

zunchito

Nº 12 • JUNIO 2007

EN PORTADA

*La Certificación Energética
La Instrucción de Hormigón Estructural*

ESPECIAL

**SISTEMAS DE PROTECCIÓN
CONTRA LA CORROSIÓN (Parte II)**

“La ductilidad es un puente sobre nuestra ignorancia”

J. RUI-WAMBA

“La ductilidad es como la salud: se ignora su existencia... ¡hasta que se pierde!”

T. P. TASSIOS

ARCER

Armaduras para Hormigón

INSTITUTO PARA LA PROMOCIÓN DE LAS
ARMADURAS CERTIFICADAS (IPAC)

www.ipac.es

PRESTACIÓN
COMPROMISO
INNOVACIÓN

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

Orense, 58 – 10º D; 28020 MADRID
Tel.: 91 556 76 98 ; Fax: 91 556 75 89

www.arcer.es

E-mail: buzon@arcer.es



Sumario

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

DIRECTOR DE LA PUBLICACIÓN:

Julio José Vaquero García

ASESORES:

Ignacio Cortés Moreira
Antonio Garrido Hernández
Enric Pérez Plá
Valentín Trijueque y Gutiérrez de los Santos
Luis Vega Catalán
Juan Jesús Álvarez Andrés

EDICIÓN:

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

DISEÑO, PRODUCCIÓN Y PUBLICIDAD:

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

IMPRESIÓN:

MEDINACELI PRINTER, S.L.

Depósito legal: M-43355-2004

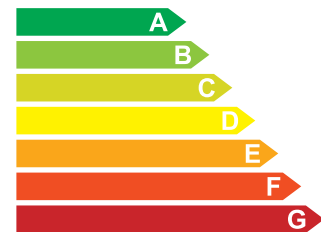
ISSN: 1885-6241

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

2 EDITORIAL

4 EN PORTADA

- La certificación energética.
- La Instrucción de Hormigón Estructural. Una revisión cargada de novedades.



8 REPORTAJES

- Armaduras galvanizadas para el hormigón armado.
- La protección catódica del hormigón armado.
- Los aceros inoxidables, excelente resistencia a la corrosión.



29 NOTICIAS

- Hierros del Noroeste se incorpora a FerraPlus.
- FerraPlus y ARCER presentes en FICÓN 2007.
- Construmat sigue creciendo.
- La flor de Norman Foster.





HIERROS DEL NOROESTE, S.L.
TALLER DE FERRALLA con PRODUCTO CERTIFICADO

FERRA PLUS

AENOR



Producto
Certificado

017/000212

Ferralla Certificada



AUTOVÍA SAN CASTELA — OBRA REALIZADA POR HIERROS DEL NOROESTE



**ALMACÉN DE HIERROS Y DERIVADOS
FORJA DECORATIVA**

www.hierrosdelnoroeste.com

30400 Caravaca de la Cruz (Murcia) Tlf. 968 70 74 38 - 968 70 08 45 - Fax 968 70 55 07

Editorial

Con este número finaliza la exposición de las medidas más habitualmente utilizadas en la protección de las armaduras contra el efecto de la corrosión. En la primera parte se expusieron los recubrimientos con epoxi y la utilización de inhibidores de la corrosión migratorios. En esta segunda se completan con la galvanización, la protección catódica y el empleo de aceros inoxidable.

Como ya se anunció en el número anterior de la revista, se ha realizado un análisis más detallado del contenido y alcance del novedoso Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de Edificios de Nueva Construcción, aprobado el pasado mes de enero por el Consejo de Ministros, y que va a tener una extraordinaria relevancia al establecer, por primera vez en el mercado inmobiliario español, un factor diferenciador relevante sobre las características de funcionamiento del edificio, lo que sin duda comenzará a ser tenido en cuenta a la hora de adoptar decisiones sobre la adquisición de un inmueble.

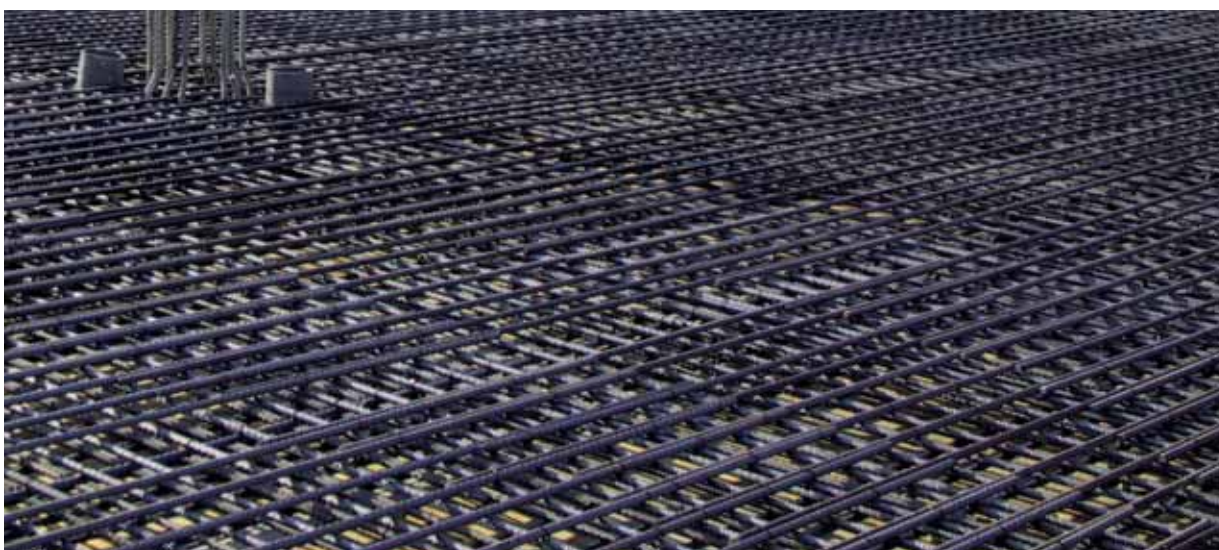
Por otro lado, el pasado mes de marzo fue aprobado el primer borrador de la revisión de la Instrucción de Hormi-

gón Estructural EHE, reglamentación aplicable a todas las estructuras y elementos de hormigón estructural, de edificación y obra pública, y por lo tanto con una relevancia y unas repercusiones de gran importancia para el sector de la construcción en general, y del acero para hormigón en particular.

Culminan así los trabajos de la Comisión Permanente del Hormigón, que ha querido difundir el contenido de los mismos al mayor número posible de técnicos, sectores y actividades para pulsar y recabar sus opiniones y comentarios, con la intención de llegar a un texto más completo, si cabe, e iniciar su tramitación a nivel comunitario.

El texto presentado contiene numerosas novedades con relación a la reglamentación actualmente vigente, que sin duda conducirán a importantes transformaciones en el panorama actual de las estructuras de hormigón.

En los próximos meses se irán conociendo las propuestas recibidas y las posibles modificaciones introducidas en este primer borrador, de lo que la revista Zuncho mantendrá puntualmente informados a sus lectores. ■





LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

Patricio Alañón Olmedo – Ingeniero Industrial. Subdirector General de Inteinco.

El pasado día 19 de enero se publicó en el BOE el texto correspondiente al Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Nueva Construcción (Real Decreto 47/2007), que supone uno de los aspectos legislativos de mayor calado dentro de los esfuerzos realizados por el Gobierno Español para la adaptación a la Directiva Comunitaria 2002/91/CE del Parlamento Europeo.

En esta Directiva se establecía el correspondiente mandato a los gobiernos de la Comunidad para que articularan dentro de sus legislaciones la obligatoriedad de poner a disposición de los usuarios un sistema que permitiese valorar la eficiencia energética de los edificios.

Esta estrategia se asienta, al igual que otras iniciativas comunitarias, en dotar al usuario de los mecanismos informativos adecuados para garantizar un consumo de carácter responsable.

Este caso, además, enlaza directamente con un aspecto claramente actual como es el debate establecido alrededor del cambio climático y su relación directa con los hábitos de producción y consumo de energía en las sociedades europeas.

Tal y como se recoge en la justificación del Real Decreto (RD) citado, el objetivo es que el usuario disponga de la información objetiva suficiente sobre la eficiencia energética del edificio de nueva construcción, para poder discriminar posibles estrategias de compra según su adecuación a sus necesidades.

Hay que señalar que en España este criterio supone una importante novedad, ya que la imagen de marca o las características de funcionamiento del edificio no suele suponer un factor diferenciador relevante a la



hora de tomar una decisión sobre la adquisición de un inmueble.

Es importante recordar que hasta la aprobación de la LOE el comprador ha dispuesto de muy poca información clara y objetiva sobre el funcionamiento del inmueble adquirido, aspecto que resulta sonrojante cuando se compara con la información aportada en la adquisición de otros artículos de mucha menor relevancia tanto en coste como en repercusión sobre el medio ambiente.

Además, dentro de la filosofía establecida en el documento "Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012" ya se indicaba la necesidad de definir una serie de actuaciones sobre la nueva edificación al amparo de la Directiva Comunitaria indicada.

En este mismo documento se señalaban las pautas destinadas al parque de viviendas existentes de forma independiente a las de nueva edificación, tal y como se ha plasmado en el documento aprobado.

El concepto de "eficiencia energética" necesita cierta definición para acotarlo realmente al objeto legislativo, ya que se trata de una expresión que permite muchos matices en diferentes contextos.

Así por ejemplo, una mejora en el aislamiento de las viviendas puede suponer una mejora de la eficiencia energética a nivel individual, pero a un mayor nivel de agregación, un incremento del parque de las viviendas o un aumento de la demanda de confort por parte del usuario hace que esta eficiencia disminuya paradójicamente.

Centrándonos en este concepto, es cierto que actualmente las viviendas están mucho mejor aisladas que las construidas en la década de los cincuenta, es decir, son más eficientes; sin embargo, debido al incremento del parque de viviendas y de la demanda actual de confort el consumo de energía destinado al mismo fin se ha

incrementado sensiblemente, es decir, como comunidad hemos disminuido enormemente el ratio ideal de eficiencia.

