluyendo las contraflechas necesarias para que el resultado final quede con la geometría adecuada. Dentro del conjunto de losas, merecen mención especial las que forman el techo volado sobre la entrada de cada teatro. Con el



Figura 13 - Cajas escénicas prácticamente terminadas. Cuerpos frontales en ejecución.

edificio terminado estas losas cuelgan de la estructura superior, pero durante la construcción, antes de que dicha estructura esté lo suficientemente avanzada como para ser resistente, es ella la que se apoya provisionalmente en la losa. Para soportar esta carga se disponen bajo estas losas unas potentes torres de apeo, que permiten descimbrar las losas y soportar provisionalmente la estructura superior. Entre la cabeza de las torres y la losa se disponen unas galgas necesarias para poder efectuar el desapeo, como se detalla más adelante.

Una vez que la estructura superior de cada teatro está lo suficientemente avanzada como para ser autoportante y poder soportar la losa voladizo inferior, se procede al desapeo de ésta. Este proceso de desapeo de la losa y de puesta en carga de la estructura superior es uno de los momentos más delicados del proceso constructivo, ya que al tratarse de una estructura de alto grado de hiperelasticidad, un exceso de carga o desplazamiento vertical en alguno de los gatos empleados para la maniobra puede suponer la introducción de esfuerzos no previstos y no asumibles por alguna parte de la estructura.

Para retirar el apeo provisional se coloca un gato hidráulico de 650 t en cada torre de apeo (7 en el Teatro Principal y 5 en el Teatro Configurable) conectados a una única central. En la Figura 14 se aprecia la losa volada del Teatro Principal sobre los apeos con los gatos incorporados. El sistema permite conocer en cada instante la fuerza y desplazamiento en cada gato y actuar sobre los gatos individualmente o por grupos. La medida de deformaciones se completa con flexímetros situados entre cada torre de apeo y la losa, y mediante mediciones topográficas de precisión. El proceso de desapeo se efectúa como se indica a continuación.

En primer lugar se realiza el pesaje de la estructura para conocer la reacción en cada apeo. A tal fin, y con la losa inicialmente apoyada en los apeos pero no en los gatos, se va aplicando en cada gato por separado una carga creciente por escalones, tomando nota de las fuerzas y de las deformaciones de los flexímetros hasta el momento en que se produce el despegue y la losa pasa a estar apoyada en el apeo no directamente sino a través del gato, lo cual se detecta por un aumento brusco de la relación desplazamiento/carga.

Determinada la carga en cada uno de los gatos se pasa a la segunda fase, consistente en poner en carga todos los gatos a la vez,



## REPORTAJES



Figura 14 - Teatro Principal. Apeo de la losa en voladizo y sistema de gatos de elevación.

escalonadamente y hasta alcanzar los valores de pesaje obtenidos en la fase anterior, con lo que se produce el despegue de la estructura que pasa a estar apoyada en los gatos exclusivamente. Desde ese instante se continúa aumentando equilibradamente la carga hasta conseguir que en todos los apeos el levantamiento de la losa sea de al menos 5 mm.

La tercera fase consiste en retirar parte de las galgas que han estado interpuestas entre la estructura y los apeos y descender los gatos a la cota de partida, siempre de manera acompasada y controlando movimientos y fuerzas. Al haber retirado las suficientes galgas la losa sigue apoyada en los gatos y se comprueba, entonces, que las fuerzas en los mismos coinciden con las del pesaje inicial.

Por último, se continúa bajando los gatos retirando a la vez las galgas necesarias para que la estructura no vuelva a apoyarse en los apeos, hasta que los gatos quedan sin carga, momento en el cual la estructura pasa a sostenerse por sí misma.

Las maniobras se han realizado sin problemas y con ajuste suficiente entre cargas y movimientos esperados.

### Cubiertas

A pesar de ser autoportantes las grandes celosías metálicas de las estructuras mixtas de cubierta no se pueden colocar en una sola pieza debido a su tamaño y peso, y al difícil acceso a su emplazamiento, que incluso exigen en alguno de los casos el empleo de grandes grúas móviles, por ser insuficientes las grúas torre. Como consecuencia, las celosías se colocan subdivididas en tres tramos

siendo necesarias dos torres de cimbra para apearlos hasta que quedan unidos entre sí.

El hormigonado de la losa se efectúa sobre encofrado perdido de chapa grecada apoyado en la estructura metálica secundaria, apoyada a su vez sobre las celosías principales.

### Otros elementos

El resto de la estructura, zona trasera común a los tres edificios y Centro Coreográfico, se realizó mediante métodos convencionales.

### CONCLUSIÓN

El nuevo Centro de Artes Escénicas de la Comunidad de Madrid no sólo es un edificio moderno, funcional, adaptable a los diversos usos que impongan la actividad teatral y similares, sino que es todo un referente arquitectónico en la capital.

Pero es algo más; aunque quede oculta parcialmente bajo sus espectaculares fachadas de cristal, se trata de una estructura singular con un funcionamiento resistente, atrevido e ingenioso; una muestra más de simbiosis entre ingeniería y arquitectura.

Y es también el resultado de una construcción complicada, en la que ha sido preciso emplear diversos sistemas de ejecución complejos pero necesarios para llevar esta obra a buen fin. ■

# LA MEJORA CONTINUA EN LOS ACEROS CORRUGADOS

**José Manuel Gállego Estévez** - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Subdirector General Adjunto de I+D+i. Subsecretaría. Ministerio de Fomento.

**Julio José Vaquero García** - Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IPAC.

*Existe la impresión de que los aceros corrugados tienen pocas novedades que ofrecer al mercado y que todos ellos son de unas características, calidades y prestaciones similares. ¿Es cierta esta afirmación?*

*La respuesta es que no. No todos los aceros corrugados para hormigón son iguales, no todos ofrecen el mismo nivel de calidad ni el mismo nivel de prestaciones.*

*En este artículo se presentan los trabajos efectuados en el seno de la marca ARCER para garantizar al usuario la mejora continua de este tipo de aceros y para ofrecerle un mayor nivel de seguridad y fiabilidad ante sucesos imprevistos.*

*La creación de la marca ARCER marcó el comienzo de trabajos de I + D + i coordinados con todos los fabricantes de aceros para armaduras pasivas de hormigón integrados en la misma, lo que se plasmó en la determinación del diagrama característico tensión-deformación de los aceros con características especiales de ductilidad, recogidos por primera vez en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE del año 1998.*

*Desde entonces, se ha realizado una importante labor de seguimiento de las características de estos productos con el objetivo de poder garantizar el cumplimiento de los diagramas inicialmente determinados, constatándose una mejora de las mismas.*





## FERROTECNIA

**E**n el año 1998 la Instrucción de Hormigón Estructural EHE marcó el comienzo para la utilización de unos nuevos aceros para hormigón en España: los aceros con características especiales de ductilidad, del tipo B 400 SD, contemplados en el Anejo relativo a recomendaciones para estructuras sometidas a acciones sísmicas, que ampliaban las posibilidades y prestaciones de las estructuras de hormigón armado, especialmente en situaciones de sismo y de acciones imprevistas y, en general, de todas las estructuras hiperestáticas y de todas aquellas otras en las que fuese preciso garantizar unas grandes deformaciones antes de que se produjese su colapso.

Tras 10 años de utilización de los aceros SD, la revisión que se ha efectuado de esta Instrucción prescribe su uso en todas aquellas obras situadas en zona sísmica e introduce una nueva cultura en los aceros: la ductilidad. Una característica que éstos han de ofrecer y que ha de mantenerse tras los procesos a los que puedan verse sometidos en su transformación hasta convertirse en formas de armado: enderezado, corte, doblado, atado, soldadura, etc.

Cumplir esta exigencia no es sencillo, y se puede afirmar sin riesgo de error que queda reservada a aquellos aceros en los que se apliquen políticas continuas de mejora de sus calidades, características y prestaciones.

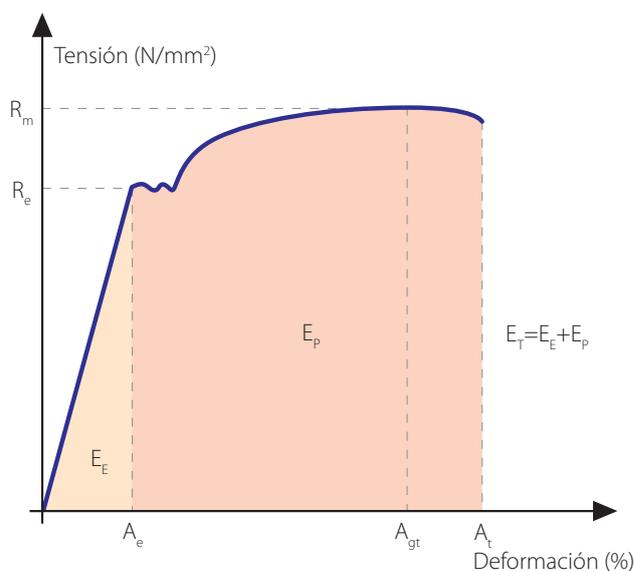


Figura 1.- Diagrama tensión-deformación tipo de un acero corrugado para hormigón.

Con esta filosofía surgió en el año 2000 la marca ARCER de aceros para hormigón, con el objetivo de impulsar actividades de I+D+i en estos productos, centrandose sus actividades de investigación sobre los aceros de alta ductilidad, por ser los que ofrecen mayores ventajas y posibilidades a sus usuarios.

Una de las primeras actuaciones de esta marca fue la de caracterizar los productos amparados en la misma determinando de forma completa sus diagramas característicos tensión-deformación.

### DIAGRAMA TENSIÓN-DEFORMACIÓN

Para los no habituados a esta terminología, baste con indicarles que en él se representan las tensiones y deformaciones que se van produciendo en el acero mientras se le somete a un ensayo de tracción hasta rotura.

El diagrama, ver Figura 1, tiene dos partes. La primera es la **zona elástica**, en la cual el acero recupera las deformaciones a las que se le somete, y corresponde a tensiones que no rebasan una tensión límite, a la que se denomina límite elástico,  $R_e$ . Por encima de esta tensión, el acero comienza a deformarse de forma permanente, hasta que alcanza una tensión en la que se produce su rotura. A esta zona se la conoce como **zona plástica**.

En función de cómo se distribuyan ambas zonas, podemos encontrarnos con aceros de muy diverso comportamiento ante las cargas. Una forma tradicional de caracterizarlos ha sido la de dar los valores correspondientes a determinados puntos de este diagrama. Concretamente los valores del límite elástico,  $R_e$ , de la carga de rotura,  $R_m$ , de la deformación bajo carga máxima,  $A_{gt}$ , o de la deformación última de rotura,  $A_t$ .

**El empleo en España de aceros tipo SD comenzó en el año 1998 con la Instrucción EHE.**

## Mantener la ductilidad de un acero desde su fabricación hasta su posición final en obra no es sencillo.

Pero esta información no es del todo suficiente, puesto que en muchos fenómenos la variable determinante no es la tensión que alcance el acero, sino la energía total que es capaz de absorber hasta rotura, lo que corresponde al área total bajo el diagrama tensión-deformación. De ahí que, como indicadores indirectos, se den en la normativa (EHE, normas UNE) otros ratios que permitan de alguna manera intuir la forma del diagrama tensión-deformación (en lo sucesivo diagrama TD) de los aceros, como por ejemplo el par de variables formado por la relación carga de rotura-límite elástico ( $R_m/R_e$ ) y el alargamiento bajo carga máxima,  $A_{gt}$ .

Pero este sistema sigue siendo todavía insuficiente, puesto que no es en absoluto intuitivo e impide percibir al usuario del acero si está utilizando o prescribiendo un material acorde con sus necesidades o no.

### LA DUCTILIDAD

Surge entonces el concepto de ductilidad, una propiedad mecánica del acero que cobra una especial importancia en las armaduras para hormigón, y que de forma sencilla podríamos decir que está relacionada con la capacidad de absorción de energía del acero hasta la rotura, o lo que es lo mismo, el área total comprendida bajo el diagrama TD.

A partir de este punto, surgen distintos criterios de evaluación de los aceros acuñándose el concepto de "acero equivalente" que permite clasificar a éstos en función de su nivel de ductilidad. Uno de ellos es el índice de tenacidad [1] que relaciona la energía total  $E_T$  que es

capaz de absorber un acero y la energía elástica del mismo,  $E_E$  y que puede expresarse de forma sencilla en función de los parámetros que definen el diagrama TD cuando se carece de datos experimentales precisos.

$$I_p = \frac{E_E + E_p}{E_E} \cdot 1 + \left( 1 + \frac{R_m}{R_e} \right) \cdot \left( \frac{A_{gt}}{A_e} - 1 \right)$$

donde:

- $I_p$  índice de tenacidad;
- $R_m$  carga de rotura, en  $N/mm^2$ ;
- $R_e$  límite elástico, en  $N/mm^2$ ;
- $A_e$  deformación correspondiente al límite elástico, en %;
- $A_{gt}$  deformación correspondiente a la carga de rotura, en %.

Atendiendo a este criterio, y a las propiedades que para los distintos aceros corrugados prescribe la Instrucción de Hormigón Estructural (Tabla 1), los índices de tenacidad permiten clasificar los aceros de mayor a menor ductilidad, tal y como se indica a continuación:

$$B 400 SD > B 500 SD > B 400 S > B 500 S > B 500 T$$

Esta clasificación es acorde con los usos y limitaciones que la propia Instrucción EHE establece para los aceros, de forma que recomienda expresamente el empleo de aceros del tipo B 400 SD en las situaciones más comprometidas, como es el sismo, y limita el empleo del acero B 500 T a su utilización como componente de mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía, prohibiendo cualquier otro empleo en elementos estructurales debido a su baja ductilidad, evitando así el riesgo de colapso súbito sin que se adviertan síntomas (como fisuraciones o deformaciones) que permitan adoptar medidas de seguridad que impidan que se produzcan daños materiales o personales.

### LA INVESTIGACIÓN ARCER

Conscientes, como ya se ha indicado, de la importancia que la ductilidad tiene en las estructuras de hormigón, la marca ARCER inició una investigación sobre las características de los diagramas TD de los aceros integrados en la misma.



## FERROTECNIA

Tabla 1.

Tipo de acero	$R_m/R_e$	$A_{gt}$ (%)	$A_e$ (%)	$I_p$
B 500 T	1,03	3 (*)	0,25	23,33
B 400 S	1,05	5	0,20	50,20
B 500 S	1,05	5	0,25	39,95
B 400 SD	1,20	9	0,20	97,80
B 500 SD	1,15	8	0,25	67,65

(\*) A falta de un valor especificado por la reglamentación, se ha tomado un valor experimental medio.

