

# zunchlo

Nº 31 • MARZO 2012



**EN PORTADA**  
*Torre Iberdrola*

**REPORTAJES**

*Las escorias siderúrgicas. Áridos diseñados para el presente y el futuro*

# ARCER

## Armaduras para Hormigón

Trazabilidad



Prestaciones adicionales

Seguridad para el usuario



Distintivo de Calidad oficialmente reconocido



Los aceros ARCER cuentan con la confianza y reconocimiento de sus usuarios, gracias a la labor continua de investigación e innovación tecnológica efectuada. Mayores prestaciones, seguridad y elevado nivel de calidad siguen siendo nuestra mejor carta de presentación.



Éstos aceros están en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido por la Administración, lo que les permite beneficiarse de las consideraciones especiales previstas a tal efecto por la reglamentación obligatoria en materia de hormigón estructural.



AENOR



Producto  
Certificado



# Sumario

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

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

#### DIRECTOR DE LA PUBLICACIÓN:

Julio José Vaquero García

#### ASESORES:

Juan Jesús Álvarez Andrés

Emilio Caro de la Rosa

Ignacio Cortés Moreira

Antonio Garrido Hernández

Eduardo Gimeno Fungairiño

Fernando Rodríguez García

Valentín Trijueque y Gutiérrez de los Santos

Luis Vega Catalán

#### EDICIÓN:

CALIDAD SIDERÚRGICA, S.L.

C/ Orense 58, 10º C

28020 Madrid

#### DISEÑO, PRODUCCIÓN Y PUBLICIDAD:

Advertising Label 3, S.L. (ALCUBO)

Tel.: 91 553 72 20

Fax: 91 535 38 85

#### IMPRESIÓN:

MEDINACELI PRINTER, S.L.

Depósito legal: M-43355-2004

ISSN: 1885-6241

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

## 3 EN PORTADA

- Torre Iberdrola.

## 13 REPORTAJES

- Las escorias siderúrgicas. Áridos diseñados para el presente y el futuro.
- Análisis económico de la utilización de armaduras de aceros inoxidables en estructuras de hormigón.

## 35 RESEÑAS

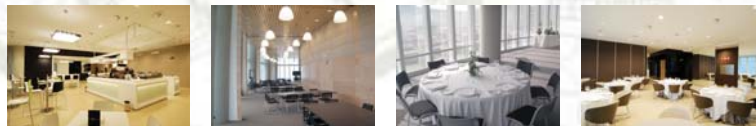
- Recomendaciones sobre seguridad y salud en las obras.
- Aplicaciones prácticas del modelo de bielas y tirantes.

## 37 NOTICIAS

- La mitad de las microempresas españolas apuestan por el crecimiento a pesar de la crisis.
- Pastor anuncia un nuevo Plan de Infraestructuras 2012-2024.



# TORRE IBERDROLA BILBAO



EL EDIFICIO DE OFICINAS MÁS EMBLEMÁTICO  
DEL NORTE DE ESPAÑA  
50.000 m<sup>2</sup> DE OFICINAS EN ALQUILER  
RESTAURANTE  
5 SALAS DE REUNIONES.

BUSINESS CENTER ORGANIZACIÓN DE EVENTOS EN LA PLANTA 24

TORRE IBERDROLA BILBAO

TORRE IBERDROLA AIE

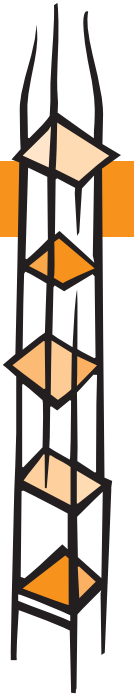
+34 94 4354349

[www.torreiberdrola.com](http://www.torreiberdrola.com)

[torreiberdrola@torreiberdrola.com](mailto:torreiberdrola@torreiberdrola.com)

Plaza Euskadi, 5, planta 9. 48009 Bilbao





# TORRE IBERDROLA

**María del Mar Mayo Martínez** - Ingeniero de Caminos. Área de Ingeniería Civil. Idom Ingeniería y Consultoría.

La Torre Iberdrola forma parte de la recuperación fluvial de la ribera del Nervión —antigua zona industrial— en el centro de Bilbao, sumándose como hito al cercano museo Guggenheim. Es una construcción de 165 metros de altura sobre rasante y 190 metros de altura total construida,

que consta de 40 plantas sobre rasante y hasta 5 plantas de aparcamiento bajo rasante. Es el edificio de mayor altura en Vizcaya, superando en 65 metros a la torre del BEC, el más alto hasta su ejecución, siendo en la actualidad el octavo edificio de España por su tamaño.

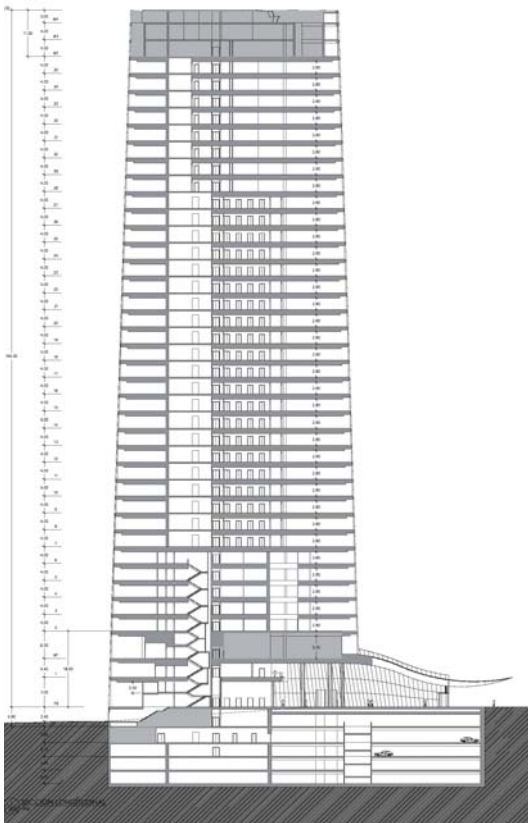
Los datos más significativos del edificio son los siguientes:

- Superficie construida: 94.000 m<sup>2</sup>.
- 5 plantas bajo rasante con más de 700 plazas de aparcamiento.
- 40 plantas sobre rasante (62.000 m<sup>2</sup> construidos de los cuales 40.000 m<sup>2</sup> son útiles dedicados a oficinas), distribuidas de la siguiente forma: Lobby en planta baja, restaurante en planta primera, planta de Instalaciones inferior, 34 plantas de oficinas, 3 plantas de Instalaciones superiores y un helipuerto.

## GEOMETRÍA DEL EDIFICIO

El edificio se define como la intersección de tres cilindros que se inclinan. Dos de ellos configuran las fachadas Este y Oeste de forma simétrica respecto al plano medio de la estructura, y el tercero según una línea contenida en ese plano medio. Las generatrices de los tres cilindros confluyen en un vértice situado a 1.000 metros de altura respecto del nivel de planta baja.

Los radios que limitan los bordes de los forjados se mantienen constantes en todas las plantas, modificándose la posición del centro de cada uno de ellos de una planta a la siguiente. En todos los niveles se mantiene también constante la distancia entre el eje de los pilares hasta el borde de forjado (0,90 m) aunque los pilares tengan tamaños decrecientes en altura.



**Figura 1.- Geometría de la Torre Iberdrola** (Fuente: Torre Iberdrola).

Las fotografías incluidas en este artículo han sido cedidas por Torre Iberdrola ([www.torreiberdrola.es](http://www.torreiberdrola.es)).





## EN PORTADA

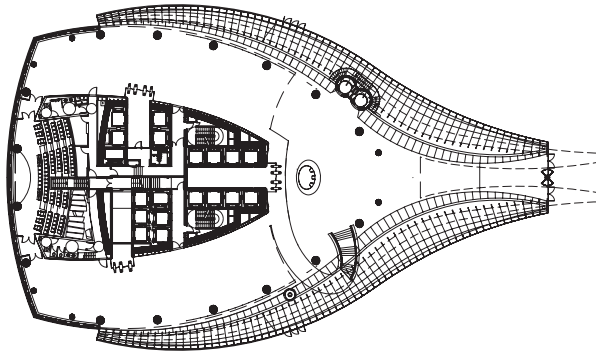


Figura 2.- Planta tipo (Fuente: Torre Iberdrola).

Los pilares se mueven a lo largo de las directrices de cada uno de los tres cilindros que definen la geometría de la envolvente de la torre. La inclinación de los pilares Este y Oeste es de 2,93 % y de 3,05 % la de los pilares de la fachada Norte. Los pilares se mantienen inclinados desde la Planta mecánica 4 (+175,10 m) hasta el forjado de sótano 1 (+8,65 m), nivel a partir del cual continúan verticales hasta la cimentación.

El diseño arquitectónico fue realizado por Pelli Clarke Pelli Architects, New Haven (USA), y el proyecto de la estructura fue

desarrollado por Idom Ingeniería y Consultoría, Bilbao (España).

## VACIADO DE LA PARCELA

El comienzo de las obras lo constituyó el vaciado de la parcela de 7.000 m<sup>2</sup> en la que se enclava la torre, cuyos datos más significativos se indican a continuación:

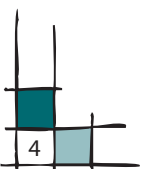
- Volumen de excavación: 82.400 m<sup>3</sup>
- Muro pantalla: 8.170 m<sup>2</sup>
- Anclajes provisionales: 7.750 m
- Pilotes (Ø 1.350 mm): 1.645 metros

El solar en el que se ubica la torre se encuentra situado entre el Puente de Deusto, la Plaza de Euskadi, la Calle Ramón Rubial y los jardines de la Campa de los Ingleses, encontrándose el nivel del terreno antes del inicio de las obras a una cota similar a la prevista para el sótano 2, +4,80 NMMA.

Al estar situado el edificio dentro de un ámbito urbano en desarrollo fue preciso tener en cuenta un conjunto



Figura 3.- Estado de la parcela al inicio de las obras (Fuente: Torre Iberdrola).



importante de condicionantes para construir el bajo rasante del edificio:

1. Un túnel de unos 5 metros de diámetro, denominado Sifón de la Universidad, atraviesa la zona Oeste de la parcela en dirección Norte-Sur. La solera del túnel se sitúa, aproximadamente, a la cota -25 NMMA, siendo el recubrimiento de roca máximo estimado sobre la clave del túnel de 6,50 m. En el punto más desfavorable la cimentación de la torre se encuentra situada, en planta, a dos metros del sifón.
2. El solar se sitúa sobre terrenos de origen aluvial formados por limos y arcillas de consistencia muy blanda y gran compresibilidad.
3. La presencia persistente en el solar de un nivel piezométrico casi superficial, asociado a la carrera de marea.
4. Estructuras existentes, o en desarrollo, en el entorno de la parcela: a) cimentaciones del puente de Deusto, al Oeste de la parcela, b) muros pantalla del aparcamiento de la Plaza Euskadi, al Sur de la parcela, c), columnas de grava en la zona Norte realizadas en la Campa de los Ingleses para acelerar los asientos por consolidación de los limos, previo a la ejecución de la urbanización.

El vaciado se inició con el solar a la cota del sótano 2. La excavación y construcción de la parte enterrada del edificio se diseñó al amparo de un recinto de pantallas de hormigón armado de un metro de espesor realizadas *in situ*, con la ayuda de lodos bentoníticos. Debido a la dureza de la roca la utilización de trépano para conseguir el empotramiento en roca de los módulos de muro pantalla no permitía conseguir rendimientos adecuados que garantizaran el cumplimiento del plazo estimado. Aunque al inicio de las obras se había previsto el uso de hidrofresa exclusivamente en aquellos muros pantalla cuya planta era coincidente con la del sifón del Consorcio de Aguas, para minimizar la incidencia de la excavación en esta infraestructura, su uso se extendió de forma generalizada en la ejecución de las pantallas



Figura 4.- Montaje de la armadura de los módulos de muro pantalla (Fuente: Torre Iberdrola).

al comprobarse una importante reducción de los tiempos necesarios para conseguir el empotramiento del pie de éstas.

Los módulos de los muros pantalla se soportaron provisionalmente, de manera generalizada, mediante el uso de anclajes activos provisionales en roca (inclinados en vertical unos 45° para minimizar su longitud), salvo casos puntuales donde se utilizaron apuntalamientos metálicos, tirantes entre módulos pantalla o incluso las propias losas de cimentación como arriostramiento.

Los muros pantalla que configuran el recinto de la cimentación de la torre —16,4 metros excavados— se definieron con cinco niveles de anclaje. En el resto de los casos —7 metros de excavación— fue suficiente con prever dos niveles de anclaje, uno en coronación y otro a media altura, salvo en el tramo de muro que configura la medianera con el aparcamiento de la plaza Euskadi, que se resolvió sin apuntalamiento provisional, rebajándose para ello el relleno existente en el trasdós del muro.

## CIMENTACIÓN

Se utilizaron dos tipologías de cimentación claramente diferenciadas en función del nivel de carga que debían soportar:

- Profunda mediante pilotes para cargas de edificación convencionales.
- Directa mediante una losa de gran canto para el núcleo y los pilares principales de la torre.



## EN PORTADA

### Cimentación profunda

Parte del bajo rasante de la parcela es compartido entre la torre y dos edificios de viviendas que también forman parte de la actuación.

La cimentación de estos edificios es profunda mediante el uso de pilotes, salvo en el caso de los pilares situados en el límite de la parcela que se apoyan directamente sobre la pantalla.



Figura 5.- Cimentación profunda (Fuente: Torre Iberdrola).

La tipología de pilote utilizada fue de extracción al amparo de lodos y camisa recuperable, empotrados en roca 1,5 veces su diámetro. Para evitar la rotura de la capa de limos por la presión del agua que circula por las gravas situadas entre el aluvial y el sustrato rocoso cuyo nivel está conectado con el de la Ría la perforación de los pilotes se ejecutó desde la cota superior del solar. Las perforaciones de los pilotes se hormigonaron desde el fondo hasta la cota del sótano. Desde estos niveles hasta la cota superior de la perforación —sótano 2— se rellenaron con grava para mantener la plataforma de trabajo en condiciones adecuadas de seguridad.

Posteriormente, los pilotes se unieron en cabeza mediante una losa de cimentación que funciona tanto como losa de subpresión como losa de fondo, correspondiente a los sótanos 4 ó 5, según las zonas. Además de la subpresión, las losas están diseñadas para soportar las cargas verticales procedentes de los pilares de los edificios de viviendas así como las tracciones originadas por el arriostamiento en cabeza que ejercerán sobre algunos muros pantalla.

### Cimentación directa

Las cargas transmitidas por la torre, núcleo y pilares del edificio principal, se cimentan de modo directo sobre las margas situadas a unos 16,4 metros por debajo de la cota inicial del solar y 14,6 metros por debajo del nivel piezométrico.

La superficie correspondiente a la cimentación de los elementos portantes de la torre es de 2.640 m<sup>2</sup>. En esa superficie se han definido distintos elementos estructurales que permiten la transmisión de los esfuerzos gravitacionales y de viento al sustrato rocoso, procedentes tanto del núcleo como de los pilares y los muros del edificio, transmitiendo una tensión media a la roca de 12 kg/cm<sup>2</sup> y una tensión pico de 22 kg/cm<sup>2</sup>.

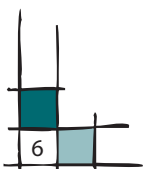
Entre estos elementos estructurales destacan por su importancia la cimentación del núcleo, a través de una losa de gran espesor, y las vigas de apoyo de los pilares perimetrales.