Esta visión es la que se conoce como acepción de la componente tecnológica de la eficiencia y es común a muchos otros sectores productivos.

En la normativa europea se ha huido de esta visión exclusivamente tecnológica y se apuesta por una acepción que englobe tanto la componente exclusivamente tecnológica como la asociada a la mejora de las condiciones y hábitos de uso.

Así, se define la eficiencia energética como "el consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación".

Actualmente el análisis del consumo de energía primaria por sectores otorga al asociado al uso residencial un 17 % con una clara tendencia al alza, según datos del IDAE del año 2004, tendencia que se espera variar de cara al cumplimiento de la estrategia indicada.

El RD aprobado sobre la eficiencia energética se estructura en un artículo único y las correspondientes disposiciones transitorias. Su ámbito de aplicación temporal queda recogido en la disposición transitoria primera, donde se establece que se aplicará a todos los proyectos de edificación a excepción de:

- a) los edificios que a la entrada en vigor de este RD estén en construcción, o a los proyectos que tengan solicitada licencia de obras;
- b) los proyectos supervisados y aprobados por las Administraciones Públicas competentes o visados por colegios profesionales antes de la fecha de entrada en vigor de este RD, siempre que la licencia legalmente exigible se solicite en el plazo de un año a partir de la referida fecha de entrada en vigor.

En relación con el alcance de aplicación hay que resaltar que se incluyen dentro del procedimiento tanto la obra nueva como las modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes, con una superficie útil superior a 1.000 m² donde se renueve más del 25 % del total de sus cerramientos.



EN PORTADA

Las exclusiones establecidas son las siguientes:

- Aquellas edificaciones que por sus características de utilización deban permanecer abiertas.
- Edificios y monumentos protegidos oficialmente, cuando el cumplimiento de tales exigencias pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto.
- Edificios utilizados como lugares de culto y para actividades religiosas.
- Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- Edificios industriales y agrícolas, en la parte destinada a talleres, procesos industriales y agrícolas no residenciales.
- Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m².
- Edificios de sencillez técnica y de escasa entidad constructiva que no tengan carácter residencial o público.

La entrada en vigor de este RD es el 19 de mayo de 2007, conforme a lo establecido en la disposición adicional tercera, si bien el procedimiento básico tendrá carácter voluntario hasta el 19 de noviembre del mismo año, siendo obligatorio a partir de esta fecha.

El procedimiento recogido en el RD establece la metodología para el cálculo de la eficiencia energética así como la metodología técnica y administrativa para la obtención de la certificación energética.

El objetivo final es la determinación de la eficiencia energética del edificio, que queda reflejada de una manera clara y comprensible para el usuario mediante unos indicadores recogidos en la etiqueta del edificio en cuestión.

Esta sistemática permite la comparación directa entre los valores determinados de dos edificios distintos permitiendo la discriminación por parte del usuario.

Para llegar a este valor se establecen una serie de etapas, que son:

1. Calificación de la eficiencia energética del proyecto / edificio según sea la fase, mediante uno de los dos métodos establecidos en el RD y que son:

a. La primera opción, de carácter prestacional, se basa en el análisis comparativo del edificio en cuestión frente a otras situaciones tipo utilizando para ello una aplicación informática, que puede ser:

i. El programa CALENER.

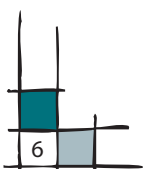
ii. Un programa alternativo validado siguiendo las especificaciones del anexo I del RD y reconocido previamente por el Ministerio de Industria y el Ministerio de la Vivienda.

b. La segunda opción es de carácter prescriptivo y se podrá realizar una vez se establezca un documento reconocido conforme al contenido del Anexo I del RD.

2. Tras la calificación energética del proyecto/ edificio se desarrolla la certificación energética del proyecto/ edificio que es el proceso por el cual se verifica el resultado obtenido en la etapa anterior. En la fase de proyecto se establecerá la etiqueta de certificación del proyecto.

3. Como paso final de la ejecución de las obras del proyecto se realiza el proceso de certificación de eficiencia energética de edificio terminado por el que se verifica la conformidad de la calificación de la eficiencia energética obtenida por el proyecto con la del edificio terminado.

4. Por último, se expide el certificado de eficiencia energética del edificio por parte de la Dirección



Facultativa que incluye la calificación energética del edificio. Ésta se ilustra en la etiqueta de eficiencia energética del edificio que representa, en consecuencia, el nivel de calificación del mismo.

Esta etiqueta tendrá una validez de diez años, debiendo ser incluida en toda oferta, promoción y publicidad dirigida a la venta o arrendamiento del inmueble. Además, en los edificios públicos debe exhibirse obligatoriamente cuando la superficie sea superior a 1000 m².

Como se puede apreciar, en la etiqueta se establecen una serie de escalas comparativas de la A a la G de carácter ascendente en función de cómo disminuya el indicador de eficiencia, es decir una calificación A supone mayor eficiencia que una B.

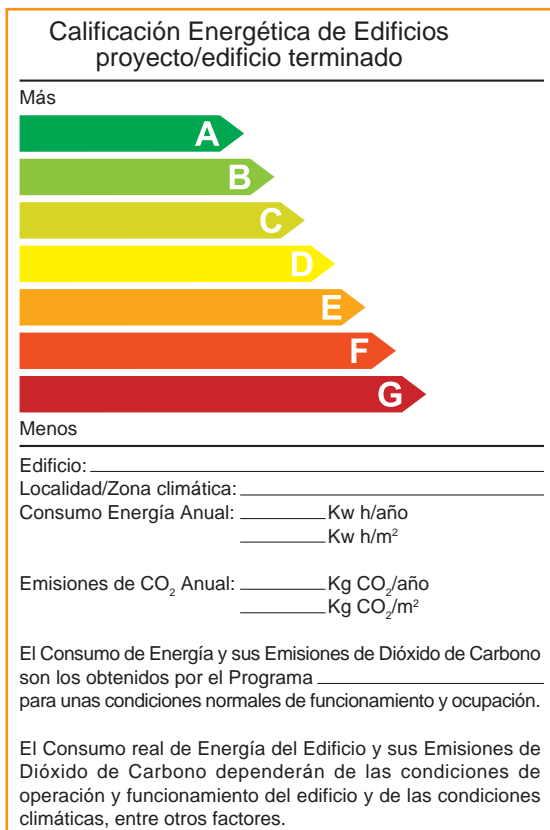
El control externo del procedimiento indicado no queda recogido en el RD, donde se fía a su desarrollo voluntario por parte de las Comunidades Autónomas.

Es precisamente este aspecto el más criticable en la filosofía del procedimiento establecido, y lo es por los siguientes aspectos:

- El fracaso en la autocertificación en el sector de la edificación en España es evidente y contrastable; sirvan como referencias lo ocurrido con el cumplimiento de las fichas de la NBE-CT (ficha del K_y) o con la NBE-CA.
- ¿Por qué no se extrapola esta autocertificación a otros ámbitos? ¿Admitiría la Administración que

todos los conductores certificaran al final de cualquier trayecto que no han infringido ninguna norma?

- Al regularse por parte de las Administraciones Autonómicas se corre el peligro que en función del control externo no sean comparables las certificaciones obtenidas en dos Autonomías diferentes, con la consiguiente discriminación entre ciudadanos españoles en función de su residencia.



Como se ha comprobado en la exposición realizada, el procedimiento de certificación energética supone la adaptación normativa a la Directiva Comunitaria establecida al respecto, justificándose además dentro de las medidas establecidas en la estrategia española para la mejora de la eficiencia energética en el periodo 2004-2012.

El procedimiento es claro si bien adolece en este momento del desarrollo correspondiente a través de los documentos reconocidos aprobados.

La ausencia de una obligatoriedad en el control por tercera parte del proceso supone una

limitación en la eficacia del mismo y una diferencia clara con la Directiva Europea, por lo que las Entidades de Control de Calidad consideramos que se ha perdido una oportunidad excelente de legislar la verificación del cumplimiento del proyecto y de la obra terminada por organizaciones independientes que únicamente tengan como objetivo la defensa del usuario o consumidor final, que es el objeto por el cual se redactan la LOE y el Real Decreto que nos ocupa tal como se dice en sus preámbulos.

Es de esperar que en el Consejo de Sostenibilidad se puedan corregir estos errores. ■



EN PORTADA

LA INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL UNA REVISIÓN CARGADA DE NOVEDADES

El pasado 9 de marzo fue aprobado el primer borrador oficial de la que será la nueva Instrucción de Hormigón Estructural (en lo sucesivo EHE-0) cuya versión definitiva no estará disponible hasta dentro de un año, aproximadamente. Culminarán así más de cuatro años de trabajo por parte de un grupo de expertos —aproximadamente unas 70 personas— la mayoría de los cuales han participado a título personal, a pesar de pertenecer a destacados subsectores del sector de la construcción.

A través de una serie de Jornadas organizadas por la Comisión Permanente del Hormigón en cuatro importantes ciudades españolas (Madrid, Valencia, La Coruña y Barcelona) se ha tratado de transmitir a los diferentes colectivos relacionados con esta Instrucción el espíritu y el contenido del nuevo texto reglamentario, animando a todas las instituciones, sectores y técnicos a remitir sus comentarios y opiniones al mismo.

ANTECEDENTES

La reglamentación en materia de estructuras de hormigón tiene una larga tradición en nuestro país —la primera de ellas se remonta al año 1.939—, y desde el año 1968 se realiza su revisión periódica a través de una Comisión Interministerial creada al efecto, entre cuyos objetivos principales se encuentra el de estudiar y recoger, si procede, los nuevos avances de la técnica del hormigón estructural.