Este estudio inicial, o estudio de caracterización, ([2], [3] y [4]) se llevó a cabo sobre los aceros del tipo B 400 SD y B 500 SD de las 7 fábricas integradas en aquellos momentos en la marca ARCER, y sobre tres diámetros representativos de las series fina (8 mm), media (16 mm) y gruesa (25 mm) en las que la Instrucción EHE clasifica a los aceros corrugados.

De las 42 poblaciones resultantes ( $7 \times 3 \times 2 = 42$ ) se ensayaron finalmente 38, dado que algunas fábricas no producían alguno de los diámetros objeto del estudio.

Los resultados correspondientes a cada una de las 38 poblaciones estudiadas se obtuvieron a partir de 500 ensayos, procedentes de 50 coladas diferentes, y fueron objeto de ensayos de contraste por parte de dos laboratorios externos (CEDEX e INTEMAC).

Para analizar los 18.200 ensayos efectuados se desarrolló una metodología con la que fue posible realizar un riguroso análisis estadístico sobre la enorme información disponible (en cada ensayo se obtenía un diagrama TD definido por un total de 3.000 puntos, lo que implicaba analizar más de 54 millones de datos).

### La reglamentación limita el empleo de aceros no dúctiles (tipo T) como armadura estructural.

Como resultado, se obtuvieron los diagramas TD característicos de cada diámetro, tipo de acero y fabricante que había

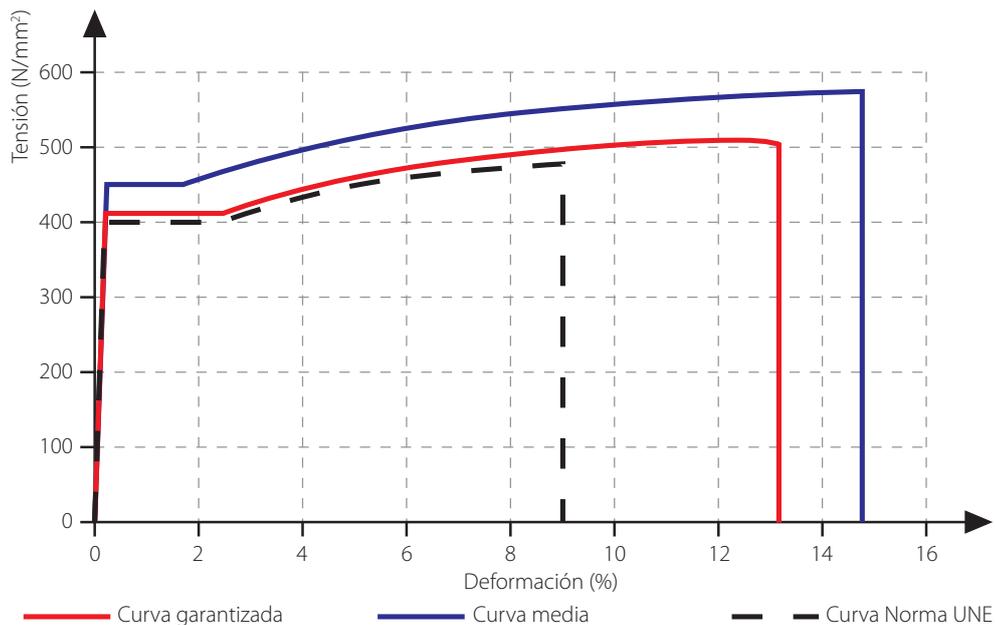


Figura 2.- Diagramas tensión-deformación característico y medio garantizados por ARCER para el tipo de acero B 400 SD.

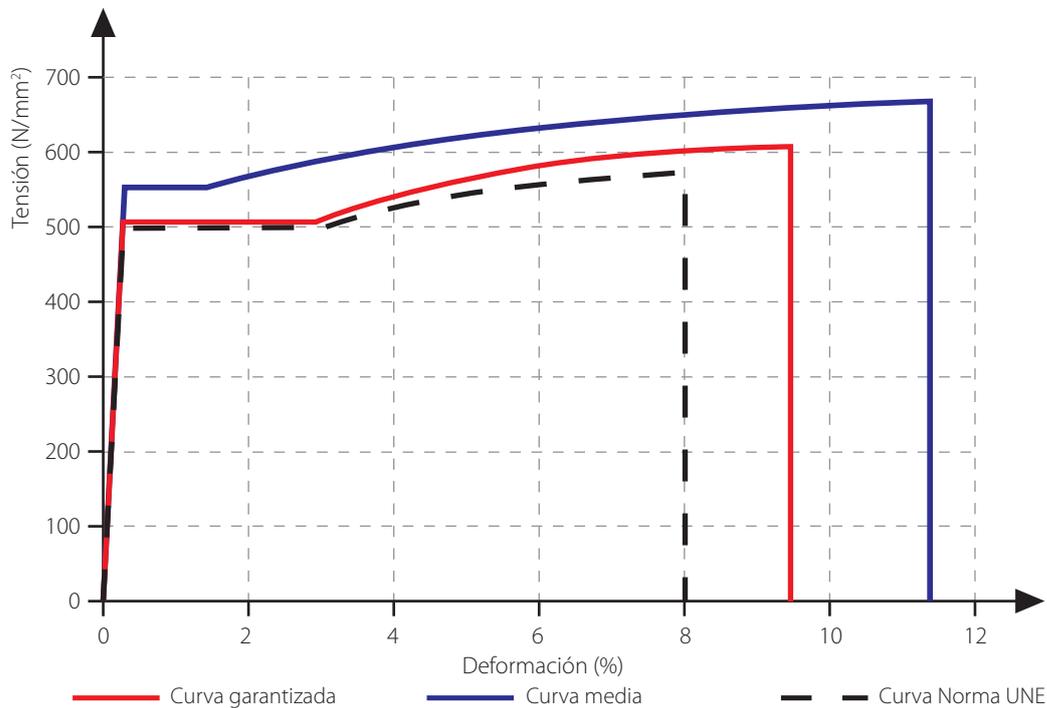


Figura 3.- Diagramas tensión-deformación característico y medio garantizados por ARCER para el tipo de acero B 500 SD.

intervenido en el estudio, y se pudo comprobar que era posible unificarlos todos ellos en dos diagramas finales correspondientes cada uno de ellos a cada uno de los dos tipos de acero estudiados, y que se muestran en las Figuras 2 y 3.

### CAMPAÑA ANUAL DE SEGUIMIENTO

Esta iniciativa, cuya amplitud experimental es probablemente pionera a nivel mundial, carecería de interés y de rigor científico si no fuese acompañada de una serie de ensayos que permitiesen garantizar su cumplimiento en el tiempo, y que permitiese al mismo tiempo ampliar la información sobre estos aceros en todos sus tipos y diámetros.

Para conseguirlo, la marca ARCER lleva a cabo todos los años un plan de seguimiento, que supone la realización de miles de ensayos de tracción conformes a un protocolo y a unas condiciones específicas de realización, y su correspondiente análisis estadístico, cuyos resultados y conclusiones se exponen a continuación.

En todos los casos, el diagrama TD característico se define como:

*“El lugar geométrico de los puntos (x, y) en los que a cada abscisa “x” le corresponde una ordenada “y”, que se define como el valor característico (límite de tolerancia unilateral inferior con nivel de confianza del 90 % y nivel de seguridad del 95 %) de las ordenadas correspondientes a una deformación porcentual “x” en los diagramas tensión-deformación de los individuos de la población estudiada.”*

### Plan de muestreo y ensayo

El seguimiento de los productos con marca ARCER se efectúa sobre los dos tipos de acero con características especiales de ductilidad, B 400 SD y B 500 SD, controlándose cada año dos diámetros de cada tipo y fábrica, dando lugar al número de poblaciones y de ensayos que se refleja en la Tabla 2.

Para cada una de estas poblaciones se efectúa una toma de muestras de la que finalmente se obtienen 3 probetas de 15 coladas seleccionadas al azar, que se someten a un ensayo de tracción cuyo protocolo es similar al utilizado en la realización del estudio inicial [2]. En algunas ocasiones, cuando una fábrica que no laminaba un diámetro empieza a hacerlo, el material objeto de seguimiento es tratado a nivel de caracterización, por lo que el número de probetas y de coladas aumenta consi-



## FERROTECNIA

⇒ **Tabla 2.-** Diámetros objeto de seguimiento en las campañas ARCER.

Año	Tipo de acero	Diámetros (mm)	Poblaciones	Ensayos (*)
2004	B 400 SD B 500 SD	10, 20	34	1.700
2005	B 400 SD B 500 SD	12, 32 (**)	36	1.836
2006	B 400 SD B 500 SD	8, 16 10R	36	2.216
2007	B 400 SD B 500 SD	10, 20 12R, 16R	33	2.298

(\*) Número total de ensayos, incluyendo los ensayos de contraste por laboratorio externo.

(\*\*) Al tratarse de un diámetro poco habitual, se admite sustituirlo por el diámetro 25 mm.

R: Seguimiento efectuado sobre material del tipo B 500 SD suministrado en forma de rollo.



⇒ B 400 SD



⇒ B 500 SD

derablemente (10 probetas de 50 coladas, como en el estudio inicial).

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizan estadísticamente de acuerdo con la metodología descrita en [3], con ligeras modificaciones que hacen más "robusto" el procedimiento estadístico frente a posibles anomalías que pudiesen producirse durante la realización de algún ensayo, como por ejemplo que durante el ensayo se produjese un pequeño deslizamiento en mordazas o en los puntos de fijación del equipo de extensometría (responsable de realizar la medición de las deformaciones que se vayan produciendo).

Con ese fin se realiza una depuración previa de los datos de ensayo, con el fin de detectar la existencia de posibles medidas anómalas que, en caso de producirse, se sustituyen mediante la realización de nuevos ensayos, de manera que el análisis definitivo se lleva siempre a cabo sobre 3 ensayos correctos de cada una de las coladas correspondientes.

Para cada una de las poblaciones analizadas se obtiene su diagrama TD característico, cuyos valores se comparan con los garanti-

zados por la marca ARCER, admitiéndose sólo si superan a éstos, y rechazándose en caso contrario.

Con el fin de valorar la posible evolución de la calidad entre los resultados del estudio inicial, realizado en los años 2002 y 2003, y las posteriores campañas de seguimiento realizadas, se ha procedido a calcular los diagramas característicos promedio obtenidos cada año para cada uno de los tipos de acero de alta ductilidad, comparándose su resultado, en términos de área encerrada bajo el diagrama TD, con los correspondientes obtenidos en el estudio inicial.

Estos diagramas se han obtenido promediando, desde una abscisa cero hasta el valor medio del alargamiento bajo carga máxima, las ordenadas correspondientes de todos los diagramas característicos implicados, pudiéndose observar que mantienen o mejoran los valores de límite elástico,  $R_{eL}$ , resistencia a tracción,  $R_m$ , y deformación bajo carga máxima,  $A_{gr}$ , del estudio inicial.

**Alcanzar el máximo nivel de prestación y calidad es el resultado de la mejora continua, de la investigación y del seguimiento.**

## Los aceros ARCER presentan un incremento de la energía exigida hasta rotura entre el 50 y el 100 %.

Además, las campañas de seguimiento correspondientes a los años 2006 y 2007 se han realizado no sólo sobre material suministrado en forma de barra recta, sino también sobre material suministrado en forma de rollo. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 3.

Como puede observarse, el área total bajo el diagrama característico promedio de los aceros objeto de seguimiento está por encima del valor del diagrama característico inicial garantizado por ARCER, en un intervalo comprendido entre el 25 y el 29 %, para el tipo de acero B 400 SD, y entre el 27 y el 39 % para el tipo de acero B 500 SD, lo cual es lógico, dada la génesis del diagrama TD garantizado por ARCER, que es una envolvente infe-

rior de los resultados más bajos obtenidos para cada uno de los parámetros que lo definen.

Si se comparan estos valores con el diagrama característico promedio del estudio inicial ARCER, se observa que el valor del área encerrada por el diagrama (energía) se ha mantenido o se ha mejorado hasta un 6 %, en el caso del tipo de acero B 400 SD, o hasta un 9 % para el tipo de acero B 500 SD.

Destaca la enorme diferencia que se produce con relación a un acero que cumpliera, en valores característicos, de forma estricta los requisitos establecidos por la norma UNE 36065 (y por ende, los marcados por la Instrucción EHE), puesto que la cantidad de energía que serían capaces de absorber, en promedio, los aceros con marca ARCER es del doble, en el caso del tipo de acero B 400 SD, y 2/3 más en el caso del tipo de acero B 500 SD, lo que puede traducirse de forma directa en aumento de la seguridad frente a acciones imprevistas.

Por último, en el caso del material suministrado en forma de rollo se produce una ligera pérdida de área, como consecuencia del proceso de enderezado del mismo, comprendida entre un 6 y un 9 % si se la compara con la del material suministrado en forma de

Tabla 3.- Resultado de los estudios de seguimiento. Evolución del área total,  $E_T$ , bajo el diagrama característico promedio.

	B 400 SD			B 500 SD		
	Energía $E_T$ (N/mm <sup>2</sup> )	Variación respecto a norma UNE	Variación respecto a garantía ARCER	Energía $E_T$ (N/mm <sup>2</sup> )	Variación respecto a norma UNE	Variación respecto a garantía ARCER
Norma UNE 36065	39,08	—	- 35,93 %	41,78	—	- 19,50 %
Diagrama característico garantizado por ARCER	61,00	+ 56,00 %	—	51,90	+ 24,22 %	—
Diagrama promedio estudio inicial ARCER	74,26	+ 90,02 %	21,74 %	66,18	58,40 %	27,51 %
Diagrama característico promedio 2004	76,12	+ 94,77 %	+ 24,79 %	66,01	+ 58,00 %	+ 27,18 %
Diagrama característico promedio 2005	78,85	+ 100,02 %	+ 29,26 %	69,32	+ 65,92 %	+ 33,56 %
Diagrama característico promedio 2006	77,37	+ 97,98 %	+ 26,84 %	70,13 66,00 R	+ 67,86 % + 57,97 % R	+ 35,12 % + 27,16 % R
Diagrama característico promedio 2007	78,70	+ 100,01 %	+ 29,02 %	72,33 66,20 R	+ 73,12 % + 58,45 % R	+ 39,36 % + 27,55 % R

R: Material suministrado en forma de rollo.



## FERROTECNIA

barra recta, pero que sigue mostrando un amplísimo margen con relación a un acero estricto, con un 58 % más de área encerrada por el diagrama TD.

### Previsiones para el año 2008

El plan de seguimiento descrito va a continuar durante el año 2008 con los mismos criterios. En esta ocasión los diámetros objeto de seguimiento serán los de 12 mm y 32 mm en los dos tipos de acero B 400 SD y B 500 SD, en material suministrado en forma de barra recta, y los diámetros de 8, 12 y 16 mm para el material suministrado en forma de rollo.