### Cimentación del núcleo

La cimentación sobre la que se apoyan los muros del núcleo está constituida por una losa de dos metros de espesor —condicionado por la subpresión— cuyo canto aumenta hasta los cuatro metros en el arranque del muro del núcleo y de los pilares de la torre, para permitir una adecuada transmisión de cargas al sustrato rocoso.

A través del núcleo el edificio transmite al terreno unos 780.000 kN correspondientes a las acciones gravitatorias —peso propio, carga muerta y sobrecargas de uso— a los que hay que añadir la acción del viento. Ésta se estimó por medio de un ensayo en túnel de viento efectuado en Canadá, cuyos resultados se contrastaron con un modelo CFD observándose diferencias inferiores al 15 % entre los resultados obtenidos por ambos procedimientos.

La geometría de la cimentación del núcleo de la torre presenta un canto variable derivado de haber





considerado que la carga procedente del núcleo se transmite en el interior de la zapata a través de bielas a 45° hasta llegar a la roca, consideración que se repite en las zonas Norte y Sur del núcleo. Ahora bien, en algunas zonas de la cimentación no fue posible disponer un canto variable, debido a las limitaciones



Figura 6.- Vista general de la cimentación de la torre  
(Fuente: Torre Iberdrola).

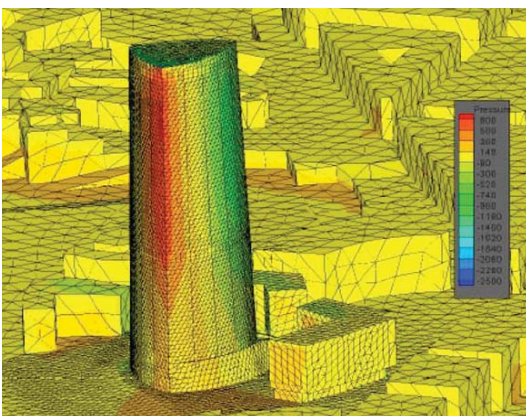


Figura 7.- Maqueta empleada en el túnel de viento y resultados de presiones de viento en el edificio obtenidos mediante un CFD (Fuente: Torre Iberdrola).

constructivas asociadas a la colocación en el interior de la misma de cables de pretensado.

Debido a la configuración de la planta tipo del edificio el centro de gravedad de las cargas gravitatorias está desplazado unos 2,40 m hacia el Norte respecto al centro del núcleo, lo que provoca un incremento de la tensión de reacción en la roca bajo el muro del núcleo ubicado en la zona Norte. Además, la rigidez del sustrato de apoyo produce una importante concentración de tensiones inmediatamente debajo del muro, siendo pequeño el reparto de cargas al resto del sustrato rocoso.

Para limitar los picos de tensiones bajo la zapata y conseguir una distribución lo más uniforme posible de las presiones en la cimentación, se ha definido un pretensado bajo el núcleo con los siguientes objetivos:

1. Uniformizar las presiones bajo el sustrato rocoso, laminando los picos de presión, tratando de buscar un comportamiento deformacional lo más uniforme posible.
2. Reducir, mediante las fuerzas de desviación del pretensado, los esfuerzos en las secciones más solicitadas de la cimentación, disminuyendo así la apertura de fisura debida a la flexión.
3. Mantener comprimida la cimentación en una zona en la que la agresividad del agua es importante (IIIc+Qa). La compresión en el hormigón disminuye la posibilidad de entrada de agua a través de las microfisuras que éste pudiera tener, incrementándose de este modo su durabilidad. Dado que no se colocó ninguna lámina, o sistema análogo, que permitiese reducir el rozamiento entre la roca y la zapata, no se ha considerado deslizamiento relativo alguno entre ellas, por lo que la compresión será, en principio, nula a nivel de apoyo e irá apareciendo conforme se ascienda en el espesor de la cimentación.
4. Aumento de la estanqueidad asociada a la reducción de la apertura de fisura.

### Cimentación de los pilares

Bajo los pilares perimetrales de la torre, zonas Este y Oeste se ejecutaron sendas vigas que transmiten la carga procedente de los pilares a la roca. En este caso, se ha considerado también que la transmisión de la carga tiene lugar por una apertura de la misma a



## EN PORTADA

45° en el interior de las vigas, criterio que sirvió para establecer la anchura necesaria de este elemento estructural.

Los pilares situados en el límite Norte de la torre, coincidente con el perímetro de la parcela, transmiten su carga a un muro de 1,30 metros de espesor y 3,25 m de altura —correspondiente a la del sótano 2— que se apoya a su vez de forma simultánea tanto en el muro pantalla de un metro de anchura que cierra el vaciado por el Norte, como en un muro adosado al muro pantalla en su intradós. El reparto de cargas entre el muro desdoblado y el muro pantalla es tal que el 55 % de la carga correspondiente a los pilares se transmite a la roca a través del muro pantalla y el 45 % restante por el muro desdoblado.

## ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO

El esquema estructural en altura del edificio está formado por:

- Un núcleo central de dimensiones variables a lo largo de su altura.
- Un conjunto de soportes circulares en el contorno exterior junto a la fachada.
- Un conjunto de forjados de losa maciza de hormigón armado, con una distancia típica entre ellos de 4,0 m.

Las cargas gravitatorias del edificio son resistidas tanto por el núcleo como por los pilares. En el edificio no se han dispuesto plantas de rigidización ya que, por un lado, la ubicación de las plantas técnicas no se encuentra a un nivel óptimo desde un punto de vista estructural para poder alojar en ellas los elementos de rigidización y, por otra parte, desde el punto de vista arquitectónico se pretendió reducir al máximo las dimensiones de los pilares, algo que no habría sido posible al adoptar cualquier solución de rigidización en altura que supone una mayor solicitud en pilares de fachada, originando un incremento de su sección. Por estas razones se determinó que la estabilidad y rigidez frente a solicitaciones horizontales se encomendase tan solo al núcleo central. Aunque esta solución supone prescindir de la colaboración de los pilares de fachada para soportar la acción del viento, al realizar las comprobaciones durante el desarrollo del proyecto se pudo apreciar que el conjunto forjado-pilares de fachada es capaz de captar del orden del 7 al 10 % de estas acciones.

## NÚCLEO

El muro del núcleo es de hormigón armado y sus dimensiones proporcionan unas condiciones adecuadas de rigidez y resistencia. Su sección es sensiblemente trapecial, siendo los muros exteriores curvos y concéntricos con las fachadas. En el interior del núcleo del edificio, unos 370 m<sup>2</sup>, se encuentran las baterías de ascensores, zonas de servicios y elementos de comunicación vertical de las instalaciones, lo que condiciona que en su disposición típica existan al menos tres huecos de gran tamaño en cada planta, además de los huecos de conexión para conductos e instalaciones en ciertas zonas.

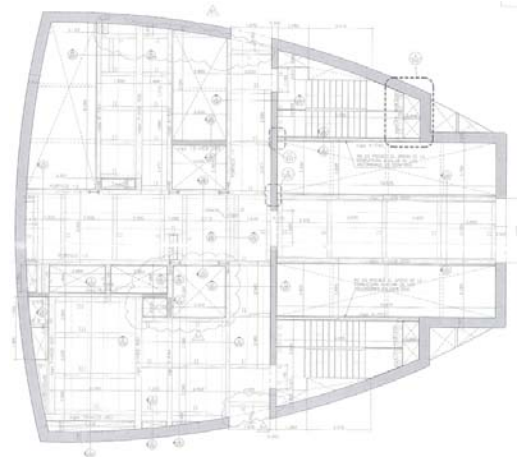


Figura 8.- Planta y aspecto del núcleo interior del edificio  
(Fuente: Torre Iberdrola).

Debido a la importante densidad de armadura tanto en el muro del núcleo como en los pilares del edificio principal, fundamentalmente en los niveles inferiores, se





Figura 9.- Detalle de la densidad de armadura que requirió el empleo de empalmes mecánicos (Fuente: Torre Iberdrola).

utilizaron empalmes mecánicos, alternándose su posición en altura con objeto de garantizar el cumplimiento de las distancias mínimas entre barras.

Los forjados de hormigón armado transmiten al núcleo su carga a través de la unión rígida existente entre ambos elementos. Por su lado, el forjado del interior del núcleo, a base de chapa colaborante, transmite las cargas desde las vigas y pórticos metálicos por medio de chapas metálicas embebidas en el propio núcleo.

El máximo desplome relativo de la estructura originado por el viento es  $H/756$ . Desde el punto de vista del confort para el usuario, los valores límite en aceleración RMS para un periodo de retorno de 5 años son  $5,5 \cdot 10^{-3}$  g y  $4,5 \cdot 10^{-3}$  g para las frecuencias propias según los ejes principales de inercia de 0,18 Hz y 0,22 Hz,

siendo los valores pico, para un periodo de 10 años, de  $18,9 \cdot 10^{-3}$  g y  $15,4 \cdot 10^{-3}$  g respectivamente.

### Elementos de rigidización

Dada la configuración de pasillos centrales N-S y E-W, los huecos originados tanto por la distribución de las plantas como por las instalaciones son de una importancia crítica debido a que se repiten en la misma posición en casi todas las plantas. Para reducir la pérdida de rigidez torsional que suponen dichos huecos, pasando el núcleo de una sección tubular a cuatro lajas independientes, se han previsto unos dinteles situados sobre los huecos de mayor tamaño. A partir de cierto nivel de planta las distorsiones que aparecen en dichos dinteles alcanzan valores no admisibles para elementos de hormigón armado, habiéndose embebido perfiles de acero con la rigidez suficiente para limitar la deformación horizontal del núcleo y mantener los límites de confort, además de soportar la propia distorsión del perfil sin provocar daños en los forjados.



Figura 10.- Perfiles metálicos embebidos en el núcleo (Fuente: Torre Iberdrola).





## EN PORTADA

### Muro interior

En el interior del núcleo existe un elemento de hormigón que permite la separación del pasillo W-E y las escaleras de evacuación del edificio, de modo que además de cumplir una función de compartimentación frente a fuego permite el apoyo tanto de los forjados del interior del núcleo (de chapa colaborante) como de las escaleras de evacuación.

Aunque a este elementos se le ha denominado "muro interior del núcleo" estructuralmente se trata de una viga formada por tramos independientes entre sí de 3 plantas de altura (12 metros). Los motivos que condujeron a adoptar esta configuración estructural (viga versus muro) fueron los siguientes:

- Compresiones excesivas en la base. La configuración de estos elementos como muro apoyado en su base implicaría una tensión media en su base del orden de  $25 \text{ N/mm}^2$ , debido a su extraordinaria altura, una compresión excesiva para el hormigón que no podía reducirse incrementando el espesor del muro por limitaciones arquitectónicas.
- Deformaciones diferenciales. Para evitar las deformaciones diferenciales originadas por fluencia entre el muro del núcleo y este muro interior debidas al diferente valor de la tensión media de compresión en ambos elementos.

Su alzado es sensiblemente uniforme en toda la altura del edificio lo que ha permitido configurar una viga típica de doce metros

de altura, correspondiente a 3 alturas. Por tanto, desde planta baja hasta coronación, el muro del interior del núcleo está formado por una sucesión de vigas de gran canto empotradas rígidamente en las paredes del núcleo. En el bajo rasante este elemento es un muro de gravedad de 0,30 m de espesor desde planta baja a sótano 5, separado físicamente del núcleo, para evitar esfuerzos rasantes debidos a movimientos diferenciales entre estos dos elementos estructurales.

### PILARES

Los pilares del edificio pueden agruparse en tres tipologías: pilares de hormigón, pilares metálicos y pilares mixtos.

### Pilares perimetrales

En el contorno exterior del edificio y próximos a la fachada, se distribuyen un conjunto de pilares circulares de dimensiones variables a lo largo de la altura; 6 en la fachada Norte y 8 en cada una de las fachadas Este y Oeste. Los pilares se mantienen paralelos a la fachada siendo sus ejes paralelos entre sí y a la directriz de los cilindros de los que proceden.

En los niveles inferiores, desde cimentación hasta la planta 18, los pilares son mixtos, al objeto de mantener las dimensiones definidas en el diseño

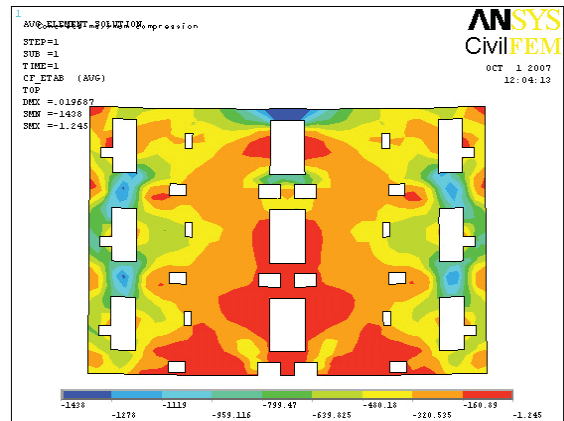
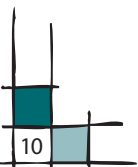


Figura 11.- Muro interior del núcleo y nivel de tensiones de origen gravitatorio (Fuente: Torre Iberdrola).



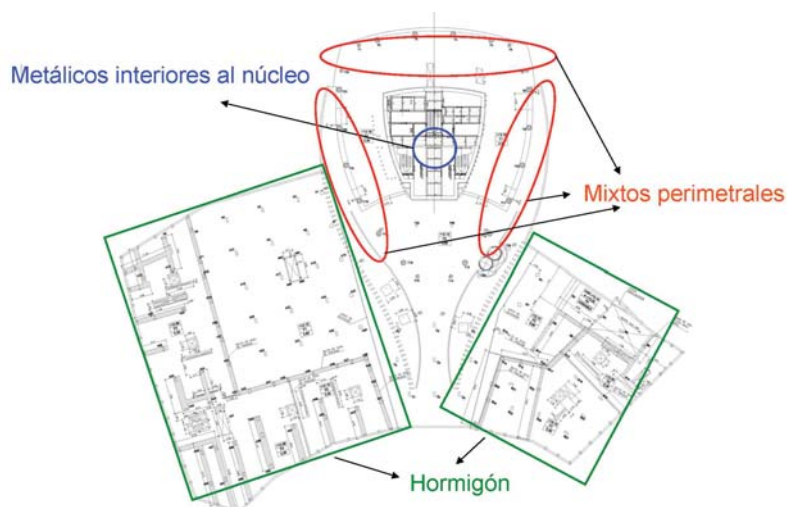


Figura 12.- Tipología de los pilares de la Torre Iberdrola (Fuente: Torre Iberdrola).

arquitectónico, limitándose la resistencia de los hormigones a  $45 \text{ N/mm}^2$ ; a partir de la planta 18 los pilares son de hormigón armado.

Los pilares mixtos se han diseñado considerando que el perfil metálico embebido soporta exclusivamente el esfuerzo axial, mientras que la sección de hormigón armado soporta el resto del axial y la totalidad del momento flector. Para evitar que el perfil metálico soporte flexión las conexiones entre los tramos metálicos se han diseñado de modo que no se permite continuidad de momentos.

El desplome de las fachadas definidas por los cilindros da lugar a que a nivel de la planta 17 se eliminen los seis pilares de esquina, que convergen gradualmente desde la planta baja. Así mismo, en las plantas superiores del edificio existen dos pilares verticales cuyo objeto es reducir la luz de las losas en el pico Sur y que, debido a su situación en planta, si llegasen hasta planta baja se situarían en la zona central del lobby, motivo por el que se eliminan en la planta 7. La carga de estos pilares se transfiere al núcleo mediante unos voladizos de seis plantas de altura, consiguiendo de este modo la máxima amplitud del lobby de planta baja, según los requisitos arquitectónicos.