La vigente Instrucción EHE es producto de los trabajos de revisión iniciados en el año 1993 de los textos reglamentarios existentes en aquellos momentos, y que trataban de forma diferenciada las estructuras de hormigón armado (Instrucción EH-91) de las estructuras de hormigón pretensado (Instrucción EP-93). La metodología empleada fue realmente efectiva, y consistió en contar con la participación de expertos en la materia y de los sectores industriales inmersos en el proceso, que ofrecían un

punto de vista y una experiencia adicional a la de los miembros de la CPH.

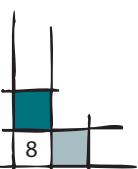
LA DURABILIDAD

La EHE-0 sigue apostando de forma decidida por la durabilidad de las estructuras de hormigón, introduciendo nuevos conceptos relacionados con la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente.

Se define el concepto de vida útil como *“el período de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que deben mantenerse las exigencias básicas en unos límites aceptables. Durante ese período requerirá una conservación normal, que no implique operaciones de rehabilitación”*. La duración de esta vida útil debe ser definida por la propiedad, pero se dan ejemplos concretos de tipos de estructuras y situaciones para las que este período de tiempo puede estar comprendido entre 3 años, para las estructuras de carácter temporal, hasta 100 años para puentes de más de 10 metros de longitud —en la práctica, todos— u otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta. En el caso de edificios residenciales y oficinas el período de vida útil establecido es de 50 años, que se eleva hasta 75 años si se trata de edificios públicos.

EL CONTROL

En materia de control se produce un cambio de filosofía en relación a los criterios que venían aplicándose hasta la fecha, dándose un peso muy importante al control documental frente al control experimental, que queda reducido al realizado por los fabricantes de productos durante su proceso productivo y al que se pudiera llevar a cabo por distintivos de calidad oficialmente reconocidos.



El sistema presenta el problema derivado del control cero sobre productos certificados —por la imposibilidad real de comprobar en el mercado la efectividad de los sistemas de calidad implantados por los distintivos, y llevar a cabo las acciones correctivas que fuesen precisas— al que hay que añadir la ausencia de mecanismos de inspección y vigilancia que garanticen el funcionamiento del sistema.

Esta garantía quedan finalmente asignada a dos aspectos: mantener la trazabilidad de los productos y recopilar garantías documentales firmadas por persona física, lo que puede no ser suficiente para alcanzar la calidad final deseada.

EL ACERO

El acero ha sido objeto de una atención especial por parte de la EHE-0, razón por la que merece la pena proceder a un análisis más detallado en sucesivos artículos. Como aspectos más novedosos cabe destacar los siguientes:

1. Se incorporan los aceros B 500 SD con características especiales de ductilidad, uno de los productos más comúnmente empleados en estos momentos. Además, la utilización de aceros tipo SD pasa a ser obligatoria en zonas con riesgo sísmico.
2. Se da una gran importancia a la ductilidad estructural, mejorándose el tratamiento dado a los aspectos de redistribución de esfuerzos y confinamiento del hormigón.



3. Se mantiene la consideración especial, a efectos del cálculo, de los diagramas característicos tensión-deformación de los aceros siempre que se basen en una amplia experimentación.
4. Se contempla la posibilidad de utilizar un valor reducido del coeficiente de minoración de la resistencia del acero, γ_s , si éste se encuentra en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (en estos momentos, la marca AENOR).

OTRAS NOVEDADES

La EHE-0 incorpora en su redacción las disposiciones relativas al proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales (EFHE), así como los correspondientes a puentes de hormigón, dando así un tratamiento más uniforme al conjunto de las estructuras de hormigón.

Los hormigones de alta resistencia pasan a ser uno más de los hormigones tipificados, con lo cual la serie de resistencias características va desde el H-20 hasta el H-100, lo que representa un gran avance para este tipo de estructuras.

La utilización de áridos reciclados procedentes de la demolición de hormigón, de hormigones autocompactantes, de hormigones ligeros o de hormigones con fibras, se regula adecuadamente a través de sus correspondientes anejos.

Por último, la EHE-0 avanza en un nuevo campo: el de la sostenibilidad, desarrollando un procedimiento de evaluación a través de un “índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad” (ICES). De esta manera, comienzan a compatibilizarse las exigencias de resistencia y durabilidad de una estructura con el consumo de materiales, la extensión de la vida útil, el empleo de productos reciclados, la implantación de sistemas voluntarios de certificación medioambiental de los procesos de fabricación de todos los productos empleados en la estructura, etc.

Este numeroso conjunto de novedades requerirá a los técnicos y proyectistas relacionados con las estructuras de hormigón un pequeño esfuerzo de adaptación y comprensión, para lo cual contarán con el apoyo de nuestra revista en los temas relacionados con los aceros para hormigón. ■

ARMADURAS GALVANIZADAS PARA EL HORMIGÓN ARMADO

José Luis Ruiz – Dr. en Química Industrial. Asociación Técnica Española de Galvanización (ATEG).

El hormigón es uno de los materiales de construcción modernos más utilizados. Es un material compuesto de gran dureza, que adecuadamente elaborado, curado y conservado tiene una duración prácticamente ilimitada.

Desde el punto de vista mecánico posee una elevada resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción. Para mejorar esta última característica es por lo que normalmente es necesario reforzar el hormigón, siendo imperativo este refuerzo en el caso del hormigón estructural. El acero es el material utilizado universalmente para las armaduras del hormigón, porque es resistente y dúctil a la tracción, posee un coeficiente de dilatación térmica similar al del hormigón y se adhiere fuertemente al mortero de cemento posibilitando así que los esfuerzos de tracción se transmitan inmediatamente a las armaduras de acero. Además, es un material relativamente económico y que puede conformarse fácilmente.

El acero embebido en el hormigón queda protegido de la corrosión por la formación de una película protectora de óxidos, llamada capa pasiva, que se genera sobre la superficie del acero en el medio altamente alcalino del hormigón hidratado. Esta capa pasiva evita la disolución del hierro, por lo que la corrosión quedará muy limitada, incluso en presencia de oxígeno y elevada humedad. Para asegurar una protección a largo plazo de las armaduras el hormigón debe ser suficientemente impermeable, para limitar el transporte de los agentes agresivos (oxígeno, iones cloruro, dióxido de carbono, etc.) hasta la superficie de las mismas. La presencia de niveles críticos de estas sustancias, que se transportan a través del hormigón disueltas en agua, o bien altera las características del hormigón o el estado superficial del acero embebido en él. En ambos casos estas alteraciones pueden provocar la iniciación de la corrosión de las armaduras.

Así, la presencia de iones cloruro por encima de una concentración umbral o nivel crítico tiene el efecto de despasivar el acero, incluso si el pH del hormigón adyacente se mantiene elevado. Por otra parte, el dióxido de carbono y otros gases que penetran en la masa de hormigón reaccionan con la solución alcalina de sus poros y pueden rebajar el pH del hormigón que recubre la armadura por debajo del nivel necesario para que el acero se mantenga pasivo. Este proceso se conoce como carbonatación del hormigón. Una vez que el acero queda despasivado puede iniciarse y progresar la corrosión de las armaduras, si el oxígeno puede acceder hasta la superficie de las mismas.

La corrosión de las armaduras tiene igualmente efectos sobre la masa del hormigón que las rodea. Los productos de corrosión que se forman sobre la superficie del acero son muy voluminosos (con un factor de expansión de 2 a 10 veces), por lo que generan tensiones expansivas de suficiente magnitud (3 – 4 MPa) como para superar la resistencia a la tracción del hormigón y provocar el agrietamiento del mismo. Una vez que se ha iniciado el agrietamiento el proceso de corrosión de las armaduras se acelera, al ser más fácil la llegada de los agentes agresivos hasta la misma. La consecuencia es un mayor agrietamiento, la aparición de manchas de óxido de hierro y el desprendimiento de porciones de la capa de hormigón que recubre las armaduras, dejándolas al descubierto y expuestas a una corrosión más severa.

La corrosión de las armaduras de acero tiene efectos sobre la propia armadura, que disminuye de espesor

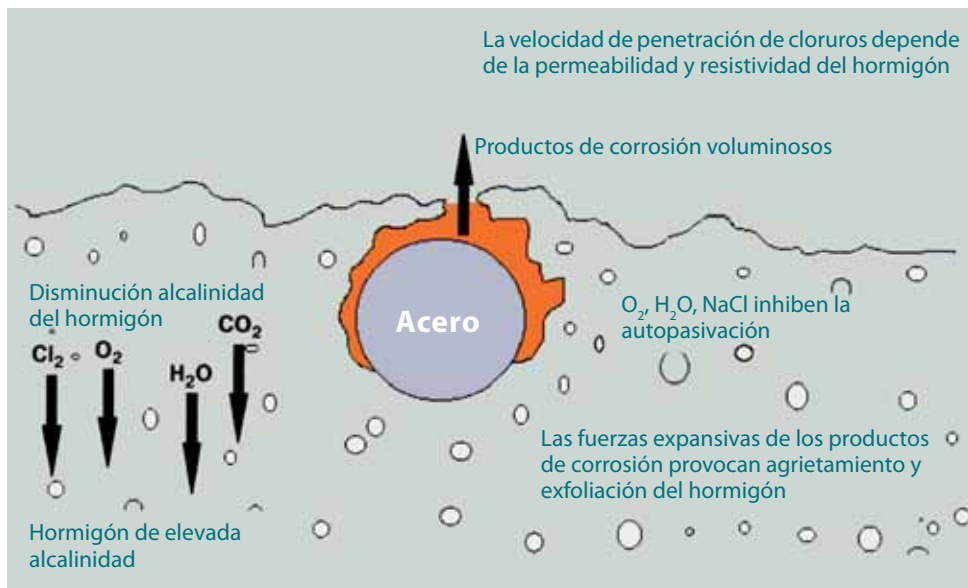


Figura 1.- Corrosión de las armaduras de acero por efecto de la carbonatación y la penetración de cloruros.

y resistencia mecánica; sobre la adherencia armadura-hormigón; y sobre el propio hormigón, que se debilita y fragmenta.