### CONCLUSIONES

Como se ha tratado de exponer en este trabajo, no todos los aceros corrugados para hormigón son iguales. Entre ellos existen importantes diferencias de prestaciones, comportamientos y calidades, lo que repercute sin duda en los niveles de seguridad que pueden ofrecer a las estructuras de las que forman parte.

Alcanzar el máximo nivel de prestación y calidad es el resultado de la mejora continua, de la investigación y del seguimiento, como es el caso de los aceros pertenecientes a la marca ARCER.



## 26.000 ensayos avalan los valores garantizados por ARCER.

En el conocimiento de estos aceros existe una enorme base experimental de más de 26.000 ensayos de tracción y 80 millones de datos, de la que no se tiene noticia de que exista otra igual a nivel mundial.

Es este respaldo de conocimiento el que permite garantizar unas prestaciones y características a los aceros ARCER, que pueden emplearse con total garantía en el cálculo estructural y que ofrecen a sus usuarios unos mayores niveles de seguridad.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARCER *Monografía 1: Aceros con características especiales de ductilidad para hormigón armado*. Madrid, 2000.
- [2] Gállico Estévez, J.M.; Ruano Paniagua, N. *Caracterización mecánica de los aceros de alta ductilidad para armaduras pasivas*. II Congreso de ACHE sobre puentes y estructuras de edificación. Madrid, 2002.
- [3] ARCER. *Monografía 4: Diagramas característicos de tracción de los aceros con características especiales de ductilidad, con marca ARCER*. Madrid, 2003.
- [4] Gállico Estévez, J.M.; Ruano Paniagua, N.; Grupo de Trabajo ARCER GT/1 *Diagramas característicos tensión-deformación de los aceros soldables con características especiales de ductilidad con marca ARCER*. Hormigón y Acero nº 234. Madrid, 2004.
- [5] Gállico Estévez, J.M.; Vaquero, J.; Grupo de Trabajo ARCER GT/1 *Seguimiento del diagrama característico tensión-deformación de los aceros de alta ductilidad*. III Congreso de ACHE sobre puentes y estructuras de edificación. Zaragoza, 2005. ■



# Un nuevo impulso a las armaduras de hormigón

Francisco Cardona Pujol – Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. CELSA.

*Desde el pasado mes de octubre de 2007 el Grupo CELSA ha empezado a comercializar en España una nueva gama de rollos de acero corrugado desarrollada para optimizar los actuales procesos industrializados de elaboración de ferralla, dando respuesta a la innovación y desarrollo experimentados en este sector, así como a sus nuevas necesidades y exigencias.*

**C**on alrededor de seis millones de toneladas anuales, España se ha convertido en los últimos años en el país de la Comunidad Europea de mayor consumo de acero corrugado para el armado del hormigón.

El sector de la ferralla en España ha crecido y se ha desarrollado paralelamente al fuerte crecimiento del sector de la construcción, convirtiéndose también en líder europeo por volumen de elaboración de ferralla. Pero más importante si cabe ha sido su capacidad para evolucionar hacia una mayor industrialización y profesionalización de sus actividades. Cada vez se elabora más ferralla en talleres industriales fijos, ajenos a las obras, con notables mejoras en la calidad de la armadura resultante y, por tanto, con un aumento significativo de la calidad y seguridad de las obras de edificación y obra pública que se construyen en nuestro país.

Esta evolución hacia la industrialización ha supuesto nuevos retos para las empresas siderúrgicas fabricantes de aceros corrugados que, como el Grupo Celsa, están comprometidas con la innovación y volcadas en la satisfacción de las necesidades de sus clientes, quienes transforman sus aceros, elaboran formas de armado y finalmente colocan la armadura en las estructuras de hormigón.



Consecuencia de este compromiso ha sido la introducción del acero corrugado en rollo —que ya supone el 13 % del total del consumo nacional de acero corrugado— que en un principio cubría la demanda correspondiente a las armaduras transversales de los elementos estructurales, cercos y estribos fundamentalmente, pero que con el paso del tiempo ha tenido que hacer frente al reto de cubrir también la elaboración de armaduras principales, con



## FERROTECNIA

el consiguiente aumento de las secciones del acero corrugado. Se pasó así de series de diámetros de 6 a 12 mm, a desarrollar el diámetro de 16 mm, al que le ha seguido el de 20 mm, y ya se ha comenzado la investigación para hacer posible que en el futuro pueda ofrecerse también el diámetro de 25 mm, cubriendo de esta forma la práctica totalidad de las necesidades de las instalaciones de ferralla.

Este aumento en las dimensiones de los aceros corrugados suministrados en forma de rollo ha ido emparejada, necesariamente, con un aumento en el peso de los mismos, y en formas de suministro que mejorasen su manipulación y almacenamiento, lo que ha sido posible gracias a la tecnología de fabricación mediante Spooler.

Éstos y otros avances han contribuido de forma decisiva al desarrollo e industrialización del sector de la ferralla, posibilitando aumentos de productividad, ahorros en costes, mejoras en la calidad y reducciones de los plazos de elaboración de la ferralla.

En esta línea de avances e innovaciones se encuadra el desarrollo de CELSAMAX; una nueva generación de acero corrugado diseñado para mejorar el procesado del rollo en las máquinas de elaboración de ferralla, y obtener así ahorros adicionales en el proceso y una ferralla de más calidad.

### EL DISEÑO DE LA NUEVA GEOMETRÍA

La nueva geometría se basa en la optimización del diseño de las corrugas con un doble objetivo: mejorar el procesado del rollo y minimizar la alteración de la altura de corruga.

A diferencia de un producto corrugado tradicional, la sección transversal de la nueva geometría no es un óvalo si no que se corresponde con la de un círculo perfecto en el que, por medio de entalladuras, se disponen cuatro corrugas, o aletas, longitudinales que facilitan el guiado del rollo a lo largo de los rodillos



Figura 1.- Esquema de la geometría de CELSAMAX.

que componen el proceso de enderezado del rollo en un producto recto listo para ser utilizado en la conformación de formas de armado.

Al no sobresalir ninguna corruga transversal del círculo perimetral definido por estas cuatro aletas longitudinales, y gracias al diseño plano de la coronación de las corrugas trasversales, se reduce considerablemente el riesgo de alteración de la altura de corruga durante el procesado del rollo manteniendo, de esta forma, inalterables las condiciones de adherencia al hormigón.

### VENTAJAS QUE APORTA ESTE NUEVO CONCEPTO DE ROLLO

CELSAMAX se ve también reforzado con las ventajas que aporta la tecnología Spooler empleada en su fabricación y que básicamente se puede resumir en unas mejores condiciones de compacidad, manipulación y almacenaje, así como en una ausencia absoluta de torsión en el producto final resultante.

El encarretamiento que se efectúa del rollo permite aumentar la cantidad de material contenido en él, rebasando la barrera de los 3.000 kilos, lo que redonda en mejores índices de productividad y ahorro de costes de transformación. Esta solución permite, además, una mayor velocidad de desenrollado al tiempo que elimina el riesgo de que se produzcan enganches durante el mismo; minimiza los costes de almacenaje, manipulación y transporte, y disminuye los tiempos y costes de preparación del rollo para su transformación.

Sin ánimo de ser exhaustivo, en la Tabla 1 se destacan las ventajas que pueden derivarse del empleo de este nuevo concepto de rollo.



Tabla 1.

<b>+ DIÁMETRO</b>	<b>- TIEMPO</b>
Posibilidad de usar mayores diámetros de corrugado en forma de rollo encarretado	Para el cambio de rollo en la máquina enderezadora, para enhebrar la punta y para ajustar la máquina en el enderezado del rollo
<b>+ SEGURIDAD</b>	<b>- DESGASTE</b>
Durante la operación de desenrollado	De los rodillos de las máquinas utilizadas en la elaboración de la ferralla
<b>+ FACILIDAD</b>	<b>- COSTES</b>
De enderezado y ejecución de las formas gracias al proceso de encarretado libre de torsión	De manipulación, transporte y almacenaje
<b>+PRODUCTIVIDAD</b>	<b>- ALTERACIÓN</b>
Debido al notable incremento del peso de los rollos y al aumento de la velocidad de desenrollado	De la altura de la corruga
<b>+ CAPACIDAD</b>	<b>- TOLERANCIAS</b>
De apilamiento y almacenaje debido al mayor peso, compactibilidad y coeficiente de llenado	En la geometría del rollo
<b>+ CALIDAD</b>	
Material de características más constantes y consistentes, mejor disposición de las formas y propiedades mecánicas garantizadas	

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

CELSAMAX se ofrece únicamente como acero tipo SD, correspondiente a los aceros españoles con características especiales de ductilidad, cuyas características mecánicas se recogen en la Tabla 2, siendo conformes a las prescritas por la Instrucción EHE y la norma UNE 36065 para este tipo de aceros.

La ductilidad es una importante característica del acero relacionada con la capacidad de éste para absorber energía antes de llegar a la rotura. El acero dúctil soporta incrementos de tensión más elevados y permite mayores alargamientos, lo que mejora las prestaciones de las estructuras en general y proporciona un margen adicional de seguridad proporcionando, entre otras, las siguientes ventajas a las estructuras que los incorporan:

- Reducen el riesgo de los usuarios al permitir que se produzcan grandes deformaciones de las es-

tructuras antes de que éstas fallen por colapso, permitiendo así la evacuación de edificios o la adopción de otras medidas (refuerzo, apuntalamiento, etc.).

- Mejoran el comportamiento de las estructuras frente a deformaciones impuestas (temperatura, asientos en apoyos, retracción, fluencia, etc.), al permitir que se lleven a cabo redistribuciones de esfuerzos que minimizan sus posibles efectos.
- Aumentan la resistencia y reducen las consecuencias derivadas de posibles impactos imprevistos o de acciones o cargas accidentales (la acción del fuego, explosiones, etc.).
- Ante la ocurrencia, por ejemplo, de un sismo, en el que se generan ingentes cantidades de energía que provocan la ruina de los edificios, este tipo de aceros permiten disipar esta energía y llegar, en casos extremos, a la formación de rótulas plásticas que permiten evitar el colapso de las estructuras y recuperarlas, en la mayoría de los casos, tras una reparación de las mismas.



## FERROTECNIA

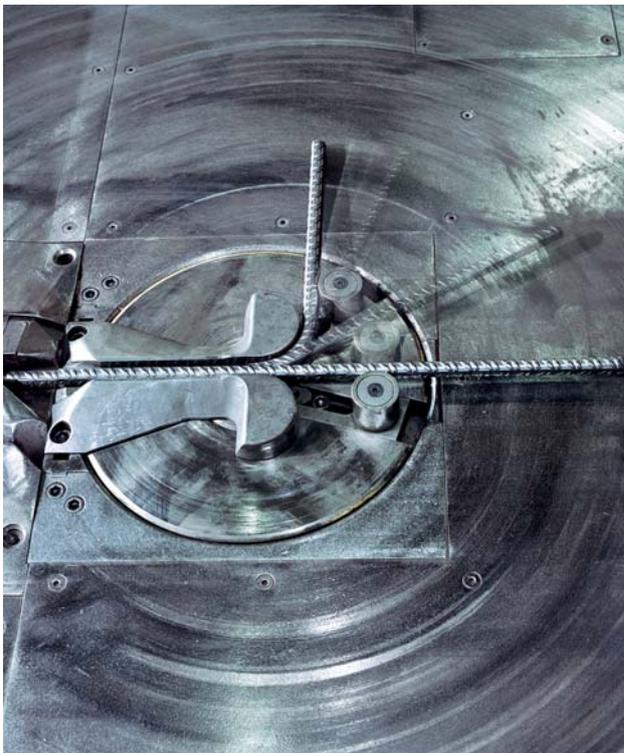
⇒ **Tabla 2.- Características mecánicas de CELSAMAX.**

CALIDADES	CELSAMAX B 400 SD	CELSAMAX B 500 SD
<b>CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS</b>		
Límite Elástico ( $f_y$ )	$\geq 400$ Mpa	$\geq 500$ Mpa
Resistencia a la Tracción	$\geq 480$ Mpa	$\geq 575$ Mpa
Relación $f_y$ Real/ $f_y$ Nominal	$\leq 1,20$	$\leq 1,25$
Aptitud al Doblado - Desdoblado		
<b>PARÁMETROS DE DUCTILIDAD</b>		
Alargamiento de Rotura ( $A_5$ )	$\geq 20$ %	$\geq 16$ %
Alargamiento total bajo carga máxima ( $\epsilon_{m\acute{a}x}$ )	9 %	8 %
Relación, Resistencia a Tracción / Límite Elástico	$1,20 \leq f_s / f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s / f_y \leq 1,35$

### MEJORA EN LA CALIDAD FINAL DE LA FERRALLA

La calidad final de una armadura para hormigón estructural viene determinada por dos factores fundamentales: la calidad del acero que constituye la armadura, definida por sus características químicas, mecánicas y geométricas; y la calidad de la elaboración y colocación de la ferralla en su posición definitiva, a la espera de recibir el hormigón.

No cabe duda de que el primer factor repercute de forma muy importante en la calidad final de la armadura, dado que si las pres-



taciones del acero no son adecuadas la armadura final colocada en obra no cumplirá, con toda seguridad, las condiciones requeridas, puesto que no es posible mejorar de ninguna forma la calidad inicial del producto de partida.

Es por ello que la reglamentación vigente hace especial hincapié en el establecimiento de las especificaciones técnicas necesarias que deben cumplir los aceros para poder ser incorporados con carácter permanente a las estructuras y así garantizar su idoneidad para el uso al que se destinan. Y por ello, también se valora especialmente el reconocimiento oficial por parte de la Administración de marcas, sellos, certificaciones y distintivos de calidad que aseguren el cumplimiento de dichas especificaciones obligatorias.

Del mismo modo, la elaboración de la ferralla y su montaje en la obra debe realizarse bajo premisas de exigencia en la calidad, que aseguren las dimensiones geométricas, el número de elementos utilizados y la ausencia de deterioros producidos en el acero. La ferralla elaborada en taller de forma industrializada ofrece niveles de control de calidad cada vez mayores, en especial gracias a la introducción y buena aceptación en el mercado de los sistemas de certificación de la calidad para la elaboración de ésta.

Estos sistemas de certificación garantizan que la elaboración de la ferralla en taller industrial fijo se realiza



de acuerdo a las normas vigentes y respetado los planos, diseños, medidas y tolerancias especificadas en el proyecto.