### Pilares metálicos

Estos elementos transmiten parte de la carga vertical del forjado del interior del núcleo que se reparte entre el propio muro del núcleo, el muro interior del núcleo y los pilares metálicos interiores. Para definir geoméricamente estos pilares fue preciso tener en cuenta un importante número de condicionantes arquitectónicos que han provocado una apreciable limitación de espacio, haciendo necesario utilizar acero de alta resistencia, S460, como material constitutivo, consiguiendo que las secciones resultantes sean lo más compactas posible. Cada uno de los pilares está formado por tres perfiles laminados unidos mediante chapas de espesor variable en altura.

Debido al importante nivel de cargas y, por tanto, de tensiones al que están sometidos estos elementos, y a la longitud total del edificio, los acortamientos elásticos que experimentarán son centimétricos motivo por el cual durante la construcción se previeron longitudes para estos elementos que tuvieron en cuenta el acortamiento elástico del acero.

### Pilares de hormigón.

El resto de los pilares que configuran el aparcamiento son de hormigón armado. Dado que solo existen dos juntas de dilatación en el bajo rasante del edificio fue preciso tener en cuenta los efectos reológicos y térmicos para diseñar estos elementos.



## EN PORTADA



⇒ **Figura 13.-** Vista general de los forjados desde el pico sur (Fuente: Torre Iberdrola).

### FORJADOS

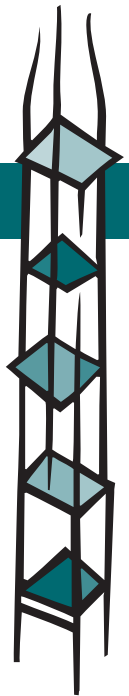
Los forjados son losas macizas de hormigón armado cuyos espesores varían entre 25 y 45 cm, en función de la luz y del nivel de cargas en cada caso. Las luces máximas de forjado son del orden de 11,75 m en planta 1.

Dado que en la planta 17 se eliminan seis pilares de fachada por la excesiva proximidad originada por su inclinación, se ha postesado parcialmente el pico Sur de las losas desde la planta 17 hasta la planta 25 con objeto de mantener las flechas relativas entre forjados dentro de los valores admisibles por el muro cortina ( $\pm 18$  mm). ■

#### DATOS GENERALES DE LA OBRA

Promotor	Torre Iberdrola, A.I.E.
Dirección de Proyecto	Iberdrola Ingeniería de Construcción
Dirección de Obra	Idom Ingeniería y Consultoría, S.A.
Inicio del vaciado de la parcela	Abril 2007
Empresa constructora	Cimentaciones Abando
Inicio ejecución de la estructura	Mayo 2008
Fin ejecución de la estructura	Febrero 2010
Empresa constructora	UTE Afer-Fonorte
Fecha prevista inauguración	Febrero 2012





## LAS ESCORIAS SIDERÚRGICAS. ÁRIDOS DISEÑADOS PARA EL PRESENTE Y EL FUTURO

**Santiago Oliver** - Director de Medio Ambiente, Energía e I+D+i. UNESID

**U**NESID, está volcada en promover el mejor aprovechamiento de las escorias siderúrgicas. Con este fin realiza múltiples actividades, a través de las cuales se descubren nuevas líneas de trabajo en las que centrar los esfuerzos en el futuro. Pieza clave de las últimas actuaciones realizadas las constituyen la organización en España de Euroslag 2010 y la preparación de un proyecto de I+D+i, junto con el Centro de Estudio de Carreteras del CEDEX y una de las más importantes empresas constructoras españolas de implantación internacional.

Las escorias siderúrgicas son una de las primeras sustancias que se han registrado dentro del Reglamento europeo de registro, evaluación y autorización de sustancias químicas REACH, para demostrar con el estado del arte mundial su aptitud como árido y su inocuidad tanto para los productores y utilizadores, así como para los usos a los que se destina. En España, el 100 % de los productores de acero han registrado sus escorias, o están preparados para hacerlo, porcentaje que alcanza casi el 97 % cuando se refiere al total de productores europeos de acero.

### QUÉ SON LAS ESCORIAS

Para comprender mejor la naturaleza e importancia de las escorias, se indica a continuación qué son exactamente y porqué se generan en el proceso siderúrgico, incluyendo una breve descripción sobre su naturaleza y funciones en el proceso de producción del acero.

### *"Las cantidades de acero y escoria producidas son proporcionales"*

Las escorias son una combinación de óxidos, silicatos y aluminatos que poseen misiones muy específicas inherentes al propio proceso siderúrgico. Sin tratar de entrar en muchos detalles técnicos, de los cuales ya existen tratados completos, las escorias responden a varios objetivos.

- Absorber los óxidos presentes tanto en los minerales de hierro como en los residuos férricos utilizados en el proceso de reciclado del acero (chatarra), así como todas aquellas impurezas no adecuadas para la obtención de la calidad de acero que se está produciendo en un momento determinado.
- Permitir el paso de los gases ocluidos en el baño y que son perjudiciales para el acero, como por ejemplo el hidrógeno.
- Proteger los refractarios de los hornos del ataque químico del baño fundido.
- Actuar de aislante para mejorar la eficiencia energética.

En todos los casos, la separación de la escoria y del acero líquido se realiza mediante un "sangrado diferencial", gracias a la menor densidad de ésta respecto al baño metálico.

Por tanto las escorias se diseñan modificando su reactividad química y su alcalinidad/basicidad, según corresponda, para captar compuestos ajenos a la calidad de acero; se espuman para incrementar el aislamiento térmico del caldo fundido de acero y mejorar la eficiencia energética —utilizando para ello compuestos de carbono que desprenden CO<sub>2</sub> al reaccionar con los óxidos— evitando al



## REPORTAJES



Figura 1.- Sangrado de la escoria (Foto cortesía de Fehs).

mismo tiempo su reoxidación; se le añaden fundentes o fluidificantes para favorecer su evacuación y la permeabilidad a los gases, o incluso se tienen en consideración otros aspectos para optimizar su uso posterior.

El tratamiento de las escorias tras su “sangrado” también se diseña, dado que sus propiedades químicas, físicas y mecánicas cambian en función del tipo de enfriamiento, machaqueo y molienda utilizado.

### Tipologías, utilidades, y disponibilidad

Un problema inicial que dificulta su conocimiento es la diversidad de nombres que adoptan los productores para designar un mismo material, especialmente cuando se hace referencia a escorias de convertidor o a escorias de acería eléctrica.

En el proceso integral —nombre con el que se conoce a la fabricación de acero a partir de mineral de hierro— se producen fundamentalmente escorias de horno alto, provenientes de los óxidos que surgen de la reducción del mineral de hierro y otros compo-

ponentes, dotadas de unas características físico-químicas óptimas para alcanzar el punto de fusión, fluidez, y basicidad adecuados, y que según cómo se procesen darán lugar a distintos tipos de escoria: cristalizada, vitrificada, granulada o paletizada.

En las acerías en las que el hierro se transforma en acero, las escorias reciben el nombre del convertidor utilizado LD, BOF o BOS, distinguiéndose de las resultantes de los procesos de metalurgia secundaria en los que se llevan a cabo los tratamientos de afino del acero proveniente del convertidor, a las que se denomina escorias SMS (steelmaking slag) aunque también se las llama escorias de afino en cuchara.

En el proceso integral existe también una pequeña cantidad de escorias entre las de horno alto y las de convertidor, procedente de la desulfuración —un proceso en el que se añade al baño CaO para captar el azufre

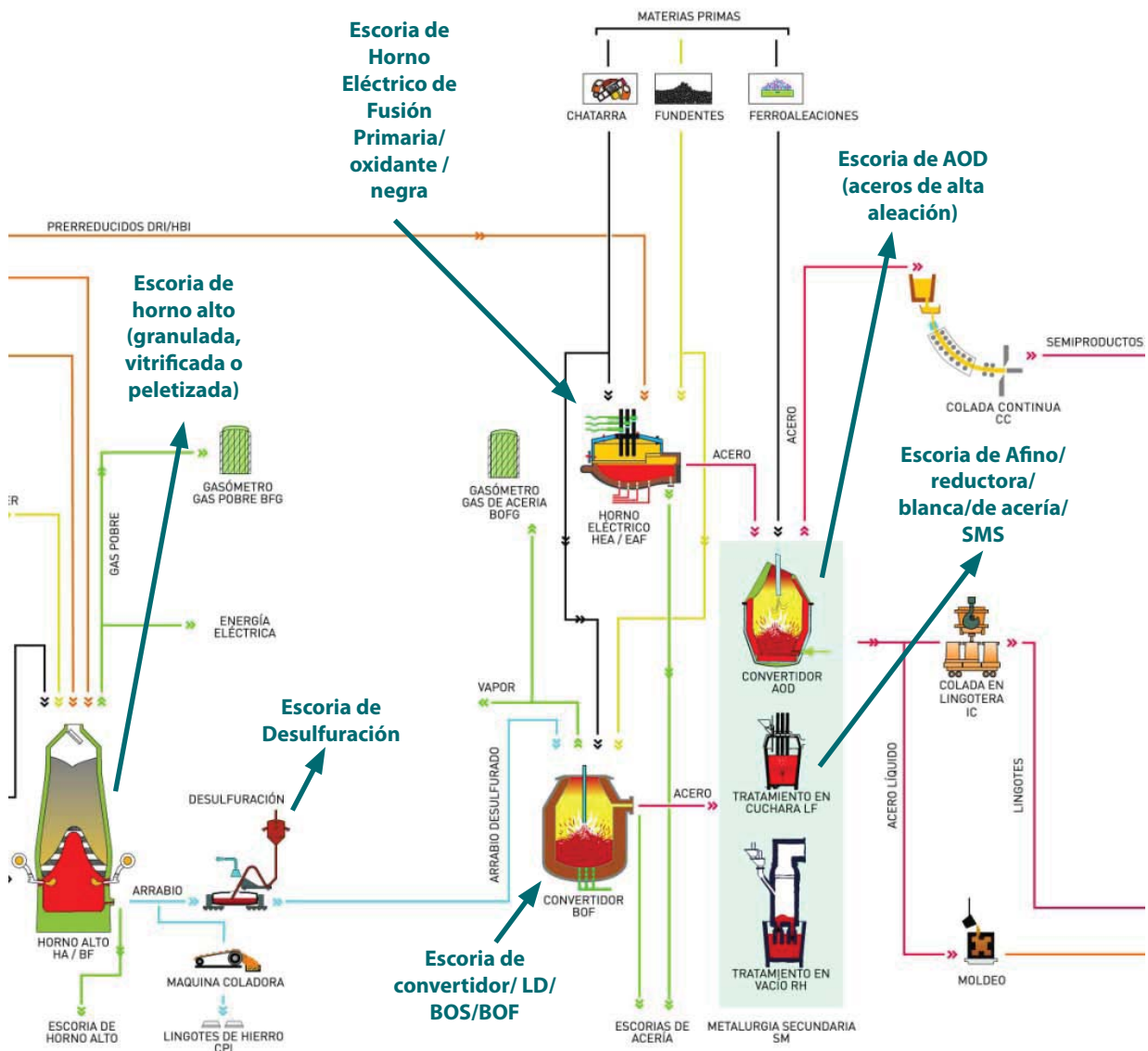


Figura 2.- Producción de distintos tipos de escoria (Fuente: UNESID).

presente en el mismo— y que se conocen como escorias de desulfuración.

Del proceso de acería eléctrica —en el que la materia prima es la chatarra— surgen las escorias procedentes de la fusión primaria, también llamadas escorias negras u oxidantes (por su mayor contenido en óxidos de hierro), y las de afino o metalurgia secundaria del acero proveniente de fusión primaria, llamadas frecuentemente blancas, por su mayor contenido en cal. Estas últimas son similares a las obtenidas en la metalurgia

**"Un correcto procesado puede garantizar unas propiedades adecuadas de las escorias para el uso al que se destinen"**

secundaria del proceso integral por lo que se las conoce también como escorias SMS.

Dentro de estas últimas se distinguen las denominadas escorias grises, obtenidas en la producción de aceros de alta aleación, que adquieren este color como consecuencia de que parte de los





## REPORTAJES



Figura 3.- Distintos tipos de escorias de acería.

procesos metalúrgicos se realizan en los propios convertidores AOD y parte en la misma cuchara.

Las cantidades de escoria producida son, aproximadamente, proporcionales a la cantidad de acero producido, aunque varían de una planta a otra. En el caso de las escorias de horno alto, su ratio de producción oscila entre 300 y 350 kg/t de arrabio, las de convertidor al oxígeno son de aproximadamente 150 kg/t de acero, las de fusión de chatarra (negras)

**"Las instalaciones siderúrgicas se convierten en potenciales "canteras" estables con un control de calidad estricto"**

varían entre 125 y 180 kg/t acero, y las de afino en cuchara unos 35 kg/ t acero.

La disponibilidad de las escorias es función, lógicamente, de los puntos de producción, de la distancia de transporte que puede efectuarse sin que se penalice en exceso su precio, y de su valor una vez procesada.

### Un reto, la difusión

Los grandes retos para incrementar la utilización de las escorias, ya no son los asociados a incertidumbres técnicas, dado que un correcto procesado puede garantizar unas propiedades adecuadas para los usos a las que se dedican, sino fundamentalmente vencer el desconocimiento por parte de sus posibles usuarios, no sólo de su existencia, sino también de sus características y de las ventajas que puede representar su utilización, sobre todo como árido, tanto en diferentes capas de firmes

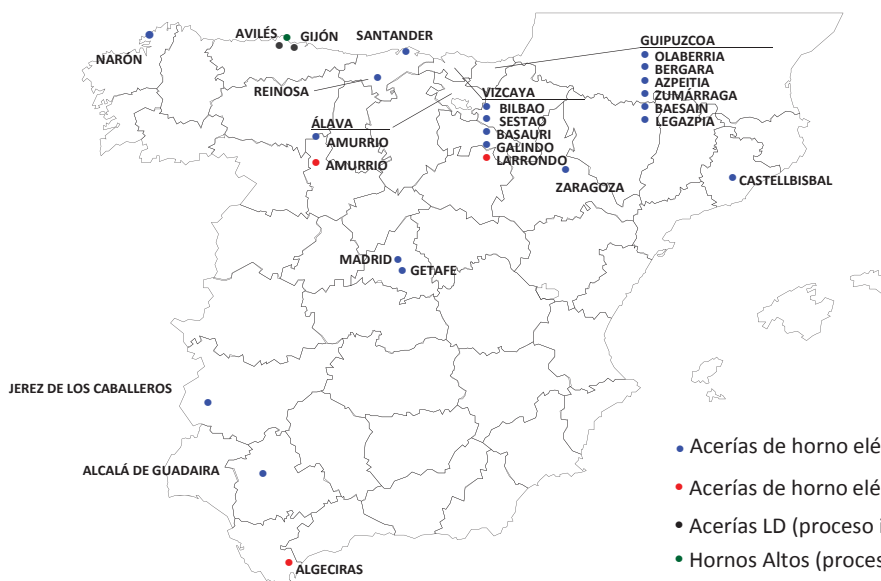


Figura 4.- Disponibilidad de escorias en la geografía española.

de carretera como en hormigones<sup>1</sup>. En este sentido, las administraciones públicas deben favorecer la utilización de áridos alternativos, mediante su incorporación en sus pliegos de condiciones, por las ventajas técnicas y ambientales que presentan.