Los daños producidos por la corrosión de las armaduras son causa de elevados gastos de reparación de muchas estructuras de hormigón e, incluso, de la necesidad de reemplazamiento de algunas de estas estructuras antes de alcanzar su duración prevista en servicio.

PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

El método más económico y eficaz para minimizar el riesgo de corrosión de las armaduras de acero es garantizar que el recubrimiento de hormigón que las envuelva tenga el espesor adecuado y que éste sea denso e impermeable. Esto se conseguirá con un hormigón bien dosificado, con las armaduras correctamente colocadas dentro de los encofrados y una masa de hormigón adecuadamente colada, compactada y curada.

Aunque esto parece una solución sencilla, la incidencia de los problemas de deterioro de las construcciones de hormigón armado debidas a la corrosión de sus armaduras es desgraciadamente elevada. Esto se debe,

normalmente, a diseños inadecuados o a la utilización de hormigones de calidad insuficiente para las condiciones de agresividad ambiental imperantes. En otros casos, las causas son simples deficiencias en el propio hormigón, tales como recubrimiento insuficiente de las armaduras, porosidad y agrietamiento como consecuencia de prácticas de ejecución deficientes, etc.

Con objeto de mitigar estos efectos, sobre todo cuando las condiciones de exposición ambiental de las construcciones son severas —como es el caso de los ambientes industriales o marítimos así como el contacto directo con aguas o terrenos muy agresivos— pueden utilizarse medidas adicionales de prevención de la corrosión de las armaduras de acero, entre las que destaca la galvanización en caliente de dichas armaduras.

GALVANIZACIÓN EN CALIENTE DE LAS ARMADURAS

El zinc es un metal que tiene una serie de características que lo hacen muy adecuado como recubrimiento protector del hierro y el acero frente a la corrosión. La excelente resistencia de este metal a la corrosión atmosférica o frente a las aguas se debe a su capacidad de formar películas protectoras de productos de corrosión —constituidos fundamentalmente por carbonatos básicos de zinc— que son muy densas, adherentes e insolubles, y que hacen que la velocidad de corrosión del zinc sea de 10 a 100 veces inferior a la del acero, dependiendo de la agresividad ambiental.



REPORTAJES



Figura 2.- Esquema del proceso de galvanización en caliente.

Además de constituir una barrera aislante entre el acero y el medio ambiente, los recubrimientos de zinc tienen la capacidad de proporcionar protección galvánica al acero. Si el recubrimiento de zinc se dañara por cualquier motivo y quedara expuesta a la atmósfera alguna porción de la superficie del acero base, el zinc adyacente —al ser un metal anódico con respecto al acero— se corroerá con preferencia a éste y ejercerá una protección catódica o de sacrificio sobre la zona expuesta.

El procedimiento más ampliamente utilizado para la aplicación de recubrimientos de zinc es la galvanización en caliente, que se utiliza para la protección de toda clase de piezas, artículos y elementos de construcción de hierro y acero que vayan a prestar servicio en condiciones ambientales agresivas.

En esencia, la galvanización en caliente consiste en la inmersión de los objetos a proteger en un baño de zinc fundido a unos 450 °C, previa limpieza superficial exhaustiva de los mismos por vía química (desengrasado, decapado ácido y fluxado).

Durante la inmersión en el baño de zinc fundido tienen lugar reacciones físico-químicas de difusión del zinc en la superficie del ace-

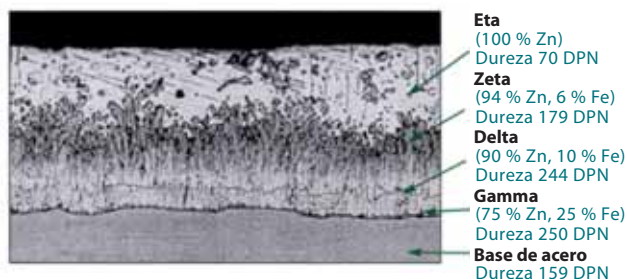


Figura 3.- Microestructura típica de un recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente.

ro, que dan lugar a la formación de una serie de capas intermedias de aleaciones zinc-hierro (capas Gamma, Delta, Zeta). Al extraer los objetos del baño de zinc estas capas de aleaciones quedan cubiertas por una capa externa de zinc puro (capa Eta). En la Figura 3 se muestra la microestructura de un recubrimiento galvanizado típico, en la que se aprecia el espesor relativo de las capas que componen el recubrimiento y se indica la composición de las mismas.

Los recubrimientos de galvanización en caliente están unidos metalúrgicamente al acero base, por lo que su adherencia es extremadamente alta, de un orden de magnitud superior a la de los recubrimientos epoxi que se aplican también sobre las armaduras. Además, las capas de aleaciones hierro-zinc son incluso más duras que el acero subyacente y, al estar recubiertas por una capa de zinc dúctil y blanda, dan lugar a recubrimientos de elevada resistencia a los impactos y a la abrasión.

Las características que deben cumplir los recubrimientos galvanizados que se obtienen en el proceso de galvanización en caliente anteriormente descrito, y que sirven de criterio para determinar la calidad de estos recubrimientos, se especifican en la norma UNE-EN ISO 1461:1999, "Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo", y son el aspecto superficial, el espesor y la adherencia.

El espesor es la característica más relevante, ya que la duración de la protección que proporcionan estos recubrimientos es directamente proporcional a su espesor. Por ello, la norma establece unos espesores mínimos para los recubrimientos en función del grosor del acero con el que estén fabricadas las piezas (ver Tabla 1). Por lo general, los espesores de recubrimiento que se obtienen en la galvanización en caliente son sensiblemente superiores a los que se exigen en esta norma. En realidad, el espesor de los recubrimientos galvanizados y la proporción relativa de sus diferentes capas

Tabla 1.- Espesores mínimos de recubrimiento galvanizado especificado por la norma UNE-EN ISO 1461.

Características de la pieza		Valor local (mínimo)		Valor medio (mínimo)	
Tipo	Espesor (mm)	g/m ²	µm	g/m ²	µm
Acero	≥ 6	505	70	610	85
	3 a 6	395	55	505	70
	1,5 a 3	325	45	395	55
	< 1,5	250	35	325	45
Piezas moldeadas	≥ 6	505	70	575	80
	< 6	430	60	505	70

de aleación depende de varios factores, tales como la composición química del acero, la rugosidad superficial del mismo, la temperatura de galvanización y el tiempo de inmersión en el baño de zinc.

En cuanto a la composición química del acero se refiere, su contenido de silicio es el factor más influyente, seguido por el contenido de fósforo. En la Figura 4 se muestra una curva tipo que relaciona el contenido de silicio del acero y el espesor que cabe esperar de los recubrimientos que se obtienen en la galvanización en caliente. En ella vemos que para contenidos de silicio comprendidos entre 0,03 y 0,13 % o superiores al 0,25 %, la reactividad entre el acero y el zinc es muy elevada, lo que significa que los recubrimientos que se obtengan tendrán unas capas de aleaciones zinc-hierro muy desarrolladas y muy poca o ninguna capa externa de zinc (capa Eta).

Estos recubrimientos galvanizados tan gruesos y con elevados espesores de compuestos intermetálicos zinc-hierro son normalmente frágiles y pueden agrietarse o escamarse durante el doblado de las barras. Como los redondos y barras corrugadas proceden normalmente de acero obtenido a partir de chatarras, es muy difícil encontrar en el mercado armaduras con un contenido de silicio inferior al 0,03 %. Por ello, la mejor selección en cuanto a la composición química de las armaduras que vayan a ser galvanizadas se refiere, es limitar su contenido de silicio al intervalo 0,15 – 0,20 % aproximadamente. En la práctica, los recubrimientos que se obtienen

sobre las armaduras corrugadas con los mencionados contenidos de silicio suelen estar comprendidos entre 120 y 200 µm, dependiendo de su diámetro.

La norma EN-ISO 1461 es aplicable también a la galvanización de las armaduras de acero. De hecho es la norma de referencia en la mayoría de los países, excepto en EEUU, Francia, Italia y la India que tienen normas específicas para la galvanización de estos productos. La norma más ampliamente utilizada en los países anglosajones es la ASTM A767, en la que se especifican dos clases de recubrimien-

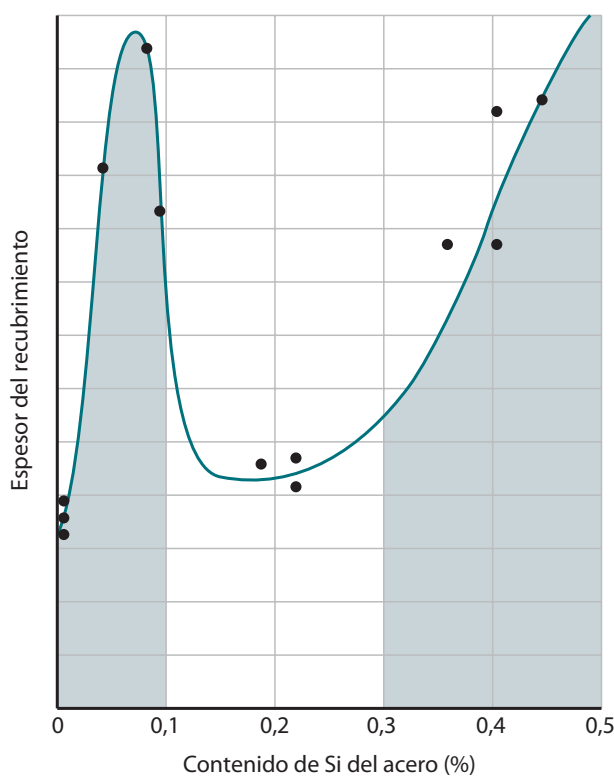


Figura 4.- Influencia del contenido de silicio del acero sobre el espesor de los recubrimientos galvanizados.