Además, los sistemas de certificación de la calidad garantizan que los aceros que se utilizan cumplen con todos los requisitos que les son exigibles. Gracias a la obligatoriedad de mantener una adecuada trazabilidad los aceros empleados se entregan en obra convenientemente identificados y acompañados de la garantía del fabricante y de la documentación necesaria que permite su seguimiento hasta la colada de partida del mismo.

Finalmente, los sistemas de certificación de la calidad garantizan que todos los procesos empleados para la elaboración de la ferralla (enderezado, corte, doblado, soldadura, atado y armado) se realizan de forma que no se alteren las características mecánicas y geométricas del acero hasta niveles inaceptables que puedan suponer, incluso, el incumplimiento de las exigencias establecidas por la reglamentación y normativa vigente.

En este último aspecto es donde CELSAMAX ofrece un mayor interés a sus usuarios, pues su innovador diseño hace posible que su procesado sea más sencillo y que sea más complicado poder producir una posible alteración de sus características mecánicas (pérdida de ductilidad) o geométricas (pérdida de adherencia) contribuyendo, por tanto, a la obtención final de una ferralla de mayor calidad. ■

## RESPECTO AL MEDIO AMBIENTE

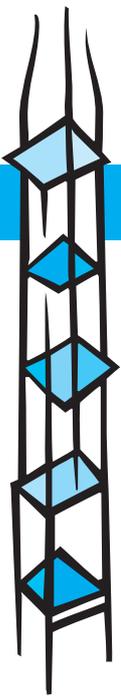
El acero es uno de los materiales más reciclables y reciclados del mundo. Puede ser reciclado continuamente sin perder sus propiedades y, gracias a sus propiedades magnéticas, puede recuperarse fácilmente para su reciclado.

Actualmente existen dos tecnologías para la producción de acero. La utilizada en los hornos altos, que parten de un óxido de hierro en estado mineral y proceden a su reducción para obtener hierro fundido y posteriormente acero, y la utilizada en los hornos eléctricos, que recicla chatarra férrica de la que obtiene directamente acero tras eliminar sus impurezas, con un consumo energético muy inferior y una reducidísima emisión de CO<sub>2</sub> en comparación con el procedimiento anterior y que, por tanto, resulta ser mucho más respetuoso con el medio ambiente.

Como todos los aceros que produce el Grupo Celsa, CELSAMAX se obtiene de acero procedente exclusivamente de horno eléctrico en el que se parte de la chatarra como materia prima, dando respuesta a una preocupación de la sociedad actual por el desarrollo sostenible y el respeto al medioambiente. En definitiva:

- por estar fabricado mediante la tecnología de producción de acero más sostenible;
- por estar fabricado a partir del reciclado de productos de acero al final de su ciclo de vida, y a partir de la recuperación de residuos de procesos de fabricación que utilizan acero como materia prima;
- por cumplir con toda la normativa medioambiental, llegándose incluso en algunos casos a niveles de exigencia superiores a los establecidos por normativas de protección del medio ambiente vigentes en España y en la Unión Europea;
- por ser un producto totalmente reciclable.

Gracias a la integración vertical, el Grupo CELSA abarca el ciclo completo de reciclaje del acero, desde la separación y recuperación de la chatarra hasta su transformación de nuevo en productos de acero, contribuyendo de forma destacada a la preservación del medio ambiente y al desarrollo sostenible.



# LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

**L**a importante actividad constructora de los últimos años en nuestro país ha supuesto un crecimiento sin precedentes del volumen de residuos procedentes de la construcción y de la demolición, un 80 % de los cuales se deriva a vertedero reciclándose tan sólo el 20 % de los mismos.

A pesar de las acciones llevadas a cabo a través del Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición, y de los avances que se han producido en la gestión de los mismos es preciso adoptar medidas adicionales para evitar la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados, el deterioro paisajístico y promover la valorización de parte de estos residuos.

Con esa finalidad el Consejo de Ministros aprobó el pasado mes de febrero un Real Decreto que regula la producción y gestión de este tipo de residuos, cuyo alcance y contenido se describen en este artículo, así como las medidas inicialmente previstas en el II Plan Nacional, que será próximamente aprobado por el Ministerio de Medio Ambiente.

### LA LEY DE RESIDUOS

En el año 1991 la Unión Europea establece una norma común para la gestión moderna de los residuos, abandonando la clasificación tradicional de éstos en tan sólo dos modalidades: generales y peligrosos, lo que queda plasmado en la Directiva Comunitaria 91/156/CEE, de 18 de marzo. El espíritu de esta Directiva se encamina a contribuir a la protección del medio ambiente, de forma que se coordinen las políticas de gestión de los residuos con las políticas económicas, industriales y territoriales, incentivando la reducción de la generación de residuos en origen e incentivando



Tabla 1.- Reparto de las competencias administrativas en la gestión de los residuos (Ley 10/1998).

Administración General del Estado	Comunidades Autónomas	Entidades Locales
<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de planes nacionales de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de planes autonómicos de residuos.</li> <li>Autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión de los residuos urbanos.</li> <li>Recogida, transporte y eliminación de los residuos urbanos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Autorización de los traslados de residuos desde o hacia terceros países no pertenecientes a la UE.</li> <li>La inspección de los traslados anteriores.</li> <li>Vigilancia y control de los tránsitos de residuos en el interior del territorio español, a la entrada y salida de la Comunidad Europea.</li> <li>La aplicación, en su caso, del correspondiente régimen sancionador.</li> </ul>		

su reutilización, reciclado y valorización frente a otras posibles formas de gestión de los mismos.

Esta Directiva contempla que los distintos tipos de residuos existentes puedan ser objeto de regulación específica por parte de los países miembro.

En el año 1998 se aprueba en España la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos cuyo ámbito de aplicación se extiende a todo tipo de residuos con la exclusión de las emisiones a la atmósfera, los residuos radioactivos y los vertidos líquidos a las aguas continentales.

Esta Ley no se limita a regular qué hacer con los residuos una vez generados, sino que contempla también la fase previa a su generación, regulando las actividades de los productores, importadores y adquirientes sobre los que hace recaer el principio de "quien contamina paga".

Las competencias sobre residuos se reparten entre el Estado y las Comunidades Autónomas, previéndose la elaboración de planes nacionales de residuos, así como el establecimiento de instrumentos de carácter económico y medidas de incentivación para promover su reducción, reutilización, reciclado y valorización.

De esta forma, la Ley introduce el principio de jerarquía que consiste en prevenir en la medida de lo posible, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar y valorizar energéticamente todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar. Como última e inevitable opción se contempla el depósito en vertedero.

#### DEFINICIONES

Para entender mejor el alcance de todas las disposiciones y actuaciones que hay en torno a los residuos, parece conveniente recoger algunas de las definiciones de los términos que van a emplearse.

Residuo: es cualquier sustancia u objeto del que se desprende su poseedor o del que tenga intención u obligación de despen-





## SOSTENIBILIDAD

⇒ **Tabla 2.-** Categorías en las que pueden encuadrarse los residuos (Ley 10/1998).

Categoría	Definición
Q1	Residuos de producción o de consumo no especificados a continuación.
Q2	Productos que no respondan a las normas.
Q3	Productos caducados.
Q4	Materias que se hayan vertido por accidente, que se hayan perdido o que hayan sufrido cualquier otro incidente, con inclusión del material, del equipo, etc., que se haya contaminado a causa del incidente en cuestión.
Q5	Materias contaminantes o ensuciadas a causa de actividades voluntarias (por ejemplo, residuos de operaciones de limpieza, materiales de embalaje, contenedores, etc.).
Q6	Elementos inutilizados (por ejemplo, baterías fuera de uso, catalizadores gastados, etc.).
Q7	Sustancias que hayan pasado a ser inutilizables (por ejemplo, ácidos contaminados, disolventes contaminados, sales de temple agotadas, etc.).
Q8	Residuos de procesos industriales (por ejemplo, escorias, posos de destilación, etc.).
Q9	Residuos de procesos anticontaminación (por ejemplo, barros de lavado de gas, polvo de filtros de aire, filtros gastados, etc.).
Q10	Residuos de mecanización/acabado (por ejemplo, virutas de torneado o fresado, etc.).
Q11	Residuos de extracción y preparación de materias primas (por ejemplo, residuos de explotación minera o petrolera, etc.).
Q12	Materia contaminada (por ejemplo, aceite contaminado con PCB, etc.).
Q13	Toda materia, sustancia o producto cuya utilización esté prohibida por la ley.
Q14	Productos que no son de utilidad o que ya no tienen utilidad para el poseedor (por ejemplo, artículos desechados por la agricultura, los hogares, las oficinas, los almacenes, los talleres, etc.).
Q15	Materias, sustancias o productos contaminados procedentes de actividades de regeneración de suelos.
Q16	Toda sustancia, materia o producto que no esté incluido en las categorías anteriores.

derse, perteneciente a alguna de las categorías indicadas en la Tabla 2.

Reutilización: es el empleo de un producto usado para el mismo fin para el que fue diseñado originariamente.

Reciclado: es la transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su fin inicial o para otros fines, incluido el compostaje y la biometanización, pero no la incineración con recuperación de energía.

Valorización: es todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.

Eliminación: todo procedimiento dirigido, bien al vertido de los residuos o bien a su destrucción, total o parcial, realizado sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.

### EL PRIMER PLAN NACIONAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (2001-2006)

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos que se fijaban en la Ley 10/1998 de residuos se aprueba el primer Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (BOE 12 de julio de 2001), que se centra en los residuos generados como desecho en la construcción de nuevos edificios, en la demolición o en la reforma de los ya existentes, así como en los procesos de fabricación de mate-

Tabla 3.- Situación europea en generación y reciclado de RCDs en el año 1999 (Fuente: *Construction and demolition waste management practices and their economic impacts*).

Estado Miembro	RCDs generados (millones de toneladas)	Porcentaje reutilizado o reciclado	Porcentaje vertido o incinerado
Alemania	59	17	83
Reino Unido	30	45	55
Francia	24	15	85
Italia	20	9	91
España	13	< 5	> 95
Holanda	11	90	10
Bélgica	7	87	13
Austria	5	41	59
Portugal	3	< 5	> 95
Dinamarca	3	81	10
Grecia	2	< 5	> 95
Suecia	2	21	79
Finlandia	1	45	55
Irlanda	1	< 5	> 95
Luxemburgo	0	n/a	n/a
<b>Total UE-15</b>	<b>180</b>	<b>28</b>	<b>72</b>

riales de construcción como consecuencia de rechazos o roturas de éstos.

Los residuos de construcción y demolición (RCDs), conocidos habitualmente como “escombros”, pueden considerarse en su mayoría como inertes y, por lo tanto, con un poder contaminante relativamente bajo, pero con un gran impacto visual como consecuencia del gran volumen que ocupan y por el escaso control ambiental que normalmente se ha ejercido sobre los terrenos que se eligen para su depósito, a lo que habría que añadir un segundo impacto ecológico negativo derivado del despilfarro de materias primas que implica este tipo de gestión, que no contempla el reciclaje.

En el momento en el que se redacta el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) la mayor parte de éstos se gestionaban a través de vertederos, ya que el coste del vertido era mucho más económico que el derivado de cualquier otra operación más ecológica. La consecuencia inmediata, propiciada por una incesante actividad constructora, fue la rápida colmatación tanto de los vertederos municipales como

de los vertederos especializados en este tipo de residuos, dando lugar a la proliferación de vertederos incontrolados con el enorme impacto ambiental que ello supone.

Otra de las particularidades existentes en aquel momento era la escasez de infraestructuras existentes para el reciclaje de RCDs —que no eran más de una docena— lo que situaba a España, junto con Grecia e Irlanda, a la cola de los países europeos en lo que a gestión ambiental de residuos se refiere, con un porcentaje de reciclaje inferior al 5 % de los residuos generados, muy lejos de los países situados a la cabeza, como Dinamarca (81 %), Bélgica (87 %) u Holanda (90 %).

Ante esta situación, el PNRCD adoptó el compromiso de establecer las bases para una correcta gestión de los RCDs en España, y fijó unas ambiciosas metas: conseguir que el porcentaje de residuos reciclados o reutilizados alcanzase el 40 % en el año 2005 y un nivel del 60 % en el año 2006.

Para alcanzar estos objetivos el Plan contemplaba una serie de medidas instrumentales. La primera de ellas consistía en la elaboración de una normativa específica para la gestión de los RCDs, basada en los principios de jerarquía y en el de responsabilidad



## SOSTENIBILIDAD

del productor, en la cual se podría llegar a vincular las licencias de obra a la correcta gestión de los residuos, exigiéndose su clasificación y descontaminación en la propia obra.

La segunda de las medidas —cuya finalidad era la incentivación de la utilización de materiales reciclados— era la redacción de una normativa técnica sobre calidades de materiales reutilizables o reciclables procedentes de los RCDs, junto con la imposición de unas tasas mínimas de vertido así como cánones y precios que desincentivasen esta alternativa.

Otras de las medidas contempladas hacían referencia a suscripción de acuerdos voluntarios con los sectores empresariales; el establecimiento de ayudas a diferentes actuaciones; la elaboración de un inventario de vertederos de inertes analizando su estado y sus posibilidades de recuperación; la construcción de plantas de

programas de I+D para la mejora de la gestión de los RCDs, etc.

### Previsiones

Ante la falta de datos fiables, el PNRC realizó una estimación de cuáles podrían ser las previsiones de generación de RCDs en las diferentes Comunidades Autónomas, estableciendo una horquilla que partía de una hipótesis de producción mínima de RCDs de 450 kg/hab/año y máxima de 1.000 kg/hab/año, así como una posible distribución final de los mismos en actuaciones de prevención<sup>1</sup>, reciclado o reutilización y vertedero, que se recogen en la Tabla 4.