De lo anteriormente expuesto, surge como prioridad la realización de actividades de difusión y de presentación de soluciones técnicas, dos objetivos en los que se han centrado recientemente las actividades desarrolladas por UNESID en este campo: la organización de Euroslag 2010 y la presentación de los proyectos VENCES y NANOSIDER sobre la utilización de escorias en firmes y como sub-balasto en vías de ferrocarril, que se comentarán más adelante.

### Capacidad de innovación

Otro aspecto destacable de las escorias, en comparación con otros áridos, es la capacidad de innovación sobre sus prestaciones, propiciada por:

- su necesidad de competir con materiales de origen natural de elevada disponibilidad, al menos en España;
- estar ligadas a un proceso industrial altamente tecnificado, con grandes inversiones en I+D+i en todas sus facetas y parámetros, incluyendo, por supuesto, la optimización de todas las salidas del proceso;
- la generación en ubicaciones concretas —las propias acerías— que permiten tener laboratorios fijos muy tecnificados.

Por otro lado, en el sector siderúrgico existe un claro ánimo de colaboración para mejorar y difundir la utilización de las escorias, pues cualquier contratiempo que presenta una aplicación concreta redonda negativamente en la utilización de todas ellas, mientras que los éxitos se consideran específicos de quien ha realizado correctamente su aprovechamiento. Esto es espe-

## "La situación legal actual de las escorias procesadas es incierta: producto, subproducto o residuo"

cialmente relevante en países como España, donde el índice de reutilización cercano al 60 %<sup>2</sup> (exceptuando las de horno alto) está claramente distante del norte de Europa, donde se alcanzan cifras de reutilización de cerca del 95 %.

La competencia que las escorias pueden representar para los áridos naturales en un país como el nuestro con mucha "piedra", supone un importante inconveniente para ampliar su utilización. Sin embargo en los países con mayor utilización, los propios productores de áridos consideran con frecuencia esta circunstancia como una oportunidad, al encontrarse con "canteras" estables en la ubicación y con una posibilidad de control de calidad más estricta. Así éstas han pasado a participar en la competencia para el procesamiento y venta de los productos del procesamiento de las escorias.

Con el objetivo de promover y difundir un mayor y correcto uso de las escorias, presentando los últimos avances en el estado del arte y el conocimiento de este material, UNESID decidió ya en 2007



Figura 5.- Manipulación de las escorias en la instalación siderúrgica.

<sup>1</sup> En el caso de las escorias granuladas y peletizadas, que tienen un poder hidráulico latente y pueden emplearse no sólo en la fabricación de cementos tipo CEM III, sino como adición directa al hormigón en el momento de su fabricación, no hay problema en su comercialización y uso.

<sup>2</sup> No es fácil definir el índice de utilización de reutilización exacto, por la complicación en considerar la utilización en ciertos rellenos sometidos a autorización ambiental.



## REPORTAJES



Figura 6.- Rodadura bituminosa con escoria como árido (Foto cortesía de ACYMA).

### "De conformidad con el registro REACH, las escorias no son sustancias peligrosas"

organizar la conferencia internacional Euroslag cuya celebración pospuso hasta el año 2010 dado que la incertidumbre generada por el inicio de la crisis hizo pensar que podría no cumplir con los objetivos previstos.

Fruto de este congreso y con objeto de profundizar en las aplicaciones y características de las escorias, facilitando su conocimiento por los diferentes implicados, UNESID, en nombre y representación de un importante grupo de empresas del sector y en beneficio de todas ellas si saliera finalmente aprobado, se halla inmerso en la presentación de proyectos como VENCES (Valorización para el Empleo Normalizado como áridos de Carreteras y otros firmes de Escorias Siderúrgicas) a la convocatoria INNPACTO (2011) del Ministerio de Ciencia e Innovación, o el proyecto NANOSIDER dentro de la convocatoria ININTERCONECTA que incluye el uso de la escoria tanto en firmes como en sub-balasto.

#### Situación legal

Uno de los inconvenientes con el que han de contar las escorias comienza en su propio nombre, que lleva asociada la connotación desde hace unas decenas de años a un residuo destinado a vertedero en todos los casos, una situación muy diferente en la

actualidad. Ahora, claramente, es preciso diferenciar entre las escorias procesadas o susceptibles de ser procesadas, de aquellas otras en las que únicamente se recupera la fracción de acero que han podido arrastrar durante el proceso de desescoriado del baño, tras lo cual únicamente pueden considerarse como un residuo.

En nuestro país, de nuevo, al contrario de lo que ocurre en los de mayor utilización, las escorias procesadas se encuentran en estos momentos en una situación legal incierta. Mientras en unos casos se considera como un subproducto o incluso un producto —en ambos casos denominaciones legales inciertas—, en otros sigue considerándose como residuo, condicionando su posterior aplicación que queda supedita a decisiones administrativas o al cumplimiento de una serie de exigencias, en ocasiones alejadas de lo que supondría su uso seguro, que se conoce debido a los estudios necesarios para su registro según REACH.

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados, adaptación de la nueva directiva Marco de Residuos 2008/98 CE, incluye disposiciones que intentan aclarar alguna de estas denominaciones (fin de residuo/producto, subproducto/residuo), e incluso indica la posibilidad de aplicar un procedimiento, todavía no



desarrollado, para estudiar la susceptibilidad de alcanzar la consideración de subproducto, una calificación que UNESID ha solicitado ya al MARM (en la actualidad Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) para las escorias siderúrgicas.

### EUROSLAG 2010

Con el objetivo anteriormente expuesto de difundir y compartir el estado del arte en todo lo que se refiere a usos e investigación sobre escorias, en octubre de 2010 UNESID organizó en Madrid la conferencia internacional Euroslag. Por primera vez en la historia una conferencia internacional se ha centrado en las escorias de acería eléctrica y de acería al oxígeno, que son las que presentan un menor índice de utilización en nuestro país, a pesar de que su uso es muy frecuente en el norte de Europa

Pese a la crisis económica mundial, Euroslag 2010 contó con la participación de más de 250 delegados de 33 países de los 5 continentes, que revisaron, según áreas temáticas, el estado del arte de la situación de las escorias en el mundo. El éxito de asistencia fue

tal, que superó las expectativas más optimistas haciendo necesaria la sucesiva ampliación de las posibilidades del lugar de la conferencia hasta alcanzar el máximo posible.

El Congreso se organizó en seis áreas temáticas, que contaron con la presidencia de un experto a nivel internacional, y que se distribuyeron de la siguiente forma:

- 1) Aspectos generales, que incluyó temas relacionados con la legislación de residuos, el registro de sustancias químicas (REACH) o los principios de sostenibilidad y gestión óptima de recursos dentro de las empresas siderúrgicas.
- 2) Usos y procesado innovadores, que abarcó una amplia gama de ponencias desde la utilización en plantas de tratamiento de aguas, hasta la regeneración de lechos marinos.
- 3) Un tercer bloque dedicado a investigación básica, en el que se incluyeron aspectos microestructurales, evolución de la liberación de componentes, etc.
- 4) Se incluyó un área específica centrada en las escorias de aceros de alta aleación, fundamentalmente porque tienen aspectos diferenciales de las de acerías eléctricas de acero al carbono. Fue especialmente destacable el ejemplo de una planta que ha desarrollado un esquema que les permite el mercado



Figura 7.- Euroslag 2010.



## REPORTAJES

CE para acceder a casi cualquier uso como árido, desmitificando muchas de las dificultades de procesamiento con que se les suelen relacionar.

- 5) Su utilización como adición activa en cementos o como árido en hormigones y morteros constituyó el quinto grupo temático. Destacó un ejemplo puntero de arquitectura singular realizada con cemento a base de escorias de acería en el país vasco. Se presentaron estudios de la evolución y durabilidad de estos cementos, así como la resistencia alcanzada por los hormigones de los que forman parte, presentando en algunos aspectos mejores prestaciones que las alcanzadas con materiales tradicionales.
- 6) El último grupo correspondió a uno de los usos más extendidos, la construcción de carreteras, en el cual se presentaron ejemplos concretos de la utilización de escorias de acería eléctrica a lo largo y ancho de Europa.

El contenido técnico del Congreso se completó con una visita guiada a las instalaciones de la pista de ensayo de firmes con las que cuenta el CEDEX en Canto Blanco, Madrid, una de las mejores pistas de ensayo de firmes del mundo, por su flexibilidad en el diseño, carga y velocidad de ensayo, que reproduce las condiciones reales de uso de los firmes en carreteras y autovía, que cuenta a su vez con una gran capacidad de instrumentación y monitorización.

La celebración en Madrid de Euroslag 2010 ha supuesto un claro impulso a la visión de las escorias en nuestro país, así como en la génesis de nuevas actividades tanto en plantas de producción, como en procesadores, autoridades competentes, grupos de innovación, etc.

### PROYECTO VENCES Y NANOSIDER

El proyecto VENCES (Valorización para el Empleo Normalizado como áridos de Carreteras y otros firmes de Escorias Siderúrgicas) surgió como una de las muchas consecuencias derivadas de la celebración del Congreso Euroslag 2010.

Sin embargo, y a pesar de su declarada altísima calidad, el proyecto no ha sido aceptado para su financiación, aparentemente por falta de fondos, habiendo sido recuperado y ampliado en el proyecto NANOSIDER que se describirá más adelante.

## ***"Gracias a su capacidad de innovación el futuro de las escorias en España es prometedor"***

El proyecto VENCES tenía como objetivo fundamental comprobar la viabilidad de las escorias siderúrgicas de horno eléctrico como árido para la construcción de carreteras, en las diferentes capas del firme (explanadas, capas granulares, materiales tratados con cemento, mezclas bituminosas, lechadas, etc.), analizando la idoneidad de su uso en cada una de ellas. En él estaba prevista la colaboración de un centro de investigación, el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Fomento), la industria siderúrgica representada



**Figura 8.-** Producción de áridos artificiales siderúrgicos  
(Foto cortesía de UNESID).

a través de UNESID, y una de las principales empresas constructoras españolas.

El proyecto pretendía ensayar distintos tipos de firmes en los que las escorias participaban como árido, tanto en la pista de ensayo acelerado del CEDEX, como en diversos tramos reales de autopistas de máximas prestaciones en condiciones usuales de servicio. Asimismo, se habría elaborado la documentación técnica necesaria para facilitar el conocimiento de la utilización de estos materiales a sus futuros usuarios, así como los correspondientes pliegos de condiciones para facilitar su consideración a las Administraciones de carreteras. También se preveía la redacción de manuales de generación y procesamiento dirigidos a las instalaciones siderúrgicas y a las de proceso, para que puedan alcanzar las máximas prestaciones según cada uno de los posibles usos a los que vayan destinadas las escorias. Finalmente se hubieran extraído conclusiones para el avance en su aplicación incluyendo la posibilidad de desarrollar posibles esquemas de certificación de producto y proceso si se considerara necesario para dar una mayor confianza al consumidor.

La labor de UNESID en este proyecto hubiera sido la coordinación de las actividades de varias empresas del sector, dispuestas a trabajar en detalle, para caracterizar las escorias, procesarlas incluso con las adaptaciones que fuesen necesarias, seleccionarlas y suministrarlas para la ejecución de los tramos de ensayo y en servicio. Asimismo, hubiera centralizado el estudio y revisión bibliográfica técnica con objeto de identificar referencias útiles de cara a homogeneizar su aplicación.

Dado el ingente trabajo realizado en la elaboración de este proyecto y la calidad alcanzada en el mismo, se decidió rescatarlo para la presentación de un nuevo proyecto, incluso más ambicioso, para la convocatoria "Feder-INNTERCONECTA" de Andalucía. NANOSIDER

persigue unos objetivos similares a los ya descritos pero añade el estudio del comportamiento de la escoria como sub-balasto, contando para ello con una importante participación de la Universidad y de las empresas siderúrgicas ubicadas en esta Comunidad.

El proyecto está formado por un consorcio que incluye 3 grandes empresas y 2 pymes. Entre las grandes empresas figuran Sacyr, como empresa constructora, Acerinox y Siderúrgica Sevillana, como empresas siderúrgicas. Entre las pymes participantes Gas Mengibar es la encargada de la fabricación y adaptación de la maquinaria que se utiliza en la construcción de firmes para optimizar el proceso de asfaltado con árido siderúrgico, mientras que Optimasoil aporta el polímero que se pretende incorporar al árido para mejorar aún más sus propiedades. Dadas las características del consorcio, y a pesar de haber sido uno de los promotores de este proyecto, UNESID no se ha podido presentar como tal para tratar de darle una mayor proyección, pero continúa realizando en la sombra labores de apoyo técnico.

Junto a este consorcio de empresas, las Universidades y un centro de investigación tan importante como el CEDEX se encargarán del análisis, estudio y caracterización de las escorias negras de acería eléctrica para los distintos usos en el firmes y en la bancada de ensayos para ferrocarril.

En caso de ser finalmente elegido, lo que seguramente se sabrá a finales de febrero de 2012, su desarrollo se extendería hasta el año 2014.

### **REGLAMENTO SOBRE EL REGISTRO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS (REACH)**

El reglamento REACH, Reglamento (CE) 1907/2006, constituye la apuesta más importante a nivel mundial para conseguir un conocimiento profundo de todas las sustancias que actualmente se comercialicen por encima de una tonelada al año en la Unión Europea. Según el reglamento, hay que evaluar los posibles riesgos que suponen estas sustancias para el medioambiente y para las personas, tanto en su fase de producción como en la de los diversos usos.





## REPORTAJES

➔ **Tabla 1.-** Agrupación de familias para el proceso de registro de las escorias siderúrgicas.

Nº familia	Sustancias registradas	Nombre EINECS	Nombre común	Nº EINECS <sup>1)</sup>	Nº CAS <sup>2)</sup>
1	GBS	Escoria ferrica de alto horno (granulada)	Escoria granulada de horno alto	266-002-0	65996-69-2
	ABS	Escoria ferrica alto horno (enfriada al aire)	Escoria de horno alto enfriada al aire	266-002-0	65996-69-2
2	BOS	Escoria de convertidor, fabricación de acero	Escoria de convertidor de oxígeno	294-409-3	91722-09-7
3a	EAF C	Escoria de horno eléctrico, fabricación de acero, (fusión de acero al carbono)	Escoria de producción de acero al carbono en horno eléctrico	294-410-9	91722-10-0
3b	EAF S	Escoria de horno eléctrico, fabricación de acero, (fusión de acero inoxidable o acero de alta aleación)	Escoria de producción de acero inoxidable en horno eléctrico	294-410-9	91722-10-0
4	SMS	Escoria, producción de acero	Escoria de producción de acero (afino)	266-004-1	65996-71-6

<sup>1)</sup> El número EINECS, nombrado por las iniciales de European Inventory of Existing Chemical Substances (Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes), es un número de registro dado a cada sustancia química comercialmente disponible en la Unión Europea (Directiva 67/548/EEC), que debe aparecer en la etiqueta y en el empaque de sustancias peligrosas.

<sup>2)</sup> El número registrado CAS (Chemical Abstracts Service) es una identificación numérica única para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones, creado la Sociedad Americana de Química, y que recoge más de 62 millones de compuestos catalogados.