REPORTAJES

➤ **Tabla 2.- Normas nacionales e internacionales sobre galvanización de armaduras.**

EEUU	ASTM A 767	Zinc coated (galvanized) steel bars for concrete reinforcement
ISO	14657	Zinc-coated steel for the reinforcement of concrete
CEN	prEN10348	Steel for the reinforcement of concrete. Galvanized reinforcing steel
U.K.	BS ISO 14657	Zinc-coated steel for the reinforcement of concrete
Francia	NF A 35-025	Armatures pour le béton armé
Italia	UNI 10622	Barras y alambres de acero cincado (galvanizado) para armaduras del hormigón

to (Clase I y Clase II), con espesores mínimos de 150 μm y 85 μm , respectivamente. En el ámbito internacional ha aparecido recientemente la norma ISO 14657, que es aplicable a los recubrimientos galvanizados de barras corrugadas, alambres y mallas electrosoldadas que se utilizan para el refuerzo del hormigón. Esta nueva norma contempla tres clases de recubrimientos mínimos, a saber:

Clase A: • 600 g/m^2 (84 μm), para barras de diámetro superior a 6 mm.

• 500 g/m^2 (70 μm), para barras de diámetro inferior o igual a 6 mm.

Clase B: • 300 g/m^2 (42 μm), para todos los diámetros.

Clase C: • 140 g/m^2 (20 μm), para todos los diámetros.

En la Tabla 2 se referencian las principales normas nacionales e internacionales sobre galvanización de armaduras y refuerzos de acero para el hormigón.

INFLUENCIA DEL RECUBRIMIENTO GALVANIZADO EN EL PROCESO DE PASIVACIÓN

Influencia de la alcalinidad de los cementos

El zinc es un metal anfótero que reacciona tanto con los ácidos como con las bases fuertes y su ataque es severo por debajo de pH 6 y por encima de pH 12,5. En el intervalo comprendido entre estos dos valores la velocidad de ataque es muy lenta, debido a la formación sobre su superficie de capas protectoras constituidas

por sus productos de corrosión. En la exposición atmosférica o al agua, las capas protectoras que se forman están constituidas por carbonatos básicos de zinc.

En el caso particular de las armaduras galvanizadas para el hormigón, el zinc del recubrimiento reacciona inicialmente con la solución altamente alcalina del hormigón fresco, pero esta reacción cesa una vez que el hormigón ha endurecido. El resultado de esta reacción es la formación de una capa protectora de productos de corrosión del zinc, constituida principalmente por hidroxincinato cálcico (HZnCa), así como la formación de hidrógeno gaseoso, de conformidad con la reacción:



Esta capa de pasivación puede formarse en presencia de calcio siempre que la alcalinidad del hormigón no supere el pH 13,2. Afortunadamente, en los poros del hormigón no suelen alcanzarse valores de pH superiores durante las primeras etapas del amasado, y una vez formada esta capa protectora su estabilidad no se altera sensiblemente aunque la alcalinidad aumente hasta valores de pH 13,6. No obstante, para mayor garantía de obtención de una buena barrera de pasivación, cuando se especifiquen armaduras galvanizadas para el hormigón es aconsejable seleccionar cementos de bajo



➤ **Figura 5.- Armaduras para hormigón galvanizadas.**

contenido en álcalis (Na^+ y K^+), ya que estos iones son los responsables de la elevada alcalinidad que alcanzan algunos hormigones.

La reacción de corrosión/pasivación dura solamente algunas horas y lleva consigo la disolución de unas 8 a 10 μm de la capa externa de zinc del recubrimiento (capa Eta). Por ello, para favorecer la adecuada formación de esta capa de pasivación es conveniente que las armaduras galvanizadas tengan una capa Eta gruesa, lo que no ocurrirá si los aceros de las armaduras son muy reactivos, como ya se ha indicado anteriormente.

Generación de hidrógeno durante el fraguado

Como ya se ha indicado, la formación de la capa de pasivación viene acompañada por la evolución de hidrógeno (ver [1]). La principal consecuencia de esta evolución de hidrógeno es la formación de huecos en la interfase armaduras/hormigón, debido a las burbujas de hidrógeno que pueden quedar atrapadas durante el fraguado, lo que podría afectar a la adherencia.

Para evitar o disminuir esta evolución de hidrógeno se han venido utilizando agentes pasivantes del zinc, principalmente a base de cromo hexavalente (cromatos o trióxido de cromo) añadidos al agua de amasado del hormigón en proporción de hasta 100 ppm. Con cementos que contengan cromatos esta adición se ha considerado innecesaria, siempre que su contenido permita alcanzar una concentración de cromatos en la masa final de hormigón de, por lo menos, 20 ppm. Otra alternativa utilizada ha sido la pasivación de las armaduras después de su galvanización, enfríandolas en una disolución acuosa conteniendo 0,12 % de dicromato sódico o potásico.

Adherencia de las armaduras galvanizadas

Investigaciones recientes han puesto en duda tanto la amplitud de la formación de hidrógeno como su posible efecto sobre la adherencia. Se ha podido comprobar que los posibles huecos producidos por las burbujas de hidrógeno enseguida se rellenan de cristales de hidroxido

cincato cálcico. Por otra parte, los productos de corrosión del zinc de la interfase armadura/hormigón van migrando progresivamente dentro de la matriz de cemento y producen la densificación de la misma en dicha interfase. Estos fenómenos tienen como consecuencia que la adherencia final de las armaduras galvanizadas pueda ser incluso superior a la del acero al cabo de algún tiempo. En la Figura 6 se representan los resultados de tres estudios distintos de adherencia realizados con armaduras de acero en negro y armaduras galvanizadas, en donde se pone claramente de manifiesto la mejora de la adherencia que experimentan éstas últimas durante un periodo de hasta doce meses después del curado.

DURABILIDAD DEL HORMIGÓN CON ARMADURAS GALVANIZADAS

Resistencia a la carbonatación

Además de originar una contracción adicional, el principal efecto de la carbonatación del hormigón es la reducción del pH del agua de los poros de la matriz de cemento desde 12,6–13,5 hasta aproximadamente 9,0. La disminución de la alcalinidad producida por la carbonatación se debe no solamente a la penetración del dióxido de carbono de la atmósfera sino también al dióxido de azufre y otros gases ácidos. Cuando el frente de carbonatación alcanza la interfase armadura/hormigón, se produce la destrucción de la película de pasivación de óxido formada durante el proceso de hidratación, por lo que se inicia la corrosión uniforme de la armadura en presencia de agua y oxígeno. Esta corrosión tiene como consecuencia inme-

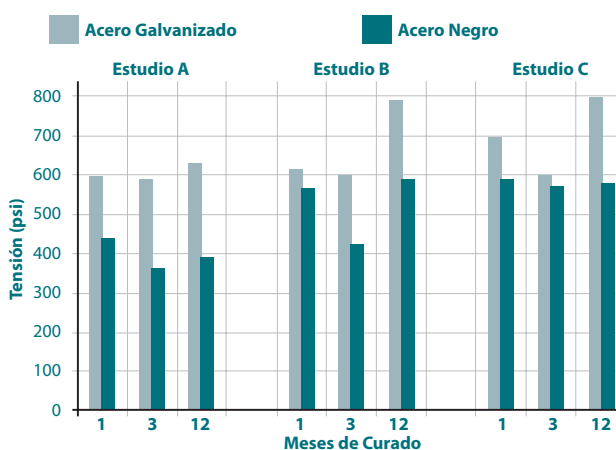


Figura 6.- Evolución con el tiempo de la adherencia al hormigón de las armaduras de acero y las armaduras galvanizadas.



REPORTAJES

diata el agrietamiento del hormigón, la aparición de manchas de óxido y el desprendimiento de porciones del hormigón que cubre las armaduras. La despasivación de las armaduras de acero negro puede iniciarse con valores del pH de 11,5 y, si hay presencia de cloruros, incluso con valores del pH más elevados.

Las armaduras galvanizadas mantienen su pasivación hasta valores de pH tan bajos como 9,5, por lo que proporcionan una protección frente a los efectos de la carbonatación significativamente más eficaz y durante un periodo de tiempo mucho más prolongado que las armaduras sin proteger. Además, los productos de corrosión del zinc en el hormigón ocupan mucho menos volumen que los que se producen con el acero, lo que se traduce en menores tensiones de expansión causantes del agrietamiento del hormigón, con la consecuente mejor estabilidad electroquímica y aumento de la durabilidad de la construcción.

Resistencia frente a los cloruros

Los cloruros son los iones más agresivos para las armaduras y la causa más frecuente de corrosión de las mismas. Pueden estar presentes en el hormigón por dos vías: bien porque se incorporan a la mezcla al formar parte de los materiales componentes (agua, áridos, aditivos, etc.) o porque penetran desde el exterior por el ambiente marino o por el empleo de sales de deshielo. En ambos casos dan lugar a ataques localizados de las armaduras que reducen localmente la sección y resistencia mecánica de las mismas.

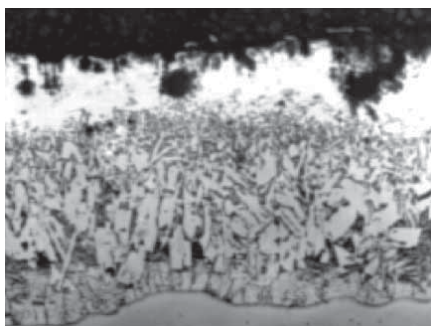
La corrosión del acero se inicia cuando se ha superado una concentración límite de cloruros en la fase acuosa. Esta concentra-

ción límite depende de muchos factores, entre otros del pH del medio.