Además, para cumplir los objetivos del Plan y efectuar una correcta gestión de todos los RCDs generados se

**Tabla 4.- Estimaciones efectuadas por el PNRC de la evolución de la generación, reutilización y vertido de los RCDs por comunidades autónomas (miles de toneladas).**

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Generación de RCDs		Año 2006		
	1999	2006	Prevención	Reciclado	Vertedero
Andalucía	3.256 a 7.234	3.483 a 7.741	348 a 774	871 a 1.935	2.264 a 5.032
Aragón	534 a 1.187	572 a 1.271	57 a 127	143 a 318	372 a 826
Asturias	490 a 1.088	523 a 1.161	52 a 113	131 a 291	340 a 757
Canarias	723 a 1.606	771 a 1.719	77 a 172	193 a 430	501 a 1.117
Cantabria	237 a 527	253 a 564	25 a 56	63 a 141	165 a 367
Castilla La Mancha	771 a 1.712	824 a 1.832	82 a 183	206 a 458	536 a 1.191
Castilla y León	1.129 a 2.508	1.208 a 2.684	121 a 268	302 a 671	785 a 1.745
Cataluña	2.741 a 6.090	2.932 a 6.517	293 a 652	733 a 1.629	1.906 a 4.236
Extremadura	481 a 1.070	515 a 1.144	51 a 114	129 a 286	335 a 744
Galicia	1.234 a 2.743	1.320 a 2.934	132 a 293	330 a 734	858 a 1.907
I. Baleares	342 a 760	366 a 813	37 a 81	91 a 203	238 a 529
Madrid	2.260 a 5.022	2.419 a 5.373	242 a 537	605 a 1.343	1.572 a 3.493
Murcia	494 a 1.174	528 a 1.173	53 a 117	132 a 293	343 a 763
Navarra	234 a 521	251 a 557	25 a 56	63 a 139	163 a 362
País Vasco	944 a 2.098	1.011 a 2.244	101 a 224	253 a 561	657 a 1.459
La Rioja	119 a 265	128 a 283	13 a 28	32 a 71	83 a 184
Valencia	1.084 a 4.009	1.929 a 4.289	193 a 429	483 a 1.072	1.253 a 2.788
Ceuta y Melilla	58 a 128	62 a 138	6 a 14	-	56 a 124
<b>Total</b>	<b>17.131 a 39.742</b>	<b>19.095 a 42.437</b>	<b>1.908 a 4.238</b>	<b>4.760 a 10.575</b>	<b>12.427 a 27.624</b>

1 Conjunto de medidas destinadas a conseguir la reducción en la generación de residuos.

Tabla 5.- Previsiones de infraestructuras necesarias para el correcto tratamiento de los RCDs efectuadas por el PNRCD (2001-2006), e instalaciones existentes en la actualidad (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente).

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Nº de Plantas de Reciclado		Nº de Estaciones de Transferencia		Nº de Vertederos Controlados	
	PNRCD	2008	PNRCD	2008	PNRCD	2008
Andalucía	6	22	(*)	1	16	9
Aragón	2	1	(*)		4	3
Asturias	1	3	(*)		3	1
Canarias	2	s/d	(*)	s/d	10	s/d
Cantabria	5	0	(*)		2	1
Castilla La Mancha	2	1	(*)		5	0
Castilla y León	2	3	(*)		8	1
Cataluña	5	11	(*)	7	10	44
Extremadura	1	1	(*)		3	0
Galicia	3	2	(*)		7	10
I. Baleares	6	2	(*)		8	0
Madrid	4	3	(*)		7	4
Murcia	1	s/d	(*)	s/d	4	s/d
Navarra	1	s/d	(*)	s/d	2	s/d
País Vasco	1	2	(*)		4	5
La Rioja	1	1	(*)		1	2
Valencia	3	6	(*)		7	0
Ceuta y Melilla	1	s/d	(*)	s/d	2	s/d
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>58</b>	<b>292</b>	<b>8</b>	<b>99</b>	<b>80</b>

(\*) La previsión efectuada estimaba la necesidad de dos centros de transferencia por cada vertedero o planta de reciclado.

realizó una estimación de las infraestructuras (plantas de reciclaje, vertederos de inertes y centros de transferencia) que sería necesario implantar durante el periodo de vigencia del Plan, cuyos datos se recogen en la Tabla 5.

### Realidad

La realidad es que el crecimiento experimentado por el sector de la construcción en España ha provocado que se rebasen todas las previsiones efectuadas, acercándose a los valores máximos previstos.

En el caso de la generación de RCDs el PNRCD estimaba una cantidad comprendida entre 19 y 42 mi-

llones de toneladas en el año 2006, cuando todos los datos apuntan a que esta cantidad ha sido finalmente superior a los 36 millones de toneladas, valor muy cercano al máximo previsto y que, posiblemente, esté a punto de rebasarse en estos momentos.

En cuanto a las infraestructuras necesarias para gestionar esta ingente cantidad de "escombros", se ha efectuado un gran esfuerzo inversor por lo que en estos momentos se cuenta con 58 plantas de reciclado, 80 vertederos controlados y 8 estaciones de transferencia.

Los niveles de tratamiento están aún muy alejados de las previsiones efectuadas, que hablaban de porcentajes de reciclaje o



## SOSTENIBILIDAD

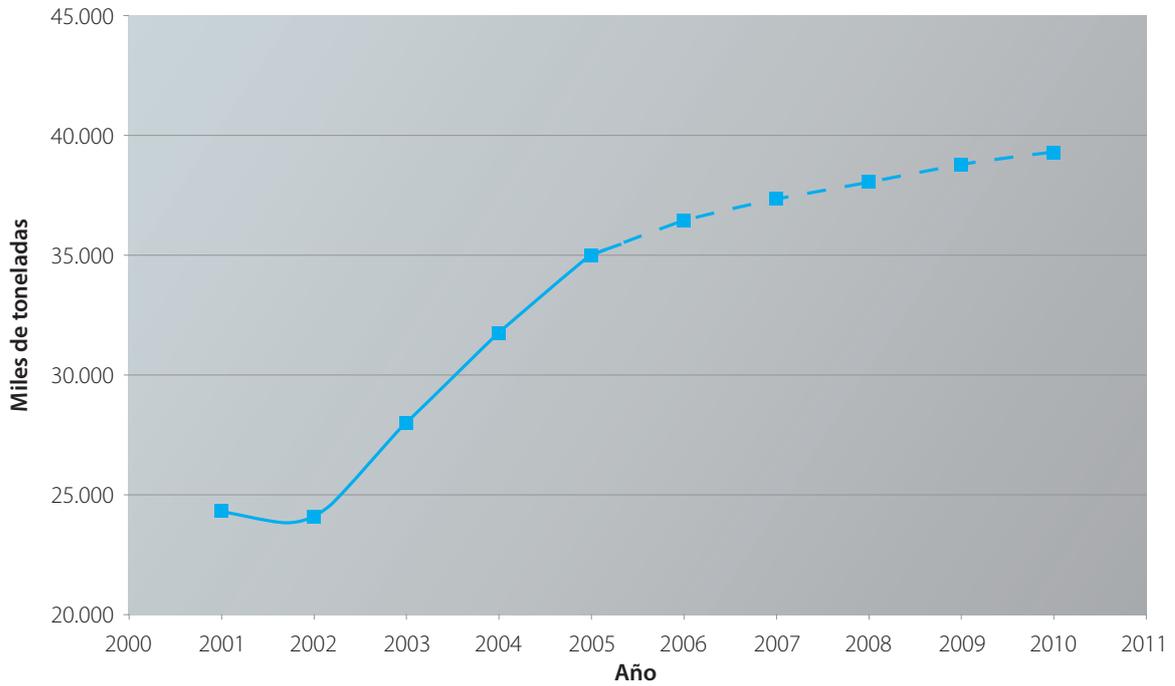


Figura 1.- Evolución de la generación de RCDs en el periodo 2001-2005, y previsiones para el periodo 2006-2010 (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente).

reutilización comprendidos entre el 40 y el 60 %, no habiéndose alcanzado ni siquiera la mitad de esta cifra, como puede verse en la Figura 2.

### REGULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE LOS RCDs

El 1 de febrero de 2008 se aprueba el Real Decreto 105/2008 que regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

En su preámbulo el Real Decreto destaca los elevados índices de actividad alcanzados por el sector de la construcción, lo que ha producido un auge extraordinario en la generación de residuos procedentes tanto de la construcción de infraestructuras y edificaciones de nueva planta, como de la demolición de inmuebles antiguos o de pequeñas obras de reforma de viviendas y locales.

A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años el nivel de tratamiento de los RCDs es todavía insatisfactorio, en la mayor parte de los casos. Como consecuencia de ello, se están produciendo impactos ambientales entre los que se destacan

la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados, el deterioro paisajístico, así como la eliminación de estos residuos sin aprovechamiento de sus recursos valorizables.

A la vista de ello, los instrumentos desarrollados hasta la fecha se han manifestado insuficientes, por lo que se ha considerado preciso el desarrollo de una normativa básica específica para los RCDs que permita conseguir un desarrollo más sostenible de la actividad constructiva. Esta necesidad ya se consideraba, como se ha expuesto anteriormente, en el PNRCD (2001-2006) como una medida instrumental para el logro de sus objetivos.

En este contexto se enmarca este Real Decreto, que define los conceptos de productor y poseedor de RCDs para los que establece una serie de obligaciones. Los residuos procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliarias no quedan incluidos en este ámbito al ser considerados como residuos urbanos y estar sujetos a las disposiciones que

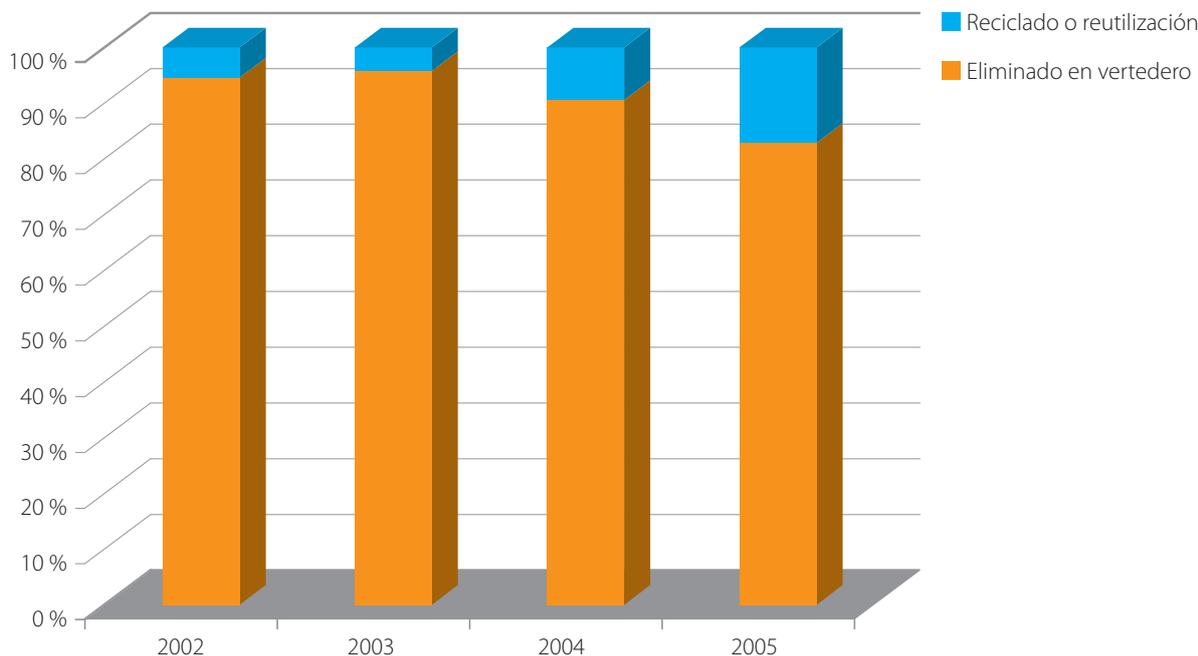


Figura 2.- Porcentaje de RCDs reciclados o reutilizados y eliminados en vertedero (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente).

para ellos emitan las Entidades Locales en sus respectivas ordenanzas municipales.

En el análisis de la situación actual se ha podido comprobar que una de las causas por las que no se han alcanzado unos niveles satisfactorios de reciclado de los RCDs es el hecho de que en su mayoría se siguen depositando en vertedero a coste muy bajo sin tratamiento previo y, en ocasiones, sin cumplir con los requisitos establecidos en la normativa de vertederos.

Para corregir esta situación el Real Decreto 105/2008 prohíbe el depósito en vertedero de RCDs sin tratamiento previo, con la obligación de fijar un sistema de tarifas que desincentive el depósito de residuos que sean valorizables o de aquellos otros en los que su tratamiento previo se haya limitado a una mera clasificación.

Además, y para evitar prácticas fraudulentas, establece una serie de requisitos mínimos para distinguir cuándo la utilización de residuos inertes en obras de restauración, acondicionamiento o relleno puede considerarse

como una operación de valorización y no se trate de una mera eliminación en vertedero. Para ello:

- el órgano competente en materia medioambiental de la Comunidad Autónoma debe haberlo declarado así antes del inicio de las operaciones de gestión de los residuos;
- la operación ha de ser efectuada por un gestor de residuos en posesión de la debida autorización administrativa; y
- el resultado de la operación ha de suponer la sustitución de recursos naturales que, de otra forma, deberían haberse empleado para cumplir el fin buscado en la obra de restauración, acondicionamiento o relleno.

Por último, cabe destacar que este Real Decreto establece que en las obras promovidas por las Administraciones Públicas se deben fomentar las medidas para la prevención de generación de RCDs, así como la utilización de áridos y otros productos procedentes de las actividades de valorización.

#### Productor de RCDs

El productor de residuos de construcción y demolición es la persona física o jurídica titular de la licencia urbanística para llevar a cabo las obras. Cuando no sea precisa esta licencia, será el propie-



## SOSTENIBILIDAD



tario del inmueble en el que se lleven a cabo las actuaciones de construcción o demolición.

Además de las obligaciones exigidas en la Ley 10/1998, el productor de RCDs está obligado a:

- a) Incluir en el proyecto de ejecución de la obra un estudio de gestión de RCDs.
- b) Efectuar un inventario, en obras de demolición, rehabilitación, reparación o reforma, de los residuos peligrosos que se generarán, prever su retirada selectiva, y asegurar su envío a gestores autorizados de residuos peligrosos.
- c) Disponer de la documentación que acredite que los RCDs producidos en las obras han sido gestionados conforme a los criterios indicados en el R.D. 105/2008, debiendo conservar esta documentación durante 5 años.
- d) En el caso de obras sometidas a licencias urbanísticas constituir, cuando proceda, la fianza o garantía financiera que asegure el cumplimiento de los requisitos relativos a los RCDs de las obras, en los términos previstos por la legislación correspondiente de la Comunidad Autónoma.

### Poseedor de RCDs

El poseedor de RCDs es la persona física o jurídica que tiene en su poder los residuos y no sea un gestor de residuos. En la mayoría de los casos esta figura recaerá sobre el constructor, subcontratista o los trabajadores autónomos que estén realizando la ejecución

de las obras (quedan expresamente excluidos de esta figura los trabajadores por cuenta ajena).