Por primera vez en el mundo unos áridos, las escorias, han de demostrar públicamente, y con métodos científicos incontestables —basados en el estado actual del conocimiento global sobre efectos toxicológicos y ecotoxicológicos— la compatibilidad ambiental y de salud e higiene laboral de sus aplicaciones. El ejercicio ha costado globalmente a todas las empresas del sector la nada despreciable cifra de unos 10 millones de euros directos, entre el desarrollo del expediente tanto por el consorcio como por las propias empresas, y del registro en sí.

Desde el principio el sector apostó de un modo decidido por las escorias decidiendo registrarlas sin intentar conseguir alguna de las exenciones admisibles por parte del Reglamento. El 97 % de los productores de acero se ha puesto de acuerdo para realizarlo de un modo conjunto con lo cual la profundidad de los conocimientos ha sido de una calidad sin precedentes. Por el contrario, otros sectores, incluyendo los áridos naturales, han diseñado sus estrategias de cara a REACH orientadas a lograr acogerse a alguna exención con lo cual el conocimiento de los efectos seguirá siendo muy limitado.

Tras la definición de las diferentes familias de escorias (Tabla 1), el proceso de registro se inició mediante la revisión bibliográfica de

todos los estudios existentes en el mundo sobre escorias y su implicación para la salud y el medio ambiente. Se clasificaron por su bondad científica, pasándose a identificar en cuáles de los más de 70 aspectos que son precisos de analizar para una correcta evaluación del riesgo no existían datos concluyentes o la información disponible a nivel mundial era de escasa calidad. Se realizaron ensayos que cubrieran dichas carencias, y en los casos en los que se requerían estudios sobre animales vertebrados, se procedió a solicitar permiso a la Agencia Europea de Productos Químicos (ECHA) para que autorizara la realización de los ensayos necesarios.

Tras ello se identificaron todos los usos a los cuales se dedican las escorias siderúrgicas y las exposiciones existentes en cada uno de ellos.

Finalmente el resultado obtenido ha sido que ninguna de las 6 familias de escorias siderúrgicas (escoria de horno alto granulada, escoria de horno alto cristalizada, escoria de convertidor, escoria de acería eléctrica al carbono, escoria de acería eléctrica de alta aleación y

escoria de acería secundaria) presenta ninguna característica que las conviertan en peligrosa y, por lo tanto, no es necesaria clasificación de ningún tipo según el Reglamento europeo de clasificación y etiquetado de productos químicos (REACH). Aun así se está a la espera de un dictamen definitivo de la ECHA (European Chemical Agency), quién ha solicitado la realización de un par de estudios adicionales, en fase de realización, sobre puntos que considera que necesitan datos más concluyentes.

El sector ha ido mucho más allá de sus obligaciones, desarrollando fichas voluntarias de datos de seguridad detalladas de todas y cada una de las familias. Su desarrollo no hubiera sido necesario por no presentar las escorias característica alguna de peligrosidad. Sin embargo se consideró pertinente para transmitir la máxima tranquilidad al mercado de usuarios. Estas fichas voluntarias de datos de seguridad se están distribuyendo entre todos los registrantes con objeto de poder difundir los máximos estándares de seguridad de uso a todos los implicados en su cadena de aplicación

#### DIRECCIÓN DE FUTURO.

Además de las necesidades de difusión de las escorias, optimización de su procesamiento, y mejora de la puesta en obra que se han planteado como objetivos dentro de los proyectos VENCES y NANOSIDER comentados anteriormente, uno de las posibles opciones que se barajan, de cara a incrementar la confianza de los mercados consumidores de este excelente material, es instaurar un estricto sistema voluntario de certificación para asegurar que las escorias que lo obtienen tienen las máximas garantías de calidad e idoneidad para el uso requerido, más allá de las normas correspondientes. El mercado CE sería la base, yéndose con este posible esquema varios pasos más allá.

Dada la capacidad de innovación que presentan las escorias, fruto de su idiosincrasia, y la vitalidad

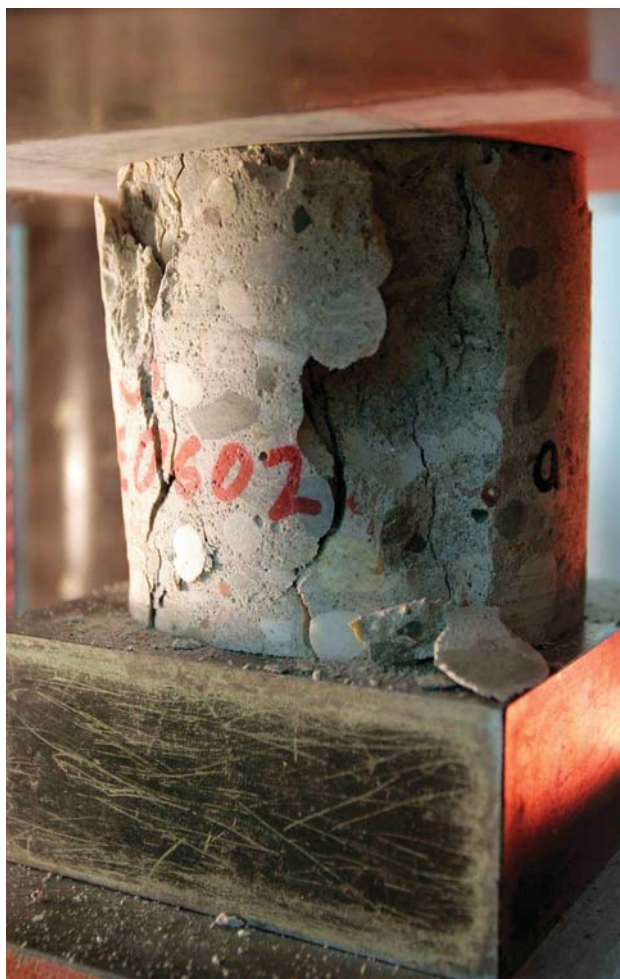


Figura 9.- Hormigones y mezclas con cemento emplean las escorias como árido.

de las empresas implicadas en su producción y procesamiento —como se demostró, por ejemplo, en la decidida forma de afrontar el REACH— su futuro es cada vez más luminoso y no cabe ninguna duda de que en España su aplicación acabará por eclosionar fuertemente, de forma similar a como ha sucedido en el resto de Europa.

Por lo tanto, las empresas siderúrgicas están cambiando su filosofía, o deberán hacerlo, para pasar de generadores de escorias a productores de áridos (como exponente principal de los diversos usos), o proveedores de una materia prima para que otra empresa integrada lo llevé a cabo en las mejores condiciones posibles, que son las que garantizan el óptimo aprovechamiento económico y ambiental, indisolublemente ligado al anterior. ■



MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



CSIC



CENIM

Centro Nacional  
de Investigaciones Metalúrgicas

# Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas



## Líneas de Investigación

Corrosión, protección y durabilidad de  
materiales metálicos.

Diseño microestructural y procesado flexible para  
la optimización de materiales metálicos para  
aplicaciones innovadoras.

Tecnologías limpias y procesos metalúrgicos.

Contacto:

[director@cenim.csic.es](mailto:director@cenim.csic.es)

Tfn: 91 553 89 00

[www.cenim.csic.es](http://www.cenim.csic.es)

Empresas colaboradoras Proyecto BIA2011-27182:





# ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA UTILIZACIÓN DE ARMADURAS DE ACEROS INOXIDABLES EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN



**Eduardo Medina Sánchez<sup>1</sup>, Alfonso Cobo Escamilla<sup>1</sup> y David Martínez Bastidas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Grupo de Investigación UPM-Patología de estructuras, protecciones colectivas y medios auxiliares de edificación, Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM-CSIC, Departamento de Ingeniería de Superficies, Corrosión y Durabilidad.

*La utilización de armaduras de acero inoxidable, de los tipos austeníticos y dúplex, con el objetivo de prolongar la vida útil de las estructuras de hormigón, es una alternativa que está recibiendo cada vez más consideración. Los aceros inoxidables son aleaciones fundamentalmente de cromo y níquel, con muy alta resistencia a la corrosión, especialmente frente a cloruros. El elevado coste del níquel y sus grandes fluctuaciones en el mercado han favorecido la aparición de nuevos aceros inoxidables con bajo contenido en dicha aleación y, por lo tanto, más económicos, que sin embargo presentan una resistencia a la corrosión similar a los tradicionales.*

*En este artículo se presenta una comparativa económica para cuantificar el sobrecoste final que supone la utilización de armaduras de acero inoxidable con respecto a las tradicionales armaduras de acero al carbono. La comparativa se realiza sobre dos edificaciones tipo: un edificio de apartamentos situado frente a la costa y un aparcamiento subterráneo.*

*En el estudio se han considerado tres tipos diferentes de armaduras de acero inoxidable, austenítico, dúplex y una nueva armadura dúplex de bajo contenido en níquel y, por lo tanto, más económica, analizándose la viabilidad económica de su utilización en estructuras de hormigón.*

Las estructuras de hormigón armado presentan una elevada durabilidad. La alcalinidad del hormigón, pH=12-13, favorece la pasividad de los refuerzos, protegiendo de la corrosión a las armaduras de acero al carbono em-

bebidas en él. Sin embargo, el ingreso de agentes agresivos en el hormigón, principalmente dióxido de carbono (contenido en la atmósfera) e iones cloruro (presentes en las sales de deshielo y ambientes marinos), rebasando el espesor del recubrimiento de hormigón y llegando hasta las armaduras, provocan su despasivación.



## REPORTAJES

Estas estructuras presentan corrosión generalizada por reducción del pH en el caso del  $\text{CO}_2$ , y corrosión localizada por picadura en el caso de los iones  $\text{Cl}^-$ . En presencia de humedad y oxígeno, se favorece la propagación de la corrosión, lo que supone una drástica reducción de la vida útil en servicio de estas estructuras y su inevitable protección o reparación [1]. Una vez iniciada la corrosión, el pH en la interfase acero-productos de corrosión es ácido, aún en el seno de un medio muy alcalino como el hormigón, con lo cual las armaduras presentarán un estado activo, no siendo necesarios los cloruros para propagar la corrosión [2].

El deterioro de las estructuras de hormigón armado supone anualmente un elevado coste en procesos de reparación y mantenimiento, estimado entre el 3-4 % del PIB en países desarrollados. La principal causa de deterioro es la corrosión del acero de las armaduras como consecuencia de procesos de carbonatación o por la penetración de iones cloruros originando el ataque por picadura del acero [3]. En la actualidad, aproximadamente un tercio del total de la producción mundial de acero se destina a reparar estructuras existentes dañadas por procesos de corrosión.

La característica que singulariza al corrugado de acero inoxidable (Figura 1) frente a la de acero al carbono es su excelente resistencia a la corrosión desencadenada por los iones cloruro. El acero inoxidable es una aleación que contiene al menos un 10,5 % de cromo y un



Figura 1.- Armaduras de acero inoxidable dúplex AISI 2304, de varios diámetros.

## "Los países desarrollados dedican más del 3 % de su PIB a la reparación de estructuras de hormigón"

máximo del 1,2 % de carbono [4]. Según el tipo de acero inoxidable, además puede contener otros aleantes como son el níquel, manganeso, molibdeno, titanio, nitrógeno etc. Todos los aleantes mejoran la resistencia a la corrosión del acero (algunos especialmente mejoran la resistencia a la corrosión por picaduras) o alguna característica adicional como la soldabilidad, la resistencia mecánica, las propiedades mecánicas a altas temperaturas, etc.

Los aceros inoxidables austeníticos y dúplex son los tipos recomendados para su utilización en el hormigón. Los austeníticos contienen un 16-26 % de Cr, más de un 6 % de Ni y menos del 0,3 % de C, además de otros elementos como el cobre, el molibdeno o el nitrógeno. Son los más utilizados y es conocida su resistencia a la corrosión en hormigones con gran contenido de cloruros. Su tolerancia a los cloruros es de 5 a 10 veces superior a la del acero al carbono [5]. Los aceros inoxidables dúplex contienen un 15-28 % de Cr, menos del 8 % de Ni, entre 0,1-4 % de Mo y normalmente un 0,03 % de C. Los dúplex son más económicos que los austeníticos, por su menor contenido en níquel, metal aleante que sufre grandes fluctuaciones de precio en el mercado internacional (Figura 2), pero presentan una mayor resistencia a la corrosión por picaduras de cloruros [6].

Uno de los avances más significativo en los últimos años en el sector de la construcción ha sido la utilización de los aceros inoxidables dúplex para aplicaciones estructurales, al ofrecer mayores resistencias mecánicas que los austeníticos y similares o superiores cualidades anticorrosión [7]. También en los últimos años se están desarrollando nuevos aceros inoxidables austeníticos y dúplex de bajo contenido en níquel, que ofrecen resistencias similares a la corrosión a un precio mucho más competitivo.

Por otra parte, diferentes estudios demuestran que el uso combinado de refuerzos de acero inoxidable y acero al carbono en la armadura de una misma estructura de hormigón no aumenta el riesgo de corrosión de dicha armadura en comparación con una armadura formada únicamente por elementos de acero al carbono, incluso en presencia de pares galvánicos, cuando dichas barras están en contacto eléctrico directo [8-10]. Por lo tanto, la utilización de armaduras de acero inoxidable, del tipo austenítico o dúplex —en la estructura completa, o sólo en algunos de sus elementos que vayan a estar expuestos a ambientes agresivos, especialmente con presencia de iones cloruro— mejora notablemente la durabilidad de la estructura, por lo que es una alternativa que está recibiendo cada vez más consideración, a pesar de su alto coste inicial en comparación con el acero al carbono.

En este artículo se presenta una comparativa económica para cuantificar el sobrecoste final que supone la utilización de armaduras de acero inoxidable con respecto a las tradicionales armaduras de acero al carbono. La comparativa se realiza sobre dos edificaciones tipo. La primera es un edificio en altura de 40 apartamentos, que se su-

pone situado frente a la costa, es decir, con clase de exposición IIIa según la Instrucción EHE-08. La segunda es un aparcamiento subterráneo de 500 plazas distribuidas en cuatro plantas.

En el estudio se han considerado tres tipos diferentes de armaduras de acero inoxidable: austenítico AISI 304 (EN 1.4301), dúplex AISI 2304 (EN 1.4362) y una nueva armadura dúplex de bajo contenido en níquel, y por lo tanto más económica, que es la AISI 2001 (EN 1.4482).