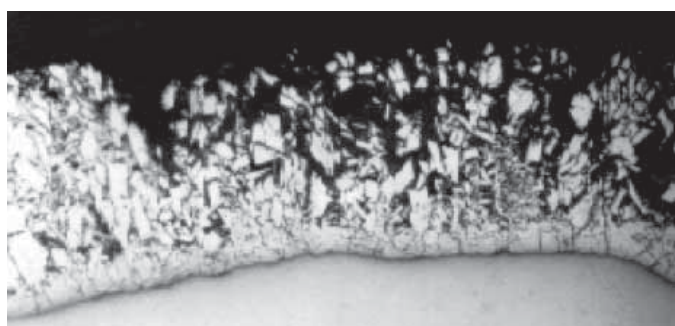
No existe completa unanimidad en cuanto a la cuantificación de la mayor resistencia del acero galvanizado al ataque provocado por los cloruros que provienen del exterior, porque esta resistencia dependerá, en primer lugar, de que el recubrimiento tenga una capa Eta bien desarrollada, para que pueda formarse una buena capa de pasivación y, en segundo lugar, de que cuando los cloruros alcancen la armadura esta capa tenga ya una compacidad adecuada.

El ataque de los cloruros, una vez superada la capa de pasivación, se producirá inicialmente de manera bastante uniforme sobre la capa Eta, y cuando ésta se agote, se localizará en las capas aleadas siguiendo un mecanismo de corrosión intergranular.

No obstante lo anterior, numerosos estudios de corrosión acelerada e inspecciones en campo de hormigones contaminados con cloruros han puesto claramente de manifiesto el superior comportamiento de las armaduras galvanizadas con relación a las no protegidas. En idénticas condiciones de exposición, las armaduras galvanizadas pueden resistir niveles de cloruros en el hormigón por lo menos 2,5 veces superiores a los de las armaduras en negro, y retrasar el tiempo hasta iniciación de la corrosión del acero unas



a) Ataque más uniforme a la capa de zinc Eta.



b) Ataque intergranular a las capas de aleación.

⇒ **Figura 7.** - Corrosión del recubrimiento galvanizado en presencia de cloruros.

4 - 5 veces, lo que supone un aumento muy sensible de su vida útil.

Además de este retardo en el inicio de la corrosión, los productos que se forman en la corrosión de las armaduras galvanizadas por efecto de los cloruros no tienen tampoco carácter expansivo, por lo que durante el tiempo que el galvanizado se va consumiendo la vida de la estructura se prolonga.

Modelo de corrosión de las armaduras galvanizadas

Para ayudar a comprender mejor el comportamiento de las armaduras galvanizadas en el hormigón, Yeoman, S.R. ha propuesto un modelo conceptual basado en el modelo tradicional de Tuutti, K, en el que se añade una etapa adicional de "protección" entre las fases de "iniciación" y "propagación".

La etapa de "protección" es el periodo durante el cual el recubrimiento galvanizado va siendo atacado lentamente, pero todavía proporciona protección al acero base (Figura 8). Las etapas de "iniciación" y "protección" de este modelo se refieren solamente al comportamiento del propio recubrimiento galvanizado, esto es, al comportamiento de las capas de zinc y de aleaciones zinc-hierro en el hormigón, mientras que la etapa de "propagación" se refiere al periodo de corrosión activa del acero base de las armaduras que ya no está protegido catódicamente por el zinc adyacente.

Como puede observar en este diagrama, en las mismas condiciones de servicio la vida útil de las construcciones de hormigón armado con armaduras galvanizadas es sensiblemente mayor que las que llevan armaduras de acero en negro, debido fundamentalmente a dos factores:

- a) al mayor periodo hasta iniciación de la corrosión (despasivación) que presentan las armaduras galvanizadas, debido a su mejor resistencia a la carbonatación y mayor tolerancia a los cloruros;

- b) a la protección que sigue proporcionando el recubrimiento galvanizado de las armaduras al acero base de la misma durante todo el proceso de ataque de este recubrimiento, que dependerá de las condiciones ambientales en las que trabaje la estructura.

VENTAJAS DE LAS ARMADURAS GALVANIZADAS

Como resumen de las ventajas que pueden ofrecer las armaduras galvanizadas, puede ser oportuno mencionar aquí el informe del Comité Euro-Internacional du Béton (1992), titulado "Coating protection for reinforcement: State of the art report". CEB Bulletin d'Information Nº 211, en donde se relacionan algunas de las ventajas que pueden obtenerse del empleo de armaduras galvanizadas, como son:

- La galvanización proporciona protección a las armaduras durante el almacenamiento y la construcción antes de que queden embebidas en el hormigón.
- Los recubrimientos galvanizados proporcionan protección catódica a las armaduras hasta que dichos recubrimientos se consumen.
- El acero galvanizado en el hormigón tolera mayores concentraciones de cloruros que el acero negro antes de que se inicie la corrosión.

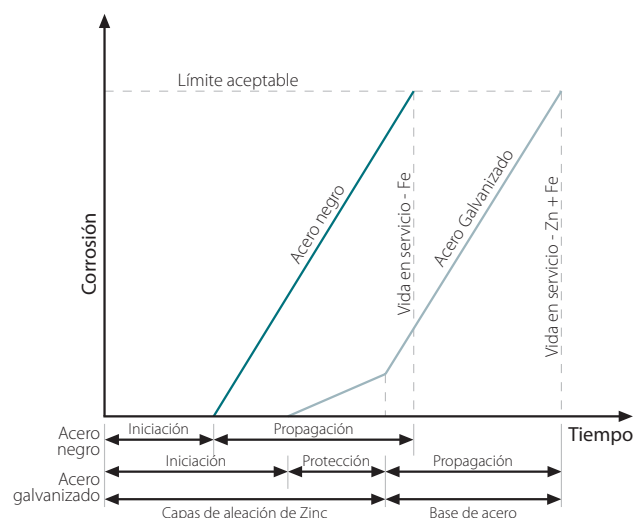


Figura 8.- Modelo modificado de Tuutti mostrando el aumento de vida en servicio de las armaduras galvanizadas con respecto a las armaduras en negro.



REPORTAJES

- La corrosión del acero galvanizado en el hormigón es menos extensa y severa que en el acero en negro durante un dilatado periodo de tiempo.
- Las armaduras galvanizadas retrasan la aparición de grietas y demoran o evitan los desprendimientos de porciones de hormigón.
- El hormigón puede utilizarse en ambientes más agresivos. Así, por ejemplo, un diseño estándar para elementos de hormigón puede utilizarse en ambientes más agresivos si se emplean armaduras galvanizadas.
- Permiten la utilización de hormigones más ligeros y poroso con el mismo recubrimiento que con los hormigones normales.
- La mejor compatibilidad se consigue con los cementos bajos en álcalis.
- Pueden tolerar ciertas variabilidades de la calidad del hormigón derivadas de prácticas de ejecución poco adecuadas (mala compactación o elevadas relaciones agua/cemento).
- Reducen los riesgos de corrosión en el caso de barras desplazadas y con poco espesor de recubrimiento.
- Los periodos de tiempo que transcurren hasta tener que acometer la reparación de las estructuras dañadas por corrosión se suelen dilatar sensiblemente.
- Toleran mejor el contacto continuo entre el hormigón y el agua.
- Los procedimientos de galvanización adecuados no afectan significativamente a las propiedades mecánicas de las armaduras.

En el caso de los elementos de hormigón prefabricado que no estén sometidos a sollicitaciones mecánicas sensibles, las armaduras galvanizadas pueden permitir la reducción del espesor de recubrimiento

del hormigón hasta en un 25 %, manteniendo las mismas condiciones de fiabilidad y protección. Esta reducción puede tener una repercusión importante en cuanto a costes de fabricación y de transporte de los mismos.

CONCLUSIONES

Durante un largo periodo de tiempo (algo más de 60 años) la galvanización de las armaduras se ha acreditado como un medio económico y eficaz de protección de la corrosión en el hormigón en una amplia variedad de condiciones de exposición. Es evidente que la galvanización es solamente uno de los sistemas de protección que pueden utilizarse con el hormigón armado. Sin embargo, la facilidad de fabricación, manejo, transporte e instalación de las armaduras galvanizadas, unido al hecho de que no requieren exigencias especiales relacionadas con el diseño del hormigón, han motivado que este sistema haya sido ampliamente aceptado en muchos países.

Durante los últimos 20 años se han realizado investigaciones y estudios de campo muy completos sobre las características y comportamiento de las armaduras galvanizadas, que han venido a demostrar de manera incuestionable las ventajas que ofrece la galvanización para retrasar la aparición de la corrosión en el hormigón armado y reducir los riesgos de agrietamiento, aparición de manchas de óxido y desconchado en la masa de hormigón. El sensiblemente mayor límite de cloruros que toleran los recubrimientos galvanizados y el que no sean prácticamente afectadas por la carbonatación, hacen que las armaduras galvanizadas posean una resistencia inherente a la corrosión en el hormigón muy superior a las de acero en negro.

Aunque el coste de la galvanización puede aumentar en un 30 - 50 % el precio de las armaduras, su repercusión en el coste total de una construcción es muy pequeño (2 - 3 %), sobre todo si se confronta con los enormes costes directos e indirectos asociados con las posibles reparaciones de las construcciones de hormigón armado. ■

LA PROTECCIÓN CATÓDICA DEL HORMIGÓN ARMADO

Francisco Javier Miranda – WWI PROCAT, S.L.

La protección catódica es un método de lucha contra la corrosión ampliamente extendido y utilizado, que en algunos casos es el de mayor eficacia y duración, aunque no siempre es necesario o económicamente rentable.

El acero embebido en el hormigón armado suele tener menos problemas de corrosión que el acero en otros electrolitos, pero son muchos los casos y cada día más en los que se recurre a la aplicación de un sistema de protección catódica para resolver los problemas de corrosión que aparecen o pueden aparecer. Cuando se prevé la existencia de problemas de corrosión de las armaduras del hormigón se pueden eliminar instalando un sistema de protección catódica, que resulta más barato y fiable si se incluye previamente en el diseño de la construcción.

Hoy en día es un sistema tan difundido que tiene numerosas normas en cuanto a su aplicación. Las más conocidas son las de la National Association of Corrosion Engineers (NACE) y las del Comité Europeo de Normalización (CEN).

FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Se trata de uno de los sistemas electroquímicos de protección contra la corrosión del acero en hormigón. El procedimiento se fundamenta en la polarización de la superficie metálica hasta alcanzar un potencial de polarización para el cual se considera que dicha superficie metálica es inmune a la corrosión. En el caso del acero para hormigón armado este potencial es de -750 mV/Cu/CuSO₄ (respecto al electrodo Cu/CuSO₄). En estas condiciones, la máxima pérdida de espesor

que podría experimentar el acero sería de 10 micras al año. Para tener unos valores de referencia, el potencial al que se encuentra un acero pasivado en el interior del hormigón está comprendido entre 0 y -250 mV/Cu/CuSO₄.

En la Figura 1 se incluye el diagrama de Pourbaix para el acero en hormigón en presencia de cloruros. En el gráfico los potenciales se refieren al electrodo de hidrógeno saturado, pero en la práctica de la protección catódica se utiliza como referencia el electrodo de Ag/AgCl 0,5 molar (solución de KCl) y el de Mn/MnO₂ y el potencial de protección, respecto a estos electrodos es -700 mV (equivalente al de -750 mV respecto al de Cu/CuSO₄).

Para conseguir la polarización deseada de la superficie de acero, se inyecta en la misma una corriente continua, de carácter puro

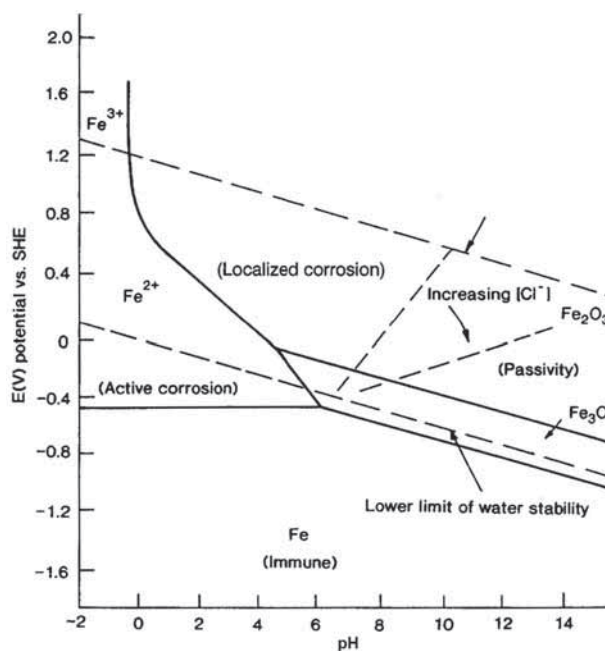


Figura 1.- Diagrama de Pourbaix para el acero en presencia de cloruros.



REPORTAJES

(pila galvánica) o bien procedente de una corriente alterna rectificada y filtrada. Al penetrar esta corriente por la superficie del acero, la polariza negativamente hasta alcanzar el potencial de polarización indicado como criterio de inmunidad. La polarización que se consigue es del metal respecto a una capa o película muy fina (de unos 2 mm) del electrolito en contacto con la superficie del acero.

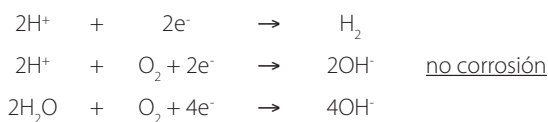
En el electrolito la corriente que circula entre ánodo y cátodo (el acero a proteger) es de tipo iónico, y la que circula por el metal y conexión metálica entre el ánodo y cátodo es por transmisión de electrones.

Las principales y más frecuentes reacciones electroquímicas que tienen lugar en el cátodo y en el ánodo son las siguientes:

Las reacciones en el ánodo (anódicas y de oxidación)



Las reacciones en el cátodo (catódicas y de reducción)



La transmisión de corriente, en las pilas de corrosión y en la de protección catódica, es de corriente continua (como antes se decía por electrones en las partes metálicas e iones en el electrolito).

SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Los sistemas de protección catódica se clasifican en dos tipos, uno llamado de "ánodos galvánicos" o de sacrificio y el otro llamado de "corriente impresa".

El sistema de **ánodos galvánicos o de sacrificio** consiste en formar una pila electroquímica conectando el acero a un metal más anódico que él. Al estar los dos en contacto con el mismo electrolito, la diferencia de potencial existente entre ambos hace que se establezca una pila galvánica entre el acero y el metal anódico

que se corroe o disuelve en el electrolito en función de la cantidad de corriente de la pila, el equivalente electroquímico del ánodo y el rendimiento de la aleación anódica en el medio electrolítico en que se encuentra.

Si se desea obtener un buen resultado el diseño de la protección catódica se ha de hacer con sumo cuidado, especialmente si se trata de aceros de alta resistencia (pretensado o postensado) que pueden resultar dañados por el efecto llamado de fragilización por hidrógeno. La fragilización por hidrógeno es causada por las moléculas de hidrógeno que se generan junto al acero en las reacciones catódicas y que penetran entre las partículas del acero. Por esta razón, las normas recomiendan que en estos casos intervenga siempre un especialista en la materia.

En el caso de influencias de corrientes erráticas se debe tener especial cuidado por la dificultad de su control y las medidas especiales que pueden resultar necesarias para una adecuada protección.

Con el sistema de protección catódica no es necesario sanear el hormigón que envuelve a las armaduras a no ser que éstas estén debilitadas y no soporten los esfuerzos mecánicos requeridos, o tengan deslaminación. Esto es debido a que las reacciones electroquímicas en el hormigón hacen que los iones agresivos (principalmente los cloruros) emigren de las zonas de las armaduras.

Para poder instalar un sistema de protección catódica una condición indispensable es que las armaduras a proteger tengan continuidad eléctrica entre ellas.

DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Estructuras de hormigón armado enterradas y sumergidas

Como antes se ha indicado, se tiende a proteger inicialmente aquellos casos en los que es muy probable que se

presenten problemas de corrosión: aguas o suelos con elevadas cantidades de cloruros, presencia de corrientes erráticas, etc. Cuando no se prevean estos problemas, puede ser suficiente con instalar tomas de potencial (punto de control para medida del potencial) suficientes para poder comprobar la probabilidad de corrosión y verificar el estado de pasivación de las armaduras.

Es importante, en estos casos, evitar que la estructura que queremos proteger presente contactos eléctricos con otras cuya protección no se desee, instalando juntas aislantes en caso necesario. Cualquier motor, bomba o válvula motorizada que lleve una puesta a tierra debe aislarse.

La protección catódica se puede hacer mediante un sistema de corriente impresa o bien por ánodos galvánicos o de sacrificio. Si se quiere dar una larga duración a los ánodos o electrodos dispersores de corriente el sistema de corriente impresa suele resultar más barato que el de ánodos de sacrificio.

En el caso del hormigón pretensado o postensado, con aceros de límite elástico superior a los 700 N/mm², no deben sobrepasarse nunca (con valores más negativos) potenciales de -1.100 mV respecto al electrodo de referencia de Cu/CuSO₄ según la norma europea y -1.000 mV/Cu/CuSO₄ conforme a la de NACE, por el riesgo que se ha comentado de que se produzca su fragilización por hidrógeno.

En estos casos para evitar que los potenciales sean excesivamente negativos y no excedan del umbral de la generación de hidrógeno, se puede recurrir a sistemas de ánodos de sacrificio de zinc (el potencial de estos ánodos es de -1.100 mV/Cu/CuSO₄).

En el caso de tuberías enterradas de hormigón pretensado, deben adoptarse muchas precauciones si se emplean sistemas de corriente impresa, debido a que la corriente de protección se reparte mucho peor y, por lo

tanto, los potenciales son menos homogéneos. En estos casos, los sistemas deben de tener un funcionamiento manual y automático eligiendo su modo de operación en el momento de su puesta en servicio y durante las revisiones de mantenimiento. Asimismo, deben de llevar también una limitación de la corriente de salida para que en el caso de que falle la señal del electrodo de referencia —y por lo tanto el transfo-rectificador tienda a dar la máxima salida de corriente— mantener el potencial prefijado dentro de los límites aconsejables.

Normalmente los transfo-rectificadores son de dos tipos:

- Los de control por tensión fija, bien con variaciones en la tensión del transformador de potencia o bien por ajuste electrónico de la tensión de salida.
- Los de control automático, en los que se fija un potencial de la estructura a proteger y el equipo compara constantemente la señal del electrodo de referencia con el del ajuste, dando la salida de corriente necesaria para mantener dicho potencial.

El sistema de corriente impresa de funcionamiento automático no significa que con él no sea necesario el mantenimiento, sino que está diseñado para ajustar la corriente de protección catódica en función de los cambios de las condiciones del hormigón: temperatura, humedad o salinidad.

Si se instalan sistemas de corriente impresa para estructuras enterradas o sumergidas, los lechos dispersores de corriente deben alejarse de dichas estructuras una distancia suficiente que permita una adecuada distribución de la corriente de protección. Esta distancia dependerá de las dimensiones del elemento a proteger, del terreno que lo circunda (especialmente su conductividad y la cantidad de cloruros que contengan las aguas y suelos), así como de la calidad y espesor del hormigón que recubre las armaduras.

La densidad de corriente necesaria varía mucho en función de las condiciones del terreno o del agua, pero puede oscilar entre 1 y 2 mA/m², cuando no hay humedad o contenidos en cloruros muy altos, hasta 40 mA/m² en medios húmedos o agua con altos



REPORTAJES

contenidos en cloruros. Si hay presencia de corrientes erráticas la densidad de corriente necesaria puede ser mucho más alta, y dependerá de la intensidad y localización de estas corrientes.

El criterio de protección más utilizado es el de un incremento de potencial de polarización de -100 mV. La medida de potencial debe ser registrada durante un tiempo suficiente que permita observar dicho incremento de la polarización (el tiempo de despolarización durante el cual se deben registrar las medidas de potencial puede ser de 1 a 24 horas y puede ocurrir que la polarización sea tan lenta que se deba volver a hacer otras comprobaciones uno o dos meses más tarde) debido a que no se debe empezar por una fuerte polarización dando a los equipos una salida de corriente muy alta.