Entre las obligaciones del poseedor de los RCDs se establecen las siguientes:

- a) Debe presentar un plan que refleje cómo va a efectuar el tratamiento de los RCDs que se produzcan en la obra que, una vez aprobado por la Dirección Facultativa y aceptado por la propiedad, pasará a formar parte de los documentos contractuales de la obra.
- b) Si no va a efectuar por sí mismo la gestión de los RCDs el poseedor de éstos está obligado a entregarlos a un gestor de residuos, o a participar en un acuerdo o convenio de colaboración para su gestión. En este caso, los residuos han de someterse, por este orden, a las siguientes operaciones: reutilización, reciclado y valorización.
- c) La entrega de los RCDs a un gestor por parte del poseedor debe quedar registrada documentalmente. En el caso de que este gestor únicamente efectúe labores de recogida, almacenamiento transporte o transferencia, deberá figurar también el gestor de valorización o de eliminación ulterior

al que se destinarán los residuos. Esta documentación deberá quedar en poder del poseedor de los RCDs durante 5 años.

d) Sufragar los costes correspondientes a la operación anterior.

e) Mantener las condiciones de higiene y seguridad necesarias mientras los residuos se encuentren en su poder, así como evitar la mezcla de fracciones ya seleccionadas que impidan o dificulten su posterior valorización o eliminación.

f) Separar los RCDs dentro de la propia obra cuando, de forma individualizada, las cantidades previstas que se vayan a generar en total superen las siguientes cantidades:

• Hormigón	80.000 kg
• Residuos cerámicos (ladrillos, tejas, etc.)	40.000 kg
• Metal	2.000 kg
• Madera	1.000 kg
• Vidrio	1.000 kg
• Plástico	500 kg
• Papel y cartón	500 kg

Cuando no haya espacio suficiente en obra la separación podrá encomendarse a un gestor de residuos en una instalación adecuada ajena a la obra, debiéndose recabar la documentación acreditativa de que éste ha cumplido la misión encomendada.

g) El órgano competente en materia medioambiental de la Comunidad Autónoma podrá, de forma excepcional, eximir al poseedor de RCDs de la obligación de proceder a la separación de alguna o de todas las fracciones anteriores, siempre que en el proyecto no se hubiera especificado y presupuestado la misma.

### Obra de construcción o demolición

El R.D. 105/2008 incluye como obra de construcción o demolición a todas aquellas que se llevan a cabo en el ámbito de la edificación y de la obra civil, incluyendo los trabajos de movimiento de tierras para efectuar excavaciones, inyecciones, urbanizaciones, etc., con exclusión de las actividades propias de la industria extractiva.

Como parte integrante de la obra se consideran todas aquellas instalaciones que se montan para dar servicio a ésta y se desmontan una vez finalizada la misma. Entre ellas se incluyen algunas tales como:

- Plantas de machaqueo.
- Plantas de fabricación de hormigones y de materiales tratados con cemento (grava-cemento, suelo-cemento).
- Plantas de fabricación de mezclas bituminosas.
- Talleres de fabricación de cimbras y encofrados.
- Talleres de elaboración de ferralla.
- Almacenes (materiales, residuos).
- Plantas de tratamiento de RCDs de la obra.

### AVANCES PRODUCIDOS HASTA LA FECHA

Aunque el panorama que se presenta nos indica que hay todavía mucho trabajo por realizar, una vista atrás nos demuestra que es mucho el camino que se ha avanzado hasta la situación en la que hoy nos encontramos.

Los principales logros de la puesta en práctica de los distintos Planes de Residuos, nacionales y autonómicos, sin ánimo de ser exhaustivos, son los siguientes:

- Ha aumentado en todas las Administraciones, sectores económicos y sociales, y en la población en su conjunto, la conciencia ambiental en materia de residuos.
- Se han ampliado y mejorado las infraestructuras para el tratamiento adecuado de los residuos, existiendo un sector empresarial dedicado a su gestión.
- Se empiezan a destinar cada vez más recursos económicos a la investigación y puesta en práctica de mejoras tecnológicas para la gestión de residuos.



## SOSTENIBILIDAD

- Se han incrementado de manera notable los sistemas de control, inspección y vigilancia en esta materia, aunque todavía no sean suficientes.
- La gestión actual de los residuos en España es de mucha mejor calidad ecológica, y esa calidad no ha dejado de aumentar en los últimos años, si bien todavía no ha alcanzado el nivel deseable en todos los casos, quedando aún mucho por mejorar.

En cuanto a los aspectos pendientes que requieren de indudables mejoras, cabe mencionar:

- La necesidad de insistir más en la prevención de la generación de residuos, tanto en las regulaciones específicas como en los distintos planes que se elaboren al respecto.
- La existencia de numerosas lagunas informativas y carencias de datos estadísticos en materia de generación y gestión de residuos.
- La existencia de un déficit de instalaciones industriales para el tratamiento de residuos.
- El principio de jerarquía, que se aplica en algunos casos, no se pone en práctica para todos los residuos en los que teóricamente sería posible.
- La mayor parte de los residuos que se generan en España aún van a vertedero, es decir, a eliminación, por lo que es preciso reducir estas cantidades.

### MARCO LEGAL

Para aquellos que quieran conocer cuál es el marco legal que regula la generación y el tratamiento de los RCDs, se recoge a continuación la legislación existente tanto a nivel de la Unión Europea, como a nivel nacional, autonómico y local.

#### A nivel de la Comunidad Europea

Si bien la Unión Europea, ya desde finales de los años 90, considera los RCDs como un "flujo prioritario de residuos", esto nunca se ha traducido en el desarrollo de una legislación específica sobre ellos. Al día de

hoy, la legislación comunitaria que regula su producción y gestión es la Directiva 2006/12/CE, del Parlamento y del Consejo, de 5 de abril, relativa a los residuos (codificación de la Directiva 75/442/CEE).

Aparte de la Directiva marco de residuos, los RCDs están también regulados por el resto de Directivas derivadas de la anterior, en la medida en que les sea de aplicación. Así, a los residuos peligrosos (RP) que se generen en las obras de construcción y demolición se les aplica la Directiva 91/689/CEE.

Merece también una mención especial la legislación comunitaria relativa a los residuos destinados a vertedero, constituida por la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos y por la Decisión del Consejo 2003/33/CE, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y el anexo II de la Directiva 1999/31/CE.

#### A nivel nacional

La legislación básica para los RCDs está constituida por la Ley 10/1998 de residuos y el Real Decreto 105/2008 que regula su producción y gestión.

Para los residuos peligrosos que puedan producirse en obras de construcción y demolición se aplica el régimen general de dichos residuos, constituido por la propia Ley 10/1998 y por el Real Decreto 952/1997, que modifica el Real Decreto 833/1988.

Para los RCDs cuyo destino sea el vertedero, la normativa de aplicación es el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. La Decisión Comuni-



taria 2003/33/CE, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos, entró en vigor, sin necesidad de transposición al ordenamiento jurídico español, el 16 de julio de 2004.

### A nivel de comunidades autónomas

#### CATALUÑA

- Decreto 201/1994, de 20 de julio, regulador de los escombros y otros residuos de construcción (modificado por Decreto 161/2001).
- Decreto 21/2006, de 14 de febrero, regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios.
- Ley 6/1993, de 15 de julio, reguladora de los residuos.
- Proyecto de modificación de la Ley 16/2003, de 13 de junio, de financiación de las infraestructuras de tratamientos de residuos y del canon sobre el depósito de residuos municipales.

#### MADRID

- Ley 5/2003, de 20 de marzo, de residuos de la Comunidad de Madrid. Capítulo V: Normas específicas aplicables a los RCDs.
- Ley 6/2003, de 20 de marzo, del Impuesto sobre Depósito de Residuos.
- Orden 2690/2006, de 28 de julio, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se regula la gestión de los RCDs en la Comunidad de Madrid. (BOCM de 14/08/2006).

#### GALICIA

- Decreto 174/2005, de 9 de julio, por el que se regula el régimen jurídico de la producción y gestión de residuos y el Registro General de Productores y Gestores de residuos de Galicia.

#### BALEARES

- Decreto 10/2000, de 4 de febrero, por el que se fija provisionalmente y con carácter de extrema

urgencia, la selección y vertido de los residuos de la construcción y demolición.

- Orden de la Consejería de Medio Ambiente, de 28 de febrero de 2000, de medidas transitorias para la autorización de instalaciones de valorización y eliminación de residuos de la construcción y demolición.
- Resolución de la Consejería de Medio Ambiente, de 26 de febrero de 2001, en aplicación de la disposición adicional de la Orden de 28 de febrero de 2000, sobre las medidas transitorias para la autorización de instalaciones de valorización y eliminación de residuos de construcción y demolición.

#### MURCIA

- Ley 9/2005, de 29 de diciembre, de medidas tributarias en materia de Tributos cedidos y Tributos propios año 2006

#### COMUNIDAD VALENCIANA

- Decreto 200/2004, de 1 de octubre, del Consell de la Generalitat, por el que se regula la utilización de residuos inertes adecuados en obras de restauración, acondicionamiento y relleno, o con fines de construcción.

#### PAÍS VASCO

- Decreto 423/1994, de 2 de noviembre, sobre gestión de residuos inertes e inertizados.

#### ARAGÓN

- Decreto 262/2006, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la producción, posesión y gestión de los RCDs en la Comunidad Autónoma de Aragón.

### A nivel local

Según el artículo 4 de la Ley 10/1998, de residuos, las Entidades Locales son competentes para la gestión de los residuos urbanos (RU), en los términos establecidos en dicha Ley y en las que, en su caso, dicten las Comunidades Autónomas. Dentro del concepto de RU están incluidos los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria. Estos serían los RCDs cuya gestión, en principio, es competencia de las Entidades Locales, y para los que los municipios deben ofrecer un servicio de recogida, transporte y, al menos, eliminación.



## SOSTENIBILIDAD

Las condiciones a las que han de someterse la generación y gestión de los RCDs que caen dentro del ámbito de las competencias de las Entidades Locales se establecen mediante las respectivas Ordenanzas.

La forma en que las Entidades Locales (municipios, mancomunidades, Diputaciones, Consejos o Cabildos insulares) intervienen en las actividades de producción y gestión de RCDs varía enormemente de unas Comunidades Autónomas a otras, incluso de unas provincias a otras dentro de la misma comunidad.

Las diferencias responden a las circunstancias propias de cada caso. Entre las circunstancias más influyentes están el grado de intervención que la Entidad Local, históricamente, ha tenido en la gestión de los RCDs en su territorio, el reparto competencial establecido en la legislación de la Comunidad Autónoma en que se ubique la Entidad Local y el modelo de gestión de los RCDs establecido por ella.

La casuística en España es de tal variedad que sería imposible presentar y analizar todos los modelos de intervención que existen, por lo que éstos deberán ser objeto de consulta en cada caso concreto.

### EL II PLAN NACIONAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (2008-2015)

Con la experiencia adquirida en la puesta en marcha y ejecución del I PNRC 2001-2006 y el nuevo marco legislativo ampliado y mejorado con el R.D. 105/2008, se está preparando el II PNRC cuyo escenario de actuación abarca desde el año 2008 hasta el año 2015.

Para su elaboración se ha partido de los planes elaborados por las Comunidades Autónomas y por las Entidades Locales, así como del "Estudio sobre la generación y gestión de los recursos de construcción y demolición en España", elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2006, y se han recabado datos sobre producción y gestión de RCDs, tanto de fuentes procedentes de las Administraciones responsables, como de empresas constructoras, gestoras de residuos, etc.

En el diagnóstico de la situación actual de los RCDs, alguno de cuyos datos se han expuesto ya en este artículo, se deriva que se ha producido un aumento en el ratio de residuos producidos por habitante y año, con valores comprendidos entre 790 y 1.650 kg,

que superan ampliamente los valores considerados en planes anteriores.

En las previsiones efectuadas se ha tenido en cuenta el periodo de desaceleración que está experimentando en estos momentos la actividad de la construcción en nuestro país.

Una de las mayores dificultades con las que se han encontrado los redactores de este Plan, cuya aprobación se producirá seguramente en los próximos meses, es la falta de información producida en la mayoría de las ocasiones por falta de respuesta a las encuestas circuladas tanto entre organismos públicos como entre empresas de gestión de residuos.

Por ello, las previsiones efectuadas se han basado en las cifras consolidadas del año 2005 a las que se han aplicado una serie de indicadores de crecimiento de la actividad en el sector de la construcción, apoyándose para ello en estudios efectuados por el Ministerio de Fomento, de instituciones como Euroconstruct o el Servicio de Estudios Económicos del BBVA, entre otros.

### Aplicación del principio de prevención

El II PNRC se articula en torno al principio de prevención, es decir, impulsar todas aquellas medidas que consigan:

- reducir la cantidad de RCDs que puedan generarse así como la cantidad de sustancias peligrosas que éstos puedan contener;
- mejorar la reciclabilidad de los productos que, con el tiempo, se convertirán en residuos.

Para ello, se han tenido en cuenta las particularidades que rodean al sector de la construcción, entre las que pueden destacarse las siguientes:

1. La actividad constructora se desarrolla en obras que, a menudo, son singulares e irrepetibles, en

las que se utilizan materiales de muy diversa índole y naturaleza, con posibles aditivos o cargas específicas, que los hacen realmente distintos a efectos ambientales, por lo que las medidas de prevención deben efectuarse a nivel de proyecto y de especificación de los mismos.

2. Es importante aplicar medidas para la prevención en la generación de residuos actuando sobre una adecuada gestión de compras y almacenes, evitando que los productos se conviertan en residuos por unas condiciones inadecuadas de almacenamiento o por caducidad de los mismos.
3. Los materiales empleados en construcción tienen un ciclo de vida largo o muy largo (pudiendo alcanzar en ocasiones los 50 años), por lo que las

medidas que sobre ellos se apliquen darán sus frutos en el futuro.

4. Esta dilación en el tiempo hace que los agentes involucrados en la adopción de medidas de prevención no estén suficientemente motivados, por lo que la intervención, motivadora o disuasoria, por parte de las Administraciones Públicas es absolutamente imprescindible.

Las medidas que finalmente pondrá en marcha este II PNRC se basan en dos principios rectores:

- la responsabilidad del productor o de "quien contamina paga",
- "de la cuna a la cuna", incluido en la política integrada de producto,

y para los cuales el R.D. 105/2008 ha establecido las bases legales necesarias.

Tabla 6.- Estimación de la generación de RCDs, en miles de toneladas, en el periodo 2006-2010 (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente).