La comparativa se ha realizado atendiendo al sobrecoste material de las armaduras de acero inoxidable y también al hecho de que los aceros inoxidables permiten relajar unas medidas de durabilidad del hormigón pensadas, en su origen, para proteger el acero al carbono, admitiendo espesores de recubrimiento menores y aberturas de fisura mayores [11,12], lo que se traduce en un cierto ahorro de las armaduras necesarias para determinados elementos estructurales, como son las vigas y las losas. Por ejemplo, una viga plana de 30 x 50 cm de sección, de 6 m de longitud y 36 m<sup>2</sup> de área tributaria, expuesta en ambiente IIIa (recubrimiento nominal de 35 mm y abertura de fisura máxima de 0,2 mm) y con las cargas habituales en edificación, necesita una cantidad de armado de acero B 500 SD de 168 kg/m<sup>3</sup>. Si la misma viga se arma con acero inoxidable, de características mecánicas similares a las del acero B 500 SD a efectos del cálculo, el recubrimiento nominal se

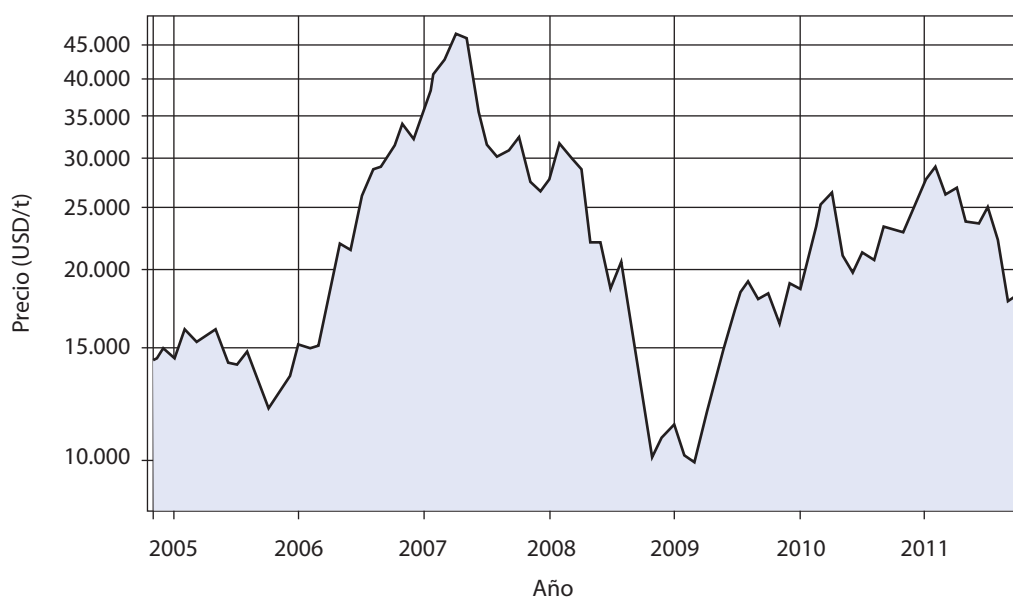


Figura 2.- Evolución del precio del níquel en los últimos seis años (Rohstoffe, ARIVA:DE, www.gual.es).





## REPORTAJES



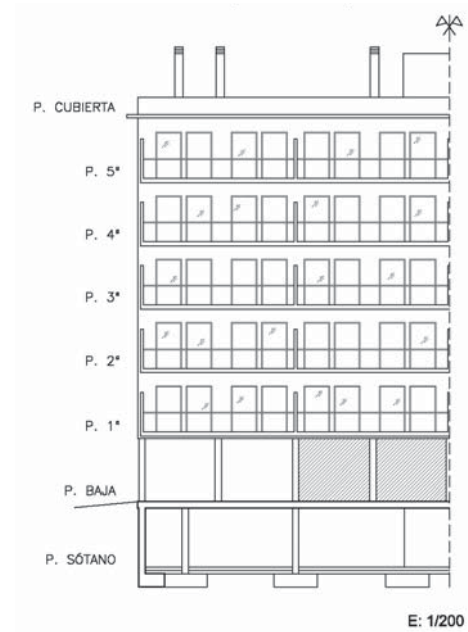
**Figura 3.-** Detalle de los daños por corrosión que más habitualmente afectan a las edificaciones próximas a la costa.

podría reducir a 20 mm y la abertura de fisura aumentar a 0,3 mm, con lo que la cuantía de armado se reduce a 140 kg/m<sup>3</sup>, lo que supone un ahorro de 28 kg/m<sup>3</sup>. Si la viga es de canto, de 50 x 30 cm, entonces el ahorro aumenta a 32 kg/m<sup>3</sup>. Es decir, se puede considerar un ahorro medio de 30 kg/m<sup>3</sup> en vigas si se arman con acero inoxidable en vez de con acero al carbono, cantidad que se ha tenido en cuenta en la comparativa económica. En el caso de las losas se supone también un ahorro proporcional.

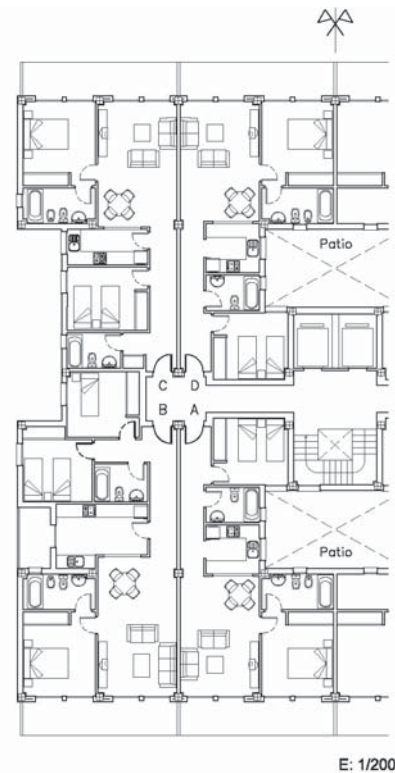
Al balance económico final presentado hay que añadir el hecho de que las armaduras de acero inoxidable no precisan de ningún tipo de mantenimiento ni reparaciones en el hormigón, por lo que a largo plazo suponen un ahorro importante con respecto a las armaduras de acero al carbono. Es de conocimiento general que a los pocos años de haber sido construidos los edificios situados en la costa necesitan de una reparación general de todos los elementos de hormigón armado más expuestos, como son las losas y zunchos de los balcones y los aleros. En estos casos, la reparación suele resultar tan costosa que compensa holgadamente el sobrecoste inicial que representan la utilización de armaduras de acero inoxidable tal como se expone a continuación.

## COMPARATIVA ECONÓMICA PARA UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS

Se ha diseñado un edificio tipo en altura, de cinco plantas y cuarenta viviendas, situado frente a la costa (clase de exposición IIIa) cuya fachada principal y planta tipo se recogen en las Figuras 4 y 5. El edificio



**Figura 4.-** Fachada principal (mitad izquierda) del edificio de apartamentos diseñado para la comparativa económica sobre los costes de utilización de armaduras de acero inoxidable.



**Figura 5.-** Planta tipo (de Planta 1ª a 5ª, mitad izquierda) del edificio de apartamentos diseñado para la comparativa económica.

tiene una planta baja semi-diáfana, con zona de aparcamiento entre pilares, portal de entrada y zona de cuartos trasteros y de instalaciones. Como una opción, se ha supuesto que el edificio pueda tener una planta sótano de garaje, a la que se accede por una rampa delimitada por un muro de hormigón para contener las tierras.

En la Tabla 1 se recoge la superficie total computable del edificio, considerando la planta sótano y sin ella, a efectos de calcular la repercusión del sobrecoste de las armaduras de acero inoxidable. También se recogen los metros cuadrados de estructura y solera, para ofrecer también el sobrecoste según éste parámetro, más interesante desde el punto de vista de coste constructivo.

Considerando la superficie construida sobre rasante, la media es de 98 m<sup>2</sup> por vivienda.

A efectos de la comparativa, el edificio presenta las siguientes características:

- Estructura de hormigón armado, con forjados de 25 + 5 cm de espesor de nervios *in situ* de 10 cm de anchura e interejos a 70 cm [13].
- Losas macizas de hormigón en terrazas y aleros.
- Pilares exentos en la zona diáfana de la planta baja.
- Solera de hormigón en sótano y rampa de acceso, o en planta baja en su caso.

En la Tabla 2 se recogen las mediciones de la estructura de hormigón del edificio con y sin sótano.

Tabla 1.- Cuadro de superficies construidas del edificio de apartamentos.

Planta	Edificio con sótano		Edificio sin sótano	
	Superficie computable (m <sup>2</sup> )	Estructura y solera(*) (m <sup>2</sup> )	Superficie computable (m <sup>2</sup> )	Estructura y solera(*) (m <sup>2</sup> )
Sótano	772	899	-	-
Baja	390	783	390	783
1ª a 5ª	3.525	3.957	3.525	3.957
Cubierta	-	705	-	705
Total	4.687	6.344	3.915	5.445

(\*) Incluye todos los forjados, incluso el de cubierta, y las superficies del sótano y la rampa.

Tabla 2.- Mediciones de las estructuras de los edificios estudiados.

Mediciones	Edificio	
	Con sótano	Sin sótano
Cimentación		
Hormigón armado en zapatas y vigas riostras	236 m <sup>3</sup>	143 m <sup>3</sup>
Planta sótano y rampa		
Muro de hormigón de sótano, foso de ascensor y rampa	383 m <sup>2</sup>	383 m <sup>2</sup>
Solera de hormigón con mallazo electrosoldado	868 m <sup>2</sup>	868 m <sup>2</sup>
Hormigón armado en pilares exentos	7 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>
Planta baja		
Forjado de planta baja expuesto al exterior	393 m <sup>2</sup>	393 m <sup>2</sup>
Forjado de planta baja en interior	390 m <sup>2</sup>	390 m <sup>2</sup>
Forjado de planta 1ª expuesto al exterior	315 m <sup>2</sup>	315 m <sup>2</sup>
Hormigón armado en pilares exentos	7 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>
Hormigón armado en todos los pilares	14 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>
Muro de hormigón en foso de ascensor		9 m <sup>2</sup>
Solera de hormigón con mallazo electrosoldado		783 m <sup>2</sup>
Planta de viviendas (medición por planta)		
Forjado de planta expuesto al exterior (terrazas cocina)	8 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>
Forjado de planta en interior	697 m <sup>2</sup>	697 m <sup>2</sup>
Hormigón armado en losas de terrazas al exterior	17,2 m <sup>3</sup>	17,2 m <sup>3</sup>
Planta de cubierta		
Forjado de planta completo	705 m <sup>2</sup>	705 m <sup>2</sup>
Hormigón armado en losa de alero	10 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>



## REPORTAJES

Las cuantías medias de armado consideradas para los diferentes elementos estructurales han sido las siguientes:

• Zapatas y vigas riostras:	40 kg/m <sup>3</sup>
• Muros:	18 kg/m <sup>2</sup>
• Pilares:	80 kg/m <sup>3</sup>
• Mallazo de soleras:	1,4 kg/m <sup>2</sup>
• Forjados <i>in situ</i> :	3 kg/m <sup>2</sup>
• Jácenas planas:	
- Con acero al carbono	180 kg/m <sup>3</sup>
- Con acero inoxidable	150 kg/m <sup>3</sup>
• Zunchos:	75 kg/m <sup>3</sup>
• Losas:	
- Con acero al carbono	85 kg/m <sup>3</sup>
- Con acero inoxidable	70 kg/m <sup>3</sup>

Se considerarán 0,05 m<sup>3</sup> de hormigón armado en jácenas y 0,01 m<sup>3</sup> en zunchos por cada metro cuadrado de forjado.

Suponiendo un suministro al detalle de barras corrugadas en largos de 12 metros para una obra de tamaño medio de edificación en Madrid, los precios medios de mercado facilitados en abril de 2011, sin incluir el IVA, serían los que se indican a continuación (fuente: departamentos comerciales de Acerinox S.A. y de Armacentro S.A.), y con los que se han realizado las valoraciones económicas de las obras analizadas:

• Acero al carbono B 500 SD:	0,70 €/kg
• Acero inoxidable austenítico AISI 304:	4,50 €/kg
• Acero inoxidable dúplex AISI 2304:	3,75 €/kg
• Acero inoxidable dúplex AISI 2001:	3,05 €/kg

Los precios varían en función del diámetro de las barras corrugadas, por lo que los indicados son medias estimadas para el consumo habitual de una obra tipo de edificación.

### Edificio de apartamentos con planta sótano

Se calcula el sobrecoste que supone sustituir las armaduras de acero al carbono por armadura de acero inoxidable, de los tres tipos considerados, en los elementos estructurales más expuestos a la posible corrosión de sus armaduras.

Operando, se obtienen las siguientes cantidades de acero corrugado susceptible de ser sustituido por armaduras de acero inoxidable:

• Cimentación (completa):	9.440 kg
• Muros de sótano y rampa (todos):	6.894 kg
• Pilares exentos (plantas sótano y baja):	1.120 kg
• Soleras armadas (todas):	1.215 kg
• Forjados expuestos al exterior:	2.220 kg
• Jácenas y zunchos de forjados al exterior:	6.105 kg
• Losas (terrazas salones y alero):	6.720 kg
Total:	33.714 kg

Lo que supone una media de 7,19 kg de acero por metro cuadrado construido.

El sobrecoste de esta opción, para cada uno de los tres grados de acero inoxidable considerados, se recoge en la Tabla 3.

### Edificio de apartamentos sin planta sótano

Repitiendo el ejercicio efectuado en el caso anterior, la cantidad mínima recomendable de acero corrugado a cambiar por acero inoxidable sería el siguiente:

• Cimentación (completa):	5.720 kg
• Pilares exentos (planta baja):	560 kg
• Muros (foso ascensor):	162 kg
• Soleras armadas:	1.096 kg
• Forjados expuestos al exterior:	1.041 kg
• Jácenas y zunchos de forjados al exterior:	2.863 kg
• Losas (terrazas salones y alero):	6.720 kg
Total:	18.162 kg

Lo que supone una media de 4,64 kg por metro cuadrado construido.

El sobrecoste de esta opción, para cada uno de los tres grados de acero inoxidable considerados, se recoge en la Tabla 4.



Tabla 3.- Sobrecoste de la sustitución parcial de las armaduras en el edificio de apartamentos con planta sótano.

Tipo de acero inoxidable	Sobrecoste total (€)	Repercusión por		
		Superficie construida (€/ m <sup>2</sup> )	Estructura y solera (€/ m <sup>2</sup> )	Vivienda (€)
AISI 304	126.328	27,0	19,9	3.158
AISI 2304	101.043	21,6	15,9	2.526
AISI 2001	77.443	16,5	12,2	1.936

Tabla 4.- Sobrecoste de la sustitución parcial de las armaduras en el edificio de apartamentos sin planta sótano.

Tipo de acero inoxidable	Sobrecoste total (€)	Repercusión por		
		Superficie construida (€/ m <sup>2</sup> )	Estructura y solera (€/ m <sup>2</sup> )	Vivienda (€)
AISI 304	67.644	17,3	12,4	1.691
AISI 2304	54.022	13,8	9,9	1.351
AISI 2001	41.309	10,6	7,6	1.033

### COMPARATIVA ECONÓMICA PARA UN APARCAMIENTO SUBTERRÁNEO

Para realizar una estimación económica del sobrecoste que supondría sustituir las armaduras de acero al carbono por otras de acero inoxidable en una estructura de

hormigón de un aparcamiento subterráneo, se ha diseñado uno con las siguientes características:

- Aparcamiento para 500 plazas distribuidas en cuatro plantas.
- Accesos peatonales y de vehículos a nivel de la planta superior.
- El aparcamiento dispone de rampas de bajada y subida independientes, núcleo de comunicación vertical para peatones con caja de escaleras y un ascensor, conserjería para vigilancia, cuartos de instalaciones y almacenes varios.
- La estructura es enteramente de hormigón armado, con muros perimetrales de 30 cm de espesor (20 cm los muros de contención de tierras en los accesos al garaje), forjado reticular 25 + 5 cm de canto, interejes 80 x 80 cm, y rampas de acceso resueltas mediante losa armada de 20 cm de espesor.
- La superficie total construida es de 11.770,30 m<sup>2</sup>, lo que supone 23,54 m<sup>2</sup> por plaza.

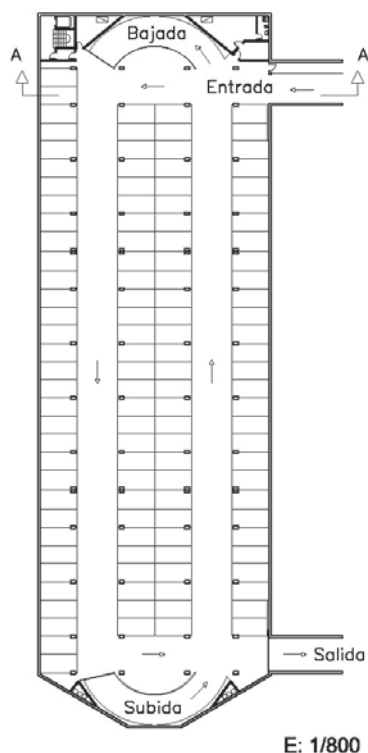


Figura 6.- Planta de acceso (4º) del aparcamiento subterráneo de 500 plazas diseñado para la comparativa económica.