COMUNIDAD AUTÓNOMA	2006	2007	2008	2009	2010
Andalucía	5.921	6.066	6.186	6.308	6.402
Aragón	1.297	1.329	1.355	1.382	1.403
Asturias	528	540	551	561	569
Canarias	1.029	1.055	1.075	1.096	1.113
Cantabria	545	558	569	580	589
Castilla La Mancha	3.289	3.370	3.436	3.504	3.557
Castilla y León	1.200	1.229	1.252	1.277	1.296
Cataluña	6.979	7.148	7.287	7.429	7.538
Extremadura	600	615	627	639	648
Galicia	2.231	2.285	2.329	2.375	2.410
I. Baleares	651	667	679	693	703
Madrid	3.588	3.676	3.749	3.823	3.880
Murcia	1.501	1.538	1.568	1.599	1.623
Navarra	310	317	323	330	335
País Vasco	1.239	1.270	1.295	1.321	1.341
La Rioja	437	448	456	466	472
Valencia	4.897	5.017	5.116	5.217	5.294
Ceuta y Melilla	38	39	40	41	42
<b>Total Nacional</b>	<b>36.334</b>	<b>37.222</b>	<b>37.954</b>	<b>38.699</b>	<b>39.273</b>



## SOSTENIBILIDAD

### Medidas previstas

La primera de las medidas previstas por el II PNRC se refiere al ámbito reglamentario y ya se ha cubierto, como se acaba de indicar, con la aprobación del R.D. 105/2008.

Entre las medidas económicas hay que destacar la aplicación de un impuesto o tasa para el depósito de RCDs en vertedero en el conjunto de España, dando un tratamiento homogéneo a los ya existentes en algunas Comunidades Autónomas (Cataluña, Madrid y Murcia), contemplándose la posibilidad de esta-



blecer algunos incentivos fiscales en la reducción del impuesto de sociedades, o la celebración de acuerdos voluntarios entre entes privados (promotores, constructores, empresas productoras de áridos, fabricantes de productos, etc.) y públicos que supongan una serie de ventajas tanto en la vía del aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, como en la mayor facilidad del cumplimiento de sus responsabilidades ambientales.

Existen también un conjunto de medidas relativas a los fabricantes de productos de construcción, en relación al propio diseño del producto para facilitar su reutilización, reciclado y valoración, así como la de los envases o sistemas de embalaje que se emplee para ellos. También se contempla el aumento de su vida útil o la de las unidades de obra de las que formen parte; la mejora en su mantenimiento o su posible sustitución por productos procedentes del reciclado de residuos, empleando para ello una herramienta de análisis común basada en el ciclo de vida.

Por último, otra de las medidas que queremos destacar en este artículo hace referencia al fomento del reciclado frente a la eliminación, estableciendo para ello una evaluación de las plantas que se cataloguen como de valorización, cuyo rendimiento (relación entre el peso de material valorizado en planta y el peso del residuo que ha entrado en la planta) ha de ser superior a 0,8 en el año 2010 y posteriores, como requisito imprescindible para mantener esta calificación. En el caso de no alcanzar estos niveles, pasarán automáticamente a considerarse como plantas de eliminación, con la pérdida de incentivos económicos que ello supone.

### Infraestructuras necesarias y su financiación

La estimación de la generación de RCDs en el periodo 2006-2010 se recoge, por Comunidades Autónomas, en la Tabla 6. Para poder atender a estas necesidades, y atendiendo a las infraestructuras ya existentes en nuestro país, es necesario cubrir el déficit de infraes-

estructuras señalado en la Tabla 7, cuyo presupuesto asciende inicialmente a la cantidad de 1.277 millones de euros.

Para su financiación se aplicará el principio básico de que los responsables de la generación de los residuos correrán con los gastos derivados de su gestión, tanto en inversiones de infraestructuras como con los gastos variables de los sistemas de recogida, transporte y gestión.

No obstante, el Ministerio de Medio Ambiente tiene previsto aportar fondos propios para la realización de alguna de las medidas previstas en el Plan como:

- Estudios teóricos para mejorar la gestión de los RCDs.
- Ayudas a I+D+i encaminadas a impulsar y ampliar las medidas de prevención.

- Campañas de concienciación ciudadana para motivar su participación y facilitar el logro de los objetivos del Plan.

Para ello, se destinarán 211 millones de euros en el periodo 2008-2015, que se invertirán en programas propios del MMA, o en colaboración con programas similares de otras Administraciones.

### EL PAPEL DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Para finalizar este artículo merece la pena efectuar una reflexión de cuál es el papel que el hormigón estructural juega en estos momentos en la generación y utilización de RCDs, y el que puede jugar en un futuro.

El hormigón comienza a ser, y lo será más en el futuro, un consumidor de productos reciclados y reutilizados. Asimismo, en él se utiliza con mayor frecuencia el principio de prevención, tratando de generar la menor cantidad posible de residuos.

Tabla 7.- Déficit en infraestructuras para la gestión de RCDs (Fuente: Ministerio de Medio Ambiente).

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Plantas de tratamiento				Estaciones de transferencia	Vertederos
	100.000 t/año	200.000 t/año	500.000 t/año	800.000 t/año		
Andalucía		11	1		30	32
Aragón		3			10	44
Asturias		2			5	1
Canarias	1	2			5	2
Cantabria		2			5	2
Castilla La Mancha		11			20	13
Castilla y León	2	3	1		30	9
Cataluña	41	14			20	64
Extremadura	4				10	3
Galicia	8	3			11	10
I. Baleares		2			6	2
Madrid		5	6	2	6	5
Murcia	1		2		3	3
Navarra		2			5	2
País Vasco			3		8	4
La Rioja		2			4	2
Valencia		8	2		15	7
Ceuta y Melilla	2				0	2
<b>Total Nacional</b>	<b>59</b>	<b>70</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>193</b>	<b>207</b>



## SOSTENIBILIDAD

Para sostener estas afirmaciones vamos a realizar un repaso de la contribución a la sostenibilidad que hacen los distintos componentes que conforman el hormigón estructural.

Comenzando por el acero, elemento esencial de esta solución constructiva, el 100% del acero corrugado fabricado y consumido en nuestro país procede de horno eléctrico, cuya materia prima de partida es la chatarra férrea y, por tanto, se trata de una actividad plenamente recicladora.

El otro material básico es el cemento, en el que se utilizan desde hace ya muchos años adiciones activas, como las cenizas volantes o las escorias siderúrgicas, subproductos de otros procesos industriales, y en el que comienzan a emplearse combustibles alternativos (neumáticos, aceites, harinas animales, etc.) como fuente de energía en su fabricación.

En la fabricación del hormigón comienzan a emplearse técnicas, cada vez más comunes, para evitar la generación de residuos como consecuencia de posibles no-conformidades del producto. Asimismo, comienzan a emplearse áridos procedentes del reciclado de elementos demolidos, que sustituyen a los áridos naturales en una proporción que puede llegar hasta el 20 %.

En la elaboración de la ferralla se ha generalizado el uso de programas y de equipos automáticos que permiten optimizar la elaboración de formas de armado, así como la utilización del corrugado suministrado en forma de rollo, cubriendo una amplia serie de diámetros (6 a 20 mm) lo que está permitiendo reducir la cantidad de despuntes generados en esta actividad.

En el campo de la prevención, merece destacar el avance producido en la resistencia y prestaciones de los hormigones, que permiten no sólo ir a piezas más esbeltas y, por tanto, de menor peso y volumen, sino también a mejores condiciones de durabilidad, alargando la vida útil de las estructuras y reduciendo los costes y actividades de conservación y rehabilitación de las mismas.

La construcción industrializada está introduciendo también una nueva filosofía en la construcción de viviendas, con la incorpora-

ción de módulos que incorporan todos los servicios e instalaciones (cuartos de baño, cocinas, etc.), o paneles en los que van embebidas las conducciones para instalaciones eléctricas, por ejemplo, que evitan la práctica de "abrir roza" y reducen considerablemente la generación de residuos durante la construcción de obras nuevas.

Como colofón, destacar que la nueva reglamentación en materia de hormigón estructural: la Instrucción EHE articula una estrategia de sostenibilidad a través de cinco grandes líneas:

1. Se asume la necesidad de evaluar y de especificar la vida útil de las construcciones en función de su finalidad, teniendo en cuenta todo su ciclo de vida, desde su concepción hasta su demolición, potenciando el reciclaje de los RCDs generados.
2. Se potencia el carácter de sumidero ambiental de las estructuras de hormigón, habilitando las vías necesarias para avanzar en esta línea en función del avance de los conocimientos técnicos.
3. Se establecen estrategias medioambientales durante la fase de construcción para reducir el impacto que ésta pueda tener sobre su entorno.
4. Se cuantifica la contribución de las estructuras a la sostenibilidad mediante la aplicación de indicadores en las fases de proyecto y ejecución.
5. Y por último, y no por ello menos importante, se asientan las bases para aumentar la sensibilidad de los agentes de la construcción a la demanda social de la sostenibilidad, de manera que hagan suyos los nuevos planteamientos y formulen nuevas propuestas que permitan superar nuestras limitaciones. ■

# VALORIZACIÓN Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL



**Grupo Alfonso Gallardo**

**H**ablar de Desarrollo Sostenible es hablar de conservación y respeto al Medio Ambiente y de utilizar los recursos existentes de manera eficiente de forma que permita que sean utilizados por las generaciones presentes y por las futuras.

El Grupo Alfonso Gallardo, asentado en Extremadura desde la década de los años 60 y, en la actualidad, con plantas en Madrid, Asturias, País Vasco y Alemania, apuesta por este Desarrollo Sostenible, en sintonía con la creciente sensibilidad que este tema tiene entre los ciudadanos.

El cuidado de la naturaleza es, sin duda, condición de partida en todos los ámbitos, también en el industrial, y el Grupo Alfonso Gallardo está preocupado por una gestión medioambiental basada en la idea de desarrollo sostenible; de ahí que, además de apostar por el acero, el cemento y el refino, principales pilares del desarrollo industrial, también está inmerso en diversos proyectos de energías renovables.

En todas y cada una de las empresas que conforman este grupo industrial con sede social en Jerez de los Caballeros existe un compromiso de mejora y defensa del Medio Ambiente con la finalidad de llegar más allá del

estricto cumplimiento de la legislación vigente en sus actividades de fabricación, controlando sus emisiones acústicas, atmosféricas, los residuos sólidos y/o líquidos y el almacenamiento y correcta gestión de los posibles residuos peligrosos que pudieran generarse.

## SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

Se está implantado un Sistema propio de Gestión Medioambiental (SGMA), según la norma ISO 14.000, con el fin de asegurar el cumplimiento de la ley vigente, buscar el mayor equilibrio entre el entorno y las actividades productivas de la empresa, reducir las emisiones contaminantes, así como fomentar una cultura de sensibilidad medioambiental entre los trabajadores mediante la información y la formación en temas como el reciclado, la reutilización de materiales y la valorización energética.

El Sistema de Gestión Medioambiental es un instrumento de carácter voluntario dirigido a alcanzar un alto nivel de protección del Medio Ambiente en el marco del desarrollo sostenible. Para ello se han diseñado unos procedimientos y recursos en los que se incorporan las cuestiones medioambientales a las actividades operativas de cada empresa.





## SOSTENIBILIDAD

De esta forma, los trabajadores de plantilla y de las empresas auxiliares participan en actividades de formación relacionadas con los posibles impactos medioambientales en sus puestos de trabajo. Además, se ha instalado, en cada una de las empresas, numerosa cartelera identificadora de los procedimientos a seguir en cuanto a los residuos generados por cada trabajador y se han ampliado los puntos limpios para la segregación de residuos.

En la gestión medioambiental y gestión sostenible de los recursos del Grupo, coordinada por el Departamento de Medio Ambiente, trabajan, de forma directa, en torno a 70 personas, repartidas entre el personal que se dedica a la adecuación de los materiales que se utilizarán posteriormente como materia prima y al reciclado de otros metales, los trabajadores que gestionan los residuos, emisiones o aguas residuales producidos por la propia actividad, así como personal de las plantas de tratamiento y recirculación de aguas de proceso y de las tres estaciones depuradoras de aguas residuales industriales (EDARI's).

También destacan los empleados que se encuentra en las zonas de almacenamiento y gestión de residuos donde se realizan labo-

res de limpieza industrial, segregación, recuperación y clasificación de los residuos producidos.

### NUEVA ACERÍA

Dentro de las actividades del Grupo Gallardo destaca el reciclado y recuperación de materiales metálicos. La producción de acero a partir de hierro desechado reduce el consumo de mineral de hierro y, por tanto, reduce el impacto ambiental que se produce en la extracción del mineral en las canteras.

La nueva acería de Siderúrgica Balboa, que estará totalmente operativa a lo largo del 2008, reciclará al año más de dos millones de toneladas de metal férrico.

Esta nueva planta, en la que el Grupo Alfonso Gallardo ha invertido unos 500 millones de euros, será una de las más modernas, más eficientes energéticamente y más respetuosa con el Medio Ambiente de Europa.



 Panorámica de la nueva acería Balboa II.

Ha sido diseñada y construida de acuerdo a las Mejores Técnicas Disponibles (MTD's) que aseguran la utilización de equipos y procesos de última generación, con eficiencias muy superiores a las empleadas actualmente, lo que se traduce en una disminución significativa de los impactos medioambientales propios de unas instalaciones de estas características.

En este sentido, la nueva planta cuenta con un proceso de Quenching en el sistema de depuración de polvos de acería que permite enfriar rápidamente los humos provenientes del Horno Eléctrico de Arco (HEA) a fin de eliminar la producción de dioxinas, uno de los componentes más contaminantes de los humos producidos en la obtención de acero a partir de chatarra en HEA.

El HEA aplica también las MTD's, funciona con energía mixta, es decir, energía eléctrica, energía de combustión y energía química, obteniendo con esta combinación un proceso de espumación de la escoria que reduce considerablemente el consumo energético.

En virtud del compromiso con el entorno por parte del Grupo Alfonso Gallardo, se han minimizado los impactos medioambientales, la valorización de los residuos y la prevención de riesgos.

De esta forma, la nueva Siderúrgica dispondrá de una red de aguas residuales que recogerá las aguas utili-



➔ Instalaciones de depuración de agua en la nueva acería.

zadas en el sistema de refrigeración del proceso productivo. Las aguas recogidas se conducirán hasta la planta de tratamiento de aguas industriales y será reutilizada con posterioridad. Con esta mejora de rendimiento de las aguas en circuito cerrado se reduce la necesidad de captación de agua nueva.

También se controlará con total rigor las emisiones acústicas, atmosféricas, los residuos sólidos y líquidos y el almacenamiento y correcta gestión de residuos peligrosos. El proyecto cuenta con la Autorización Ambiental Integrada (AAI) de la Dirección General de Medio Ambiente de la Junta de Extremadura.

### VALORIZACIÓN

La nueva Siderúrgica producirá 1,2 millones de toneladas de acero al año que generarán unas 200.000 toneladas de escoria "negra" (residuos inertes resultantes del proceso de producción). Esta escoria "negra", gracias a un proceso de valorización implantado en la planta, se convertirá en un árido siderúrgico; un material con mayores prestaciones técnicas aplicables a obras de infraestructura civil como capas de rodadura, base y subbase de carreteras, en zahorras para explanación y urbanización, y como árido en productos de prefabricados de hormigón, entre otras utilidades.

Además de reducir los residuos a eliminar se evitará el consumo de áridos naturales y su consiguiente impacto ambiental.

En relación también con la valorización energética, la empresa Cementos Balboa, perteneciente al Grupo Gallardo, junto con la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España, Oficemen, y las federaciones sectoriales de los sindicatos mayoritarios UGT y CC.OO. han constituido en Extremadura la Comisión Autónoma de Seguimiento del Acuerdo de Valorización Energética cuyo objetivo es reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> fomentando el uso de combustibles alternativos.

Estas comisiones suponen un paso más dentro de la estrategia sostenible del sector cementero que apuesta por salvaguardar la competitividad de las empresas cementeras y el empleo estable con la participación de los trabajadores, en el marco del respeto al medio ambiente y el uso sostenible de los recursos. ■

# X Conferencia Internacional MATERIALES Y TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES

**B**ajo el lema "Valorización de materiales para la sostenibilidad" tendrá lugar en Cali (Bogotá), entre el 12 y el 14 de noviembre, la Décima Conferencia Internacional sobre Materiales y Tecnologías

no Convencionales, cuyo objetivo es el debate científico sobre los últimos avances producidos a nivel mundial en la aplicación de subproductos resultantes de las actividades agrícolas, mineras e industriales, para determinar cuáles son las ventajas sociales, económicas y medioambientales que representan su empleo, y en qué medida su valorización contribuye a la conservación de nuestros recursos naturales y de nuestras fuentes de energía.

Los principales temas que se abordarán durante esta Conferencia se refieren a materiales como escorias, cementos naturales, puzolanas y otras adiciones para los cementos, filleres para la construcción, fibras naturales y sus tratamientos, matrices poliméricas con refuerzos no convencionales, empleo de subproductos como materiales de construcción, valorización y reciclado de residuos industriales procedentes de la minería, la agricultura o los residuos urbanos, materiales y sistemas de construcción respetuosos con el medioambiente, etc.

Para una mayor información sobre este evento puede consultarse la siguiente dirección de Internet: <http://www.abmtenc.civ.puc-rio.br> ■

Tenth International Conference on  
**Non-Conventional Materials and Technologies - NOCMAT 2008**  
Materials Valorization for Sustainability

Cali, Colombia, 12th - 14th November 2008

abmtena  
Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais

Universidad del Valle  
Facultad de Ingeniería  
Grupo de Investigación Materiales Compuestos

CYTED  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO  
Proyecto VALORES

CENM  
Centro de Excelencia en Nuevos Materiales

## PUBLICACIONES

# HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES

La Federación Internacional del Hormigón (fib) ha publicado recientemente el boletín nº 42 "Constitutive modelling of high strength / high performance concrete" en el que se recopilan los avances producidos en los últimos años en el conocimiento de las características de un hormigón que cada vez se está empleando más en la construcción, y con el que se están alcanzando resistencias a compresión de aproximadamente 150 N/mm<sup>2</sup>.

Para las distintas propiedades del hormigón (mecánicas, reológicas, diferidas, fatiga, etc.) se han formulado ecuaciones constitutivas en las que se ha procurado aunar la simplicidad y la operatividad tratando de abarcar no sólo a los hormigones de altas prestaciones, sino también a los hormigones convencionales.

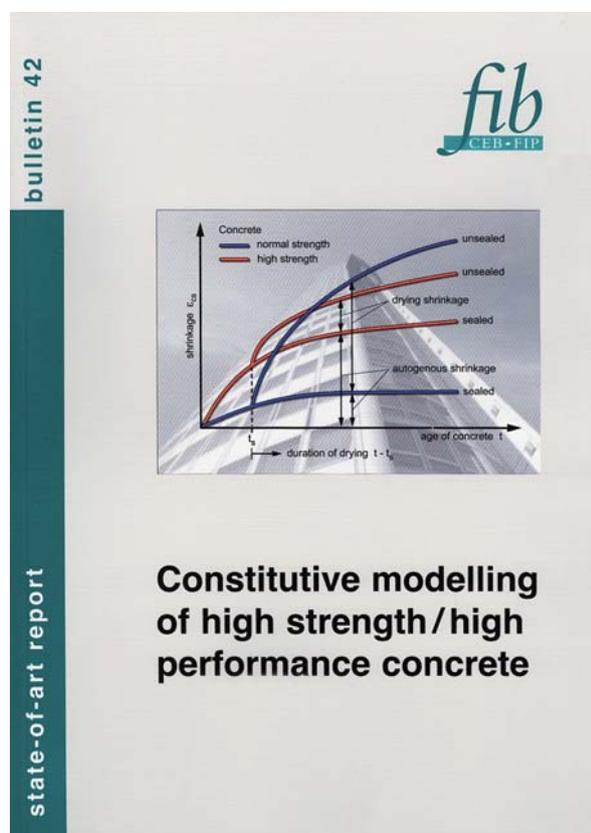
Esta publicación será, sin lugar a dudas, una útil herramienta de trabajo para complementar el tratamiento que de estos hormigones efectúa la Instrucción de Hormigón Estructural.

A continuación se recoge el contenido de los principales capítulos del boletín:

- Definiciones y clasificación
- Densidad
- Resistencia (a compresión, a tracción y bajo carga multiaxial)
- Tensión y deformación (módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, diagrama tensión-deformación para cargas de corta duración, cortante por fricción en fisuras, capacidad de rotación).

- Impactos (resistencia, propiedades de fractura, etc.)
- Efectos diferidos (evolución de la resistencia y módulo de elasticidad, resistencia bajo carga permanente, retracción y fluencia).
- Fatiga
- Efectos térmicos (madurez, dilatación térmica, propiedades mecánicas).
- Mecanismos de transporte del agua, el vapor y los cloruros en el hormigón endurecido.

Los interesados en adquirir esta publicación pueden hacerlo a través de la página web de fib (<http://www.fib-international.org/publications/order/>). ■





## NOTICIAS

# UNIONES EN ESTRUCTURAS PREFABRICADAS

Las uniones son uno de los principales elementos en una estructura constituida por elementos prefabricados. Su comportamiento está relacionado con los estados límite de la estructura, pero también con los procesos de fabricación de los elementos que la constituyen, su montaje y su posterior mantenimiento.

A pesar de que en la literatura técnica pueden encontrarse numerosos ejemplos y soluciones para casi cualquier tipo de unión existe una gran laguna en algo más básico y primario: la filosofía con la cual hay que abordar el diseño de las uniones en este tipo de estructuras.

Dar respuesta a esta necesidad ha sido el objetivo del Grupo de Trabajo TG 6.2 de la Comisión 6 "Prefabricación" de fib, quedando su actividad recogida en la monografía nº 43 "Structural connections for precast concrete buildings".

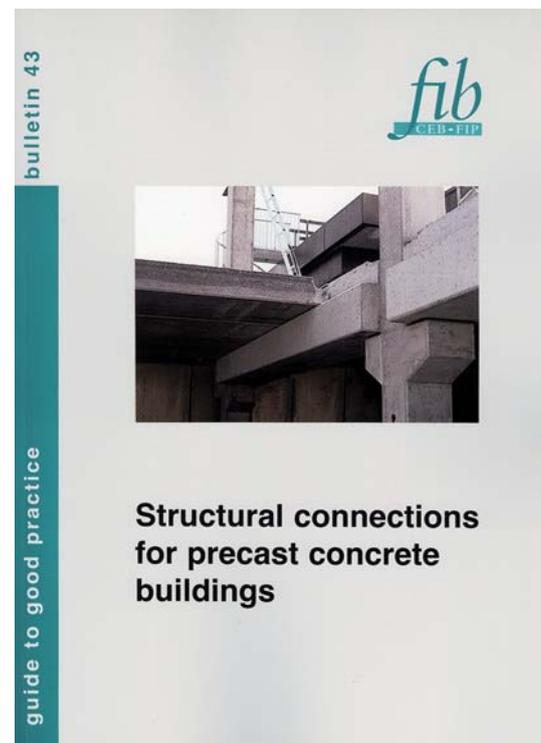
Esta monografía consta de dos partes; la primera relativa a las consideraciones de tipo general y a la filosofía que ha de rodear el diseño de las uniones estructurales, y una segunda parte en la que se abordan los mecanismos de transmisión de esfuerzos a través de estas uniones, con el objetivo principal de poder abordar el diseño de las mismas en función de la situación considerada: condiciones de servicio, estados límites últimos, situaciones extraordinarias como impactos, cargas imprevistas, sismo o la acción del fuego. Además, esta publicación se completa con otros aspectos importantes como la fabricación de los elementos, su manejo y colocación en obra, durabilidad y mantenimiento.

A continuación se relacionan los títulos de los capítulos en los que se divide esta monografía:

- Introducción

- Sistemas estructurales prefabricados e interacción estructural
- Consideraciones básicas para el diseño de uniones estructurales
- Otros aspectos de diseño
- Integridad estructural
- Transmisión de esfuerzos de compresión
- Transmisión de esfuerzos de tracción
- Transmisión del cortante
- Transmisión de momentos flectores y torsores.
- Ejemplos de análisis de mecanismos de colapso

Los interesados en adquirir esta publicación pueden hacerlo a través de la página web de fib (<http://www.fib-international.org/publications/order/>). ■



# ARCER

Armaduras para Hormigón

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.

## La tranquilidad que aporta el líder



Orense 58, 10º D; 28020 MADRID  
Tel.: 91 556 76 98; Fax: 91 556 75 89  
[www.arcer.es](http://www.arcer.es)  
E-mail: [buzon@arcer.es](mailto:buzon@arcer.es)

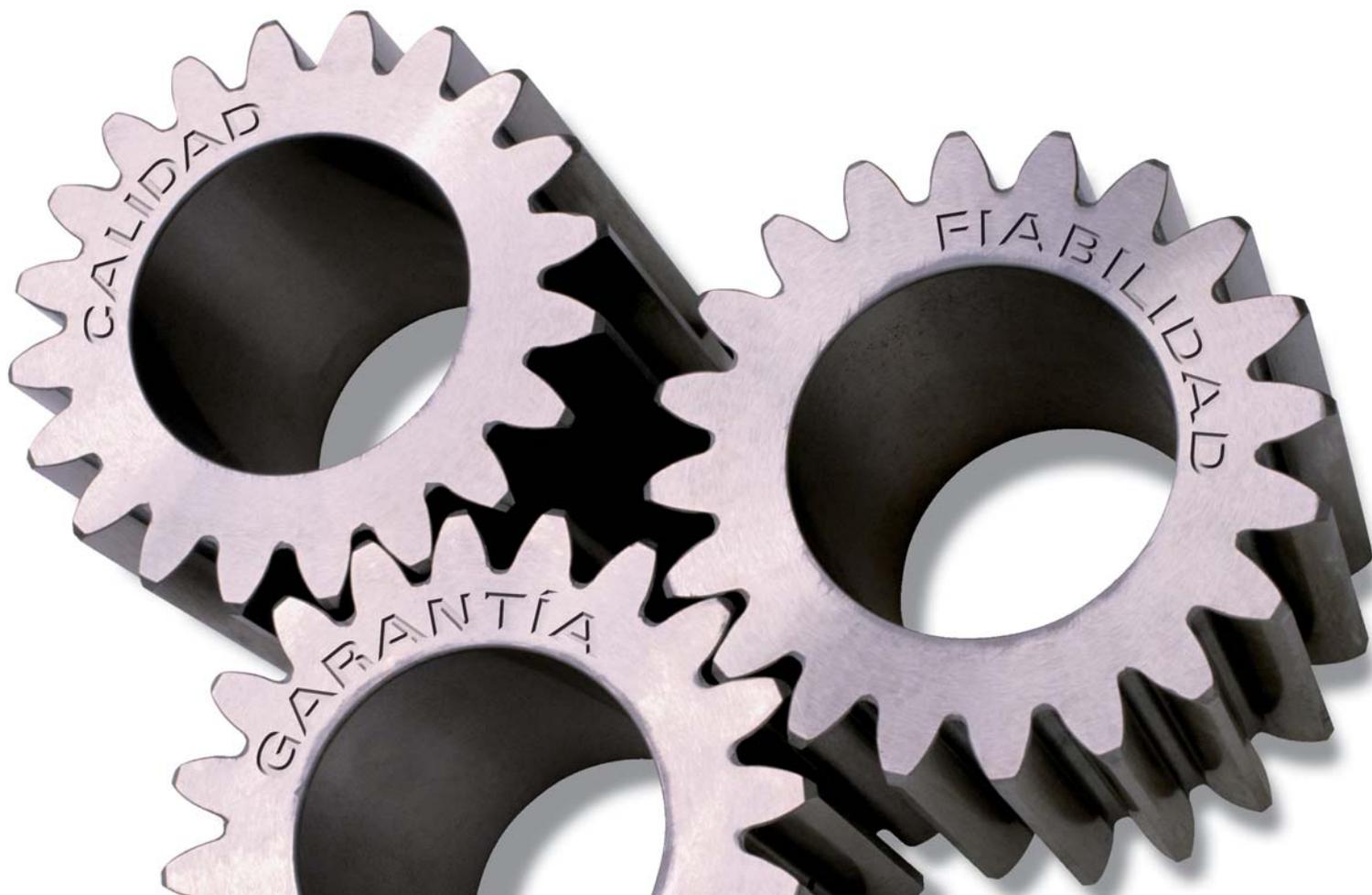
AENOR



Producto  
Certificado

# FERRA PLUS

*... mucho más que ferralla certificada*



## Empresas en posesión de la marca

Armacentro, S.A.

Armalla, S.L.

Cesáreo Munera, S.L.

Elaboración y Montajes de Armaduras, S.A.

Elaborados Férricos, S.A. – Bonavista

Elaborados Férricos, S.A. – L' Arboc

Ferralla Gastón, S.A.

Ferrallados Core, S.A.

Ferrallas Albacete, S.A.

Ferrallas Haro, S.L.

Ferrallas JJP Maestrat, S.L.

Ferrallats Armangué, S.A.

Ferrallats Can Prunera, S.L.

Ferrobérica, S.L.

Ferrofet Catalana, S.L.

Ferros La Pobla, S.A.

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 Lubesa, S.L.

Hierros Santa Cruz Santiago, S.L.

Hierros Turia, S.A.

Hierros Uriarte, S.L.

Hierros y Aceros de Mallorca, S.A.

Hierros y Montajes, S.A.

Hijos de Lorenzo Sancho, S.A.

Jesús Alonso Rodríguez, 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.

Teinco, S.L.

Transformados y Ferralla Moral, S. L.

Xavier Bisbal, S.L.