En las Figuras 6 y 7 se muestran el plano de la planta de acceso (que es similar a las otras tres plantas) y la sección transversal del aparcamiento.

En este caso, la comparativa considera necesario el cambio total de las armaduras de acero al carbono por otras de acero inoxidable, puesto que tanto las armaduras de los elementos estructurales que están en contacto con el terreno o con el exterior, como las de aquellos que quedan en el interior, expuestos al ambiente con CO<sub>2</sub> que favorece la carbonatación del hormigón, son susceptibles de ataque por corrosión.



## REPORTAJES

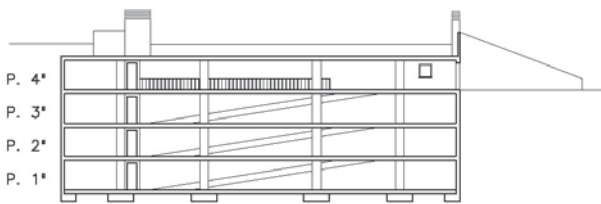
### "Los aceros inoxidables de bajo contenido en níquel son una buena solución a un precio más competitivo"

Las mediciones de la estructura propuesta son las siguientes:

- Cimentación: zapatas y vigas riostras: 295 m<sup>3</sup>
- Muros de hormigón: 788 m<sup>3</sup>
- Soleras de hormigón con mallazo electrosoldado: 2.947 m<sup>2</sup>
- Hormigón armado en pilares: 124 m<sup>3</sup>
- Forjado reticular de los cuatro niveles: 11.025 m<sup>2</sup>
- Losas inclinadas en rampas: 508 m<sup>2</sup>

Las cuantías medias de armado consideradas para los diferentes elementos estructurales son las mismas que para el edificio anterior y, además, las siguientes:

- Muros: 80 kg/m<sup>3</sup>
- Forjado reticular:
  - Con acero al carbono 15 kg/m<sup>3</sup>
  - Con acero inoxidable 13 kg/m<sup>3</sup>
- Losas inclinadas de rampas: 100 kg/m<sup>3</sup>
  - Con acero al carbono 100 kg/m<sup>3</sup>
  - Con acero inoxidable 83 kg/m<sup>3</sup>



E: 1/400

Figura 7.- Sección transversal A-A' del aparcamiento subterráneo.

Tabla 5.- Sobrecoste del cambio total de las armaduras de acero al carbono por armaduras de acero inoxidable en el aparcamiento subterráneo.

Tipo de acero inoxidable	Sobrecoste total (€)	Repercusión por		
		Superficie construida (€/m <sup>2</sup> )	Estructura y solera (€/m <sup>2</sup> )	Vivienda (€)
AISI 304	988.156	84,0	1.976	1.691
AISI 2304	789.840	67,1	1.580	1.351
AISI 2001	604.745	51,4	1.209	1.033

Operando, la cantidad total de armadura necesaria para la estructura es la siguiente:

- Cimentación: 11.800 kg
- Muros: 63.040 kg
- Pilares: 9.920 kg
- Soleras: 4.126 kg
- Forjados reticulares:
  - Con acero al carbono 165.375 kg
  - Con acero inoxidable 143.325 kg
- Losas:
  - Con acero al carbono 10.160 kg
  - Con acero inoxidable 8.433 kg

Total con acero al carbono: 264.421 kg

Total con acero inoxidable: 240.644 kg

Lo que supone una media de 22,47 kg/m<sup>2</sup> para el caso de las armaduras de acero al carbono, y de 20,44 kg/m<sup>2</sup> para las armaduras de acero inoxidable.

El sobrecoste del cambio total de las armaduras de acero al carbono, por armaduras de acero inoxidable de cada grado se resume en la Tabla 5.

## CONCLUSIONES

Si se arman los elementos estructurales de un edificio que están más expuestos a la corrosión con acero inoxidable dúplex de bajo contenido en níquel, como es el AISI 2001, dejando el resto del armado de la estructura con acero al carbono tradicional, se produce un sobrecoste de la superficie construida comprendido entre 10,6 a 16,5 €/m<sup>2</sup>, lo que es perfectamente asumible

desde el punto de vista del coste de la promoción, ofreciendo al cliente final una estructura de hormigón que no necesitará de ninguna labor de mantenimiento o reparación por corrosión de sus armaduras y fisuración en un plazo de tiempo muy superior al de una estructura tradicional.

En el caso de la construcción de edificios frente a la costa —expuestos a un ambiente agresivo por la concentración de cloruros— es muy recomendable la utilización de armaduras de acero inoxidable de bajo contenido en níquel (es decir, de bajo coste) en los elementos más expuestos y, como se ha visto, es económicamente viable.

Las armaduras de acero inoxidable austenítico y dúplex más aleadas apenas se utilizan en edificación en España por su mayor coste, pero están especialmente indicadas para estructuras muy expuestas a los cloruros, como son los puentes de carretera en los que se prevea la utilización

## ***"El empleo de armaduras inoxidables mejora notablemente la durabilidad de la estructura"***

de sales fundentes de deshielo, o las estructuras de obra civil situadas en zonas marinas como, por ejemplo, los embarcaderos. La primera utilización de armadura de acero inoxidable de la que se tiene noticia, se llevó a cabo en el embarcadero de Progreso, en el Golfo de México, que se adentra 2 km en el mar para unir el puerto con el núcleo urbano. Se construyó en el año 1941 y se utilizó una armadura equivalente a la AISI 304. En la actualidad, el embarcadero está en perfectas condiciones, a diferencia del que fue construido a su lado en 1969 pero utilizando armaduras de acero al carbono y que ha desaparecido casi por completo. En este caso, queda clara la ventaja económica a largo plazo que tiene la utilización de armaduras de acero inoxidable.

En el caso del aparcamiento subterráneo, el sobrecoste de utilizar en toda la estructura armaduras de acero inoxidable en lugar de acero al carbono es, como mínimo, de 1.209 € por plaza de



Figura 8.- El embarcadero de Progreso en la península de Yucatán.





## REPORTAJES

aparcamiento, lo que parece una cantidad asumible si la estructura se va a situar en una clase de exposición de elevado riesgo de corrosión y se tiene en cuenta el ahorro de mantenimiento y reparación a largo plazo, lo que lo hace muy interesante tanto en obra privada como pública.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su gratitud al Plan Nacional de I+D+i, Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España, por la financiación al Proyecto BIA2011-27182 y D. M. Bastidas agradece la financiación al Programa Ramón y Cajal.

Expresan, asimismo, su agradecimiento a Acerinox S.A. y a Roldán S.A. por el suministro de las armaduras de acero inoxidable utilizadas en los ensayos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ALONSO, M.C., ANDRADE, M.C., FULLEA, J., "Corrosión y protección de las estructuras de hormigón armado", *Zuncho* 11, 2007, 9-17.
- [2] COBO, A., *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: causas y procedimientos de rehabilitación*. Madrid: Fundación Escuela de la Edificación, 2001.
- [3] BASTIDAS, D.M., FERNÁNDEZ-JIMENEZ, A., PALOMO, A., GONZÁLEZ, J.A., "A study on the passive state stability of steel embedded in activated fly ash mortars", *Corrosion Science* 50, 2008, 1058-1065.
- [4] AENOR: UNE-EN 10020 Definición y clasificación de los tipos de aceros. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación. 2001.
- [5] KNUDSEN, A., SKOYSGAARD, A., "Stainless steel reinforcement", *Concrete Engineering International* 3, vol. 5, 2001, 59-62.
- [6] BAUTISTA, A., BLANCO, G., VELASCO, F., GUTIERREZ, A., PALACÍN, S., SORIANO, L., TAKENOUTI, H., "Pasivación de aceros inoxidables dúplex en disoluciones que simulan el hormigón contaminado con cloruros". *Materiales de Construcción* 57, vol. 288, 2007, 17-32.
- [7] BADDOO, N.R., "Stainless steel in construction: a review of research, applications, challenges and opportunities". *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 2008, 1199-1206.
- [8] QIAN, S., QU, D., COATES, G., "Galvanic coupling between carbon steel and stainless steel reinforcements", *Canadian Metallurgical Quarterly* 4, vol. 45, 2006, 475-484.
- [9] ABREU, C.M., CRISTÓBAL, M.J., MONTEMOR, M.F., NÓVOA, X.R., PENA, G., PÉREZ, M.C., "Galvanic coupling between carbon steel and austenitic stainless steel in alkaline media", *Electrochimica Acta* 47, 2002, 2271-2279.
- [10] PEREZ-QUIROZ, J.T., TERÁN, J., HERRERA, M.J., MARTÍNEZ, M., GENESCÁ, J., "Assessment of stainless steel reinforcement for concrete structures rehabilitation". *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 2008, 1317-1324.
- [11] HIGHWAYS AGENCY. *Design Manual for Roads and Bridge*. Volume 1. Section 3. Part 15: BA 84/02 Use of Stainless Steel Reinforcement in Highway Structures, Highways Agency, London, 2002.
- [12] GEDGE G., "Structural properties of stainless steel rebar", *Symposium Structural applications of stainless steel in building and architecture*, EUROINOX, Septiembre 2000, Bruselas ([www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org)).
- [13] MEDINA, E., *Construcción de estructuras de hormigón armado en edificación*. Madrid: Bellisco, 2009. ■

## RECOMENDACIONES SOBRE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS



Bajo el título "Recomendaciones relativas a seguridad y salud para la ejecución de estructuras de hormigón. Puentes y Estructuras de edificación convencionales" el Grupo de Trabajo sobre seguridad y salud de ACHE (Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural) ha publicado una monografía que recopila una completa relación de riesgo y medidas pre-

ventivas que es preciso considerar para la correcta ejecución de las estructuras de hormigón en puentes y estructuras convencionales de edificación.

En nuestro ordenamiento existe un amplio conjunto de disposiciones legales y textos que especifican el modo de realizar los trabajos con la debida seguridad y los medios y las protecciones, tanto individuales como colectivas, que es necesario usar para ello, pero sin indicar de una forma clara cuáles serían los más adecuados para cada situación, laguna que trata de cubrir esta monografía.

Como las estructuras van "creciendo" a medida que se construyen, no puede partirse de la base de la existencia de elementos en los que apoyarse, razón por la que las medidas de protección se han de ir adaptando a la evolución del proceso, debiendo ser en algunos casos de carácter individual, y en otros de carácter colectivo o una mezcla de ámbos.

En su redacción, los autores han partido de la experiencia en la ejecución directa de los trabajos que componen las diversas actividades relacionadas con este tipo de estructuras: desde los accesos, la maquinaria, las instalaciones o las

protecciones contra incendios de las zonas comunes de la obra, a cuestiones más específicas como los movimientos de tierras, las cimentaciones, las cimbras y encofrados, el manejo de las armaduras, el tesado de armaduras activas, el hormigonado, el montaje de elementos prefabricados, etc.

### Alcance

Las recomendaciones incluidas en la monografía se refieren a los modos de construcción habituales y mayoritariamente empleados en la actualidad.

En el caso de los puentes, se consideran aquellos que se ejecutan de una forma más común, es decir, los puentes cimbrados con cimbra llena o porticada, incluyéndose también puentes que emplean vigas prefabricadas en la constitución de sus tableros, sobre las que se disponen, total o parcialmente, placas prefabricadas de hormigón como encofrado perdido o como elemento estructural.

Para las estructuras de edificación se ha considerado el caso más común de estructuras porticadas ejecutadas *in situ*, en la que pueden utilizarse elementos prefabricados en los forjados o, incluso, para la formación de sus pórticos.

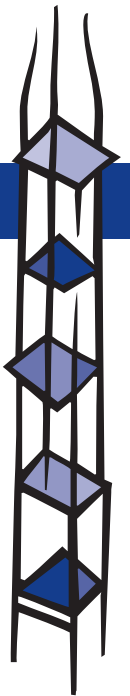
En relación a las cimentaciones, se han incluido las de tipo superficial y no así las cimentaciones especiales.

La monografía incluye también la referencia a los Reales Decretos, Órdenes Ministeriales y normas aplicables, para facilitar la práctica de esta importante actividad de la seguridad y salud de nuestras obras.

### Contenido

Capítulo 1. Aspectos generales relativos a la gestión de la prevención de riesgos laborales.

Capítulo 2. Recomendaciones relativas a la prevención de riesgos laborales durante la ejecución de puentes y estructuras de edificación convencionales con hormigón estructural.





## RESEÑAS

Capítulo 3. Recomendaciones, de carácter específico, para las actividades a desarrollar en la ejecución de la estructura propiamente dicha.

Capítulo 4. Referencia bibliográfica a algunas Leyes, Reales Decretos, Órdenes Ministeriales y Normas aplicables.

Capítulo 5. Resumen de recomendaciones.

## APLICACIONES PRÁCTICAS DEL MODELO DE BIELAS Y TIRANTES

Recientemente la Federación Internacional del Hormigón (fib) ha publicado un informe técnico titulado "Design examples for strut-and-tie models", cuyo objetivo principal es proporcionar ejemplos de cómo utilizar los modelos de bielas y tirantes en la resolución de regiones de discontinuidad (regiones D) en estructuras de hormigón.

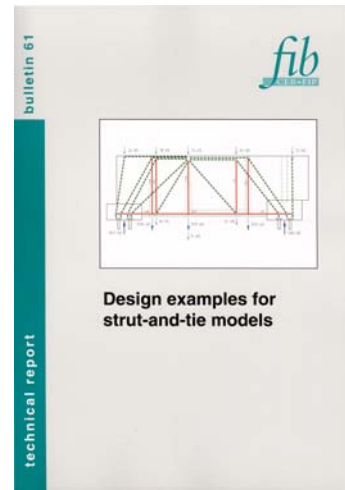
El informe recopila 14 ejemplos correspondientes a estructuras existentes construidas en los últimos años, que resuelven situaciones habituales en la práctica del diseño, sin que los autores hayan pretendido mostrar casos excepcionales.

Entre los ejemplos se encuentran elementos de cimentación, como zapatas, encepados de pilotes, dovelas, cajas de

ascensores, muros de cortante, capiteles prefabricados, vigas de gran canto, pilonos, etc.

En su elaboración han participado ingenieros de diversos países como España, Portugal, Noruega, Japón, República Checa, Eslovaquia, Estados Unidos, Suiza o Vietnam, cada uno de los cuales ha propuesto y desarrollado un ejemplo concreto.

Esta publicación está especialmente dirigida a aquellos técnicos relacionados con el cálculo avanzado de estructuras de hormigón. ■



**zuncho** Revista trimestral

Si todavía no recibe nuestra revista y quiere recibirla gratuitamente o que la reciba otra persona, por favor háganos llegar los datos adjuntos por fax (91 556 75 89) o por correo electrónico (zuncho@ferraplus.com).

Nombre: \_\_\_\_\_

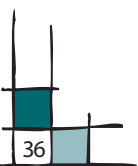
Empresa: \_\_\_\_\_

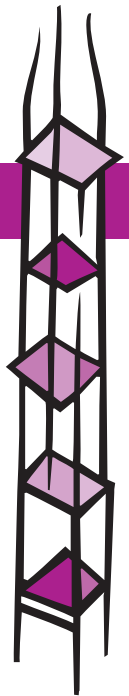
Cargo: \_\_\_\_\_

Dirección postal: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

De acuerdo con la Ley 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), los datos personales suministrados por el Usuario serán incorporados a un fichero automatizado. En cumplimiento de lo establecido en la LOPD, el Usuario podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición. Para ello puede contactar con nosotros en el teléfono: 91 556 76 98; o enviándonos un correo electrónico a: zuncho@ferraplus.com.





## LA MITAD DE LAS MICROEMPRESAS ESPAÑOLAS APUESTAN POR EL CRECIMIENTO A PESAR DE LA CRISIS

Bajo el encargo de EPSON, Coleman Parkes ha efectuado una encuesta en el colectivo de empresas de 1 a 10 empleados en cinco países europeos: Francia, España, Reino Unido, Alemania e Italia, tomando una muestra de 250 empresas por país, para conocer cómo se enfrentan en estos momentos a la crisis.

### Objetivos principales

Las microempresas españolas están apostando por el crecimiento a pesar de la crisis, la incertidumbre eco-

nómica y las dificultades de acceso a la financiación; y son, junto con las alemanas, las que más se están centrando en impulsar el crecimiento y la expansión.

El 28 % de las microempresas españolas afirma estar explorando un crecimiento cauto, prácticamente el doble del valor registrado en Italia y muy cercano al de Alemania. Otro 18 % persigue un crecimiento agresivo, seis puntos más que el resto de países analizados. En cambio, y a pesar de las dificultades económicas que atraviesa el país, solo el 16 % afirma que su prioridad es luchar por la supervivencia.

### Obstáculos

A pesar de la apuesta por el crecimiento, los obstáculos que se encuentran las microempresas en este camino no son pocos. La

Objetivo principal de las microempresas	España (%)	Total muestra (%)
Explorar un crecimiento cauto	28	24
Mantener resultados empresariales firmes	22	24
Perseguir un crecimiento agresivo	18	12
Trabajar para estabilizar el negocio	17	22
Luchar por la supervivencia	16	18

Principales obstáculos	España (%)	Total muestra (%)
La incertidumbre del entorno económico actual	97	93
Verse obligados a reducir costes operativos	84	87
La falta de financiación disponible para invertir en el negocio	82	83
Retener clientes en un entorno competitivo de grandes costes	80	78

Estrategias de crecimiento	España (%)	Total (%)
Aceptación de menores márgenes comerciales	93	82
Reducción de los gastos generales	70	73
Aceptación de formas de pago menos favorables	78	70
Reducción de precios	66	62
Aumento de la presión sobre suministradores	78	57
Concentración de esfuerzos por mantener clientes actuales	75	61
No se está contratando personal	68	60
No se está buscando nuevos clientes	85	55
No se están desarrollando nuevos productos o servicios	76	52

Opiniones sobre las ayudas públicas	España (%)	Total (%)
Hay tantas que es muy difícil encontrar la información o la ayuda necesarias	94	74
Sin una mejor y más rápida financiación disponible para las pequeñas empresas la economía de mi región tendrá problemas para crecer	86	81
Nunca he encontrado útil los servicios de apoyo a las pequeñas empresas de mi región	84	58
Hay una escasa información sobre el mercado local disponible para las pequeñas empresas	77	66
Resulta muy difícil acceder a los servicios de apoyo a pequeñas empresas en mi región	72	71





## NOTICIAS

incertidumbre económica no es el único –aunque sí el más importante– y España es el país con mayor incidencia. El 97 % de los empresarios la considera un lastre, así como la falta de financiación que es otro de los grandes obstáculos con los que se encuentran el 82 % de las microempresas, una situación que no es exclusiva de España sino también del resto de países estudiados.

### Estrategia cortoplacista

Un dato preocupante que refleja el informe es la estrategia cortoplacista de las microempresas españolas por causa de la crisis, como indican algunos factores. Preguntados sobre las estrategias actuales de crecimiento, el 70 % de los gestores afirma estar centrados en reducir costes, dos tercios está bajando precios para mantener las ventas, el 85 % no busca nuevos clientes y el 76 % no está desarrollando nuevos productos y servicios.

Hay pues demasiadas microempresas que utilizan soluciones a corto plazo por los problemas relacionados con la coyuntura económica actual, lo que podría causar problemas a largo plazo. La reducción de márgenes y de precios puede servir a corto plazo pero será difícil de cambiar cuando mejore la situación económica. Sería preferible para las empresas mejorar los niveles de servicio, de calidad de los productos y de participación con los clientes, en lugar de bajar precios y márgenes.

### Demasiadas iniciativas de apoyo a las empresas

La mayoría de las microempresas españolas, un 94 %, cree que hay demasiadas y diversas iniciativas públicas de apoyo a las pequeñas empresas, tantas que es muy difícil encontrar la información y la ayuda necesarias. Además, el 84 % nunca ha considerado útiles los servicios de apoyo a las pymes y el 86 % cree que este déficit de ayudas efectivas y financiación repercutirá negativamente en el crecimiento de la región.

Esta situación preocupante ha existido durante muchos años, y los gobiernos deben ocuparse de este problema con más rapidez. Los gestores de pequeñas empresas no tienen tiempo para saber dónde se encuentran disponibles los fondos. Necesitan encontrar con facilidad mecanismos de financiación fáciles de entender. El tiempo es dinero para las pequeñas empresas y, aunque las compañías necesitan financiación para ayudarles a conseguir sus planes de crecimiento, estos fondos deben ser accesibles de forma fácil y rápida.

## PASTOR ANUNCIA UN NUEVO PLAN DE INFRAESTRUCTURAS 2012-2024



La ministra de Fomento ha anunciado que en el mes de julio llevará al Consejo de Ministros para su aprobación un nuevo Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) que tendrá como horizonte temporal el año 2014, y que se financiará mediante aportaciones presupuestarias, fondos europeos y participación del sector privado.

Durante su intervención en la Comisión de Fomento del Congreso, Pastor garantizó que todas las infraestructuras que promueva su ministerio tendrán la "finalidad de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y aumentar la productividad del país".

### CARRETERAS

Los principales objetivos del PITVI en carreteras serían los siguientes:

- Finalizar los itinerarios ya empezados con el objetivo de cerrar el mallado de la red.
- Realizar una nueva planificación más acorde con las necesidades actuales.
- Optimizar la gestión en mantenimiento y conservación.
- La mejora continua de la seguridad viaria.

Entre las actuaciones previstas en la Red de Gran Capacidad figuran como prioritarios los tramos incluidos en los corredores multimodales propuestos por la

Comisión Europea para la nueva Red Transeuropea de Transporte, entre otros los siguientes:

1. Los tramos Lugo-Santiago de Compostela (113 km y 442 M € de inversión).
2. Los tramos pendientes de la Autovía del Cantábrico en Galicia y Asturias (85,60 km y 484 M€).
3. El cierre de la Autovía A-66 Ruta de la Plata con la ejecución del tramo Benavente-Zamora (49 km; 210 M€).
4. La finalización de los tramos en ejecución de la Autovía A-7 en Granada y Almería, entre Nerja y Adra (50,2 km; 336 M€).
5. Finalización del itinerario Pamplona-Jaca-Huesca-Lleida (121 km; 882 M€).

Se completarán, asimismo, otro gran número de tramos que arrojan un total de 3.540 km de vías de alta capacidad, con una inversión superior a los 18.000 millones de euros, planificándose además la construcción de nuevos carriles de circulación en otras ya existentes (aproximadamente otros 600 km) por un importe de 1.265 millones de euros.

### Red convencional

En el entorno urbano se prevé la realización de diversas actuaciones de mejora en circunvalaciones, transporte público, accesos a puertos (Málaga, La Línea, Santa María, Huelva, Cádiz, Algeciras, Almería, Gijón, Avilés, Barcelona, A Coruña, Valencia, Gandía y Castellón) y accesos a aeropuertos (Málaga, Barcelona, A Coruña, Vigo, Alicante y Melilla).

Tabla 1.- Plan de carreteras 2012-2024 en cifras.

	Longitud (km)	Total Plan	Media anual
<b>RED DE GRAN CAPACIDAD</b>			
Autovías interurbanas	4.484	23.452	1.954
Mejora de capacidad (aumento carriles)	93	1.265	105
<b>TOTAL</b>		<b>24.717</b>	<b>2.060</b>
<b>RED CONVENCIONAL</b>			
Acondicionamientos	179	2.767	231
Variantes de población	105	1.523	127
Cesión de travesía	10.000	2.000	167
<b>TOTAL</b>		<b>6.291</b>	<b>524</b>
<b>ENTORNO URBANO</b>			
Circunvalaciones	296	2.965	247
Plataformas metropolitanas	201	2.204	184
Accesos a puertos	58	684	57
Accesos a aeropuertos	58	407	34
Otras actuaciones	143	1.247	104
<b>TOTAL</b>		<b>7.507</b>	<b>626</b>
<b>CONSERVACIÓN Y SEGURIDAD VIAL</b>			
Conservación integral	11.000	5.568	464
Autovías 1ª generación (Fase I)	1.000	3.360	280
Autovías 1ª generación (Fase II)	1.000	1.680	140
Rehabilitación de firmes	9.000	1.440	120
Barreras de seguridad	1.400	240	20
Adecuación de túneles		400	33
Mejora en la seguridad viaria		1.200	100
<b>TOTAL</b>		<b>13.888</b>	<b>1.157</b>
<b>INVERSIÓN TOTAL EN CARRETERAS</b>	<b>52.403</b>	<b>4.367</b>	<b>2.323</b>



## NOTICIAS

⇒ **Tabla 2.- Actuaciones previstas para la red de Alta Velocidad.**

LAV	Tramo	Inversión pendiente (M€)
Madrid-Galicia	Olmedo-Zamora-Ourense-Vigo (Variante de Cerdedo)	8.517
Acceso a Asturias	Venta de Baños-León-Variante de Pajares- Pola de Lena	1.719
Madrid-País Vasco	Valladolid-Venta de Baños-Burgos-Vitoria-"Y" Vasca	4.323
Corredor Navarro	Castejón - Pamplona	875
Corredor del Mediterráneo	Barcelona-Frontera Francesa, La Encina-Valencia, Albacete-Alicante, Alicante-Murcia, Murcia-Almería y Antequera-Granada Granada-Algeciras	6.543
Madrid-Levante	Albacete-Murcia-Cartagena	
	Conexión del Corredor Mediterráneo con la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona	380
Madrid-Extremadura	Navalmoral-Cáceres y Badajoz	2.651
Eje Atlántico	(incluyendo la nueva estación de Vigo)	898
	Ourense-Lugo y la variante de la Puebla de San Julián (Lugo)	45
Sevilla-Cádiz		195
Madrid-Jaén	Alcázar-Manzanares, Linares-Casas de Torrubia y Grañena	239
Estaciones de Atocha y Chamartin		630
Otras estaciones de la red		698
Palencia-Santander		3.400
Sevilla-Huelva		12.000
Valencia Castellón		800
	<b>TOTAL</b>	<b>43.913</b>

### Seguridad vial

Ana Pastor destacó que "la seguridad viaria constituye una prioridad en la actuación del Ministerio de Fomento", razón por la que el PITVI prestará especial atención al mantenimiento y conservación de las redes de infraestructuras existentes, revisándose la estrategia de seguridad vial 2011-2020.

### FERROCARRILES

En política ferroviaria el objetivo es completar la red de Alta Velocidad, mejorar la red convencional, incrementar la calidad del servicio en cercanías y homogeneizar el tejido ferroviario.

### Alta Velocidad

En el caso de la Alta Velocidad las actuaciones previstas supondrán una inversión cercana a los 44.000 millones de euros.

### Red convencional

La modernización de la infraestructura y del material móvil, contará con un presupuesto anual de 450 millones de euros, a los que

habrá que sumar otros 860 millones anuales para el mantenimiento de la red administrada por ADIF y FEVE.

### Mercancías

En las grandes ciudades el tráfico de mercancías se va a segregar del de viajeros, construyendo para ello las vías de circunvalación necesarias.

Además, desde el Ministerio de Fomento se pretende potenciar las alianzas con operadores internacionales para estimular la competencia, promover itinerarios preferentes para mercancías donde existan corredores paralelos de Alta Velocidad, así como realizar la conexión de los puertos de interés general a la red ferroviaria.

En aquellas zonas donde exista viabilidad se desarrollarán servicios de "autopistas ferroviarias" mediante sistemas de concesión. ■

# AENOR

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

Nuevo manual de Normas UNE

## El único manual que contiene:

- El texto completo de la nueva Instrucción de Acero Estructural (EAE).
- 250 normas UNE citadas en la EAE y otras complementarias.

## No pierda la oportunidad de conocer:

- Cómo aplicar con éxito los requisitos y procedimientos técnicos que deben cumplir las estructuras de acero.
- Las novedades técnicas y reglamentarias que las afectan tanto a nivel europeo como nacional en los sectores de la construcción y del acero en particular.

## En un solo clic localice rápidamente:

- Las 230 normas UNE de obligado cumplimiento a las que hace referencia la EAE y las complementarias, clasificadas siguiendo los títulos de la EAE.

2012 – 230 normas UNE

80 € – ISBN: 978-84-8143-744-7



5% de descuento  
[www.aenor.es](http://www.aenor.es)



## EAE + Normas UNE **Acero estructural**

Requisitos, procedimientos,  
avances y novedades reglamentarias  
para la construcción en acero

AENOR ediciones



# FERRA PLUS

Calidad



Fiabilidad

Distintivo  
oficialmente  
reconocido



Garantía



AENOR



Producto  
Certificado

**FerraPlus,  
más que ferralla certificada**

**Empresas en posesión de la marca**

ARMACENTRO, S.L. • ARMALLA, S.L. • ARTEPREF, S.A.U. • CESÁREO MUNERA, S.L. • COFEMA, S.A. • COFEMA ZARAGOZA, S.L.  
ELABORACIÓN Y MONTAJES DE ARMADURAS, S.A. • EURDARMADURAS, S.L. • FERRALLADOS CORE, S.A. • FERRALLAS ALBACETE, S.A.  
FERRALLAS JJP MAESTRAT, S.L. • FERRALLATS ARMANGUÉ, S.A. • FERROFET CATALANA, S.L. • FERROINSA, S.A. • FERROS ILURO, S.L.  
FORJADOS DEL EBRO, S.L. • IBERACEROS FORJADOS RIOJANOS, S.L. • FORMAC, S.A. • GESTIÓN DE FERRALLAS, S.L.  
HIERROS AYORA, S.L. • HIERROS DEL NORDESTE, S.L. • HIERROS DEL PIRINEO, S.L. • HIERROS GODDY, S.A. • HIERROS HUESCA, S.A.  
HIERROS SÁNCHEZ, S.L. • HIERROS SANTA CRUZ, S.L. • HIERROS URIARTE, S.L. • HIERROS Y MONTAJES, S.A.  
HIJOS DE LORENZO SANCHO, S.A. • LENUR FERRALLATS, S.L. • MANUFACTURADOS FÉRRICOS, S.A. • PREFORMADOS FERROGRUP, S.A.  
S. ZALDÚA Y CÍA, S.L. • SINASE FERRALLA Y TRANSFORMADOS, S.L. • TÉCNICAS DEL HIERRO, S.A. • TEINCO, S.L.  
TRANSFORMACIONES FÉRRICAS VILLARCAYO, S.L.