Protección catódica de estructuras de hormigón armado aéreas

Todo lo referente a los sistemas de protección catódica en este tipo de estructuras ya está recogido en los apartados anteriores, excepto los diferentes tipos de ánodos y sus posibilidades, además de los sistemas de medida del potencial de despolarización que se recogen en las normas europeas, en la literatura existente y en la práctica habitual.

En cuanto a los ánodos de sacrificio, siempre se emplean los de zinc, pero no son muy bien vistos por los especialistas, debido a que los fabricantes no facilitan datos sobre los mismos y no es posible hacer un diseño serio que tenga garantías de protección. En cualquier caso, y a pesar del desconocimiento de estos datos y por lo tanto de su verdadera efectividad y duración, los ánodos

de zinc se suelen emplear en la protección catódica preventiva, donde las densidades de corrientes necesarias son muy inferiores. No obstante, se deberían tener los datos suficientes para conocer el número y tipo de ánodos necesario y calcular su posible duración, aunque en algunos casos ésta no se corresponda con lo calculado pues con frecuencia se pasivan y dejan de dar sus prestaciones como ánodos.

En la Tabla 1 se recogen, a modo de orientación, las densidades de corriente más habituales.

OTROS TIPOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

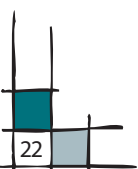
Aunque la protección catódica sólo se lleva a cabo cuando se alcanza el potencial de inmunidad, existe la posibilidad de proteger el acero embebido en el hormigón sin necesidad de llegar al potencial de inmunidad. En aquellos casos en que el elemento está recientemente hormigonado, o cuando el hormigón no presenta elevados contenidos de cloruros, la aplicación de una pequeña densidad de corriente (sistema llamado "protección catódica preventiva") puede ser suficiente para alcanzar el criterio de inmunidad, con el que los iones cloruros que puedan penetrar en el hormigón no alcancen a las armaduras.

Tipos de ánodos que se pueden utilizar en la protección catódica del hormigón armado aéreo

Ánodos galvánicos: como ánodo galvánico se suele utilizar el zinc aleado con un pequeño contenido de

Tabla 1.- Densidades de corriente de distintos medios en que se encuentra el acero de las armaduras.

Medio electrolítico	Densidad de corriente (mA/m ²)
Alcalino, sin corrosión y baja renovación del oxígeno (protección catódica preventiva).	0,1
Alcalino, sin corrosión, con renovación fácil del oxígeno (protección catódica preventiva).	1 - 3
Alcalino, con presencia de cloruros, seco, buena calidad del hormigón y observada una ligera corrosión.	3 - 7
Con presencia de cloruros, humedad, mala calidad del hormigón y corrosión generalizada.	8 - 20
Alto contenido en cloruros, humedad o agua que lo moja fluctuante, alto contenido en oxígeno, temperaturas medias altas (tropicales) y corrosión severa.	30 - 50



cadmio. Estos ánodos pueden aplicarse de dos maneras:

- Embebidos en un mortero especial para reducir la velocidad de su pasivación. Para asegurar mejor la protección es recomendable sanear el hormigón, incluso hasta descubrir las armaduras, que han de ser limpiadas superficialmente e imprimadas para posteriormente proceder a aplicar sobre ellas una pintura epoxi.
- Aplicando una gruesa capa de zinc proyectado sobre la superficie del hormigón, revestida luego con un buen mortero de reparación y con diversas conexiones mediante placas metálicas entre la superficie de zinc y las armaduras.

El zinc proyectado sobre la superficie del hormigón caliente y antes remozada, se ha utilizado en alguna ocasión (más como experimento que como práctica habitual) como ánodo en sistemas de corriente impresa con aceptables resultados.

Corriente impresa: los sistemas más extendidos son:

- *Las mallas de alambre de titanio DSA o titanio activado* con una capa de óxidos de metales nobles (Ti-MMO). Estas mallas permiten una salida de corriente máxima de 110 mA/m^2 (anódica) sin dañar al hormigón de su entorno y durante períodos no muy largos. Para ayudar a la polarización se puede emplear con densidades de corriente de 220 mA/m^2 e incluso en períodos más cortos hasta 400 mA/m^2 , para más tarde inyectar densidades de corriente máximas de 20 a 40 mA/m^2 para una duración del ánodo de 75 a 100 años (período habitual para los ánodos de mejor calidad, y que como máximo alcanza los 25 años para otras calidades inferiores).

El empleo de densidades de corrientes excesivamente altas y durante mucho tiempo puede de-

gradar el hormigón que rodea al ánodo, como consecuencia de los pH ácidos que generan las reacciones electroquímicas que suceden en dicho entorno.

El mortero de reparación que ha de cubrir la malla de ánodo debe presentar unas buenas condiciones de adherencia con el hormigón de soporte ($> 1,5 \text{ N/mm}^2$). La distancia mínima entre las mallas y las armaduras es de 15 mm.

- **Ánodos discretos** o ánodos en forma de tubos o varillas de titanio activado con platino o con mezcla de óxidos que se insertan en el hormigón entre las armaduras. Presentan el inconveniente de que dada su poca superficie y mala distribución de la corriente hay que instalar muchos si se quiere que den mayor salida de corriente. Para no dañar el hormigón de su entorno se deben embeber en un mortero especialmente conductor. La mayor salida de corriente de la superficie del ánodo, o densidad de corriente anódica, hace que su duración sea menor (unos 20 a 25 años según algunos fabricantes y entre 10 y 20 años según la experiencia real).



Figura 2.- Malla de Ti-MMO instalada y antes de rellenar con hormigón y cubrirla con mortero.



REPORTAJES

La instalación es algo compleja pues el ánodo debe guardar unas distancias mínimas respecto a las armaduras —lo que supone una dificultad si se hace sin retirar el hormigón por completo, especialmente cuando el mallazo de las armaduras es cerrado— para conseguir una aceptable distribución de la corriente de protección, y por otro lado se tiene que evitar a toda costa que cualquiera de los ánodos pueda hacer contacto con alguna armadura o quede muy cerca, pues si así sucede se anularía todo el sistema de protección catódica ya que toda la corriente pasaría a través de este punto (se formaría un cortocircuito).

Al dar salida de corriente al electrolito, todos los ánodos forman gases (ver las reacciones anódicas antes citadas), pero si se utilizan dentro de los límites fijados por el proyectista estos gases no suponen un problema y menos cuando los ánodos están en la superficie del hormigón donde estos gases tienen una salida fácil al medio ambiente. Como los “ánodos discretos” están diseñados para dar una salida de corriente bastante alta se forman gases en su entorno que se han de evacuar, por lo que desde cada ánodo sale un tubo de silicona que forma una red con los de los otros ánodos dando salida a los gases formados.

Por su coste y complejidad, el sistema de “ánodos discretos” se utiliza cuando se trata de proteger estructuras en las que la corrosión ha penetrado profundamente en el hormigón y no es posible que la corriente de protección alcance con suficiencia estas zonas desde la superficie exterior del hormigón. Este sería el caso típico de las armaduras del hormi-

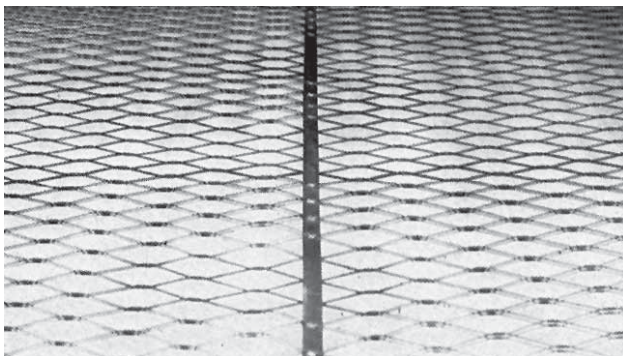


Figura 3.- Malla con su distribuidor de titanio en el centro para mejorar la dispersión de corriente.

gón en un túnel donde haya penetrado agua muy agresiva, con alto contenido en cloruros, a través del terreno tras la pared del hormigón, y no sea posible desde la superficie proporcionar una adecuada protección a las armaduras más profundas.

También se recomiendan en los casos de algunas zonas localizadas en las que las armaduras sean tupidas, de tal forma que no se puedan proteger las capas más profundas desde la malla exterior y sea necesario con estos ánodos alcanzar esas zonas localizadas. El resto de las armaduras es preferible protegerlo, por su duración, precio y sencillez, con el ánodo en forma de malla u otros sistemas aplicados en la superficie del hormigón.

- **Revestimientos de morteros especiales con contenido de carbón granulado.** Los hay de dos tipos: los no modificados (arena con cemento y diversos agregados) y los de alto contenido en grafito. Esos admiten una salida de corriente anódica máxima de 20 mA/m^2 y la duración es de unos 20 a 25 años.
- **Revestimiento de mortero con contenidos en fibras de grafito revestido de níquel,** para una densidad de corriente máxima de 20 mA/m^2 y una duración de 15 a 20 años.
- **Recubrimientos orgánicos** funcionan como ánodos con densidades de corriente próximas a 20 mA/m^2 (para mayores densidades de corriente solo son recomendables en períodos cortos). Su duración es de 5 a 15 años. Son sensibles a la humedad ambiental y no resisten una humidificación continua, por lo que no se usan para aplicaciones marinas. El espesor de la capa que forman es de 0,25 a 0,5 mm.
- **Recubrimientos metálicos.** Son los obtenidos por proyección de zinc sobre el hormigón calentado.

Se utilizan como ánodos de corriente impresa. El grosor de la capa oscila entre 0,15 y 0,20 mm. Su duración estimada es la misma que la de recubrimientos orgánicos y la densidad de corriente anódica también es la misma. Se aplican en forma de placas que generalmente tienen unos 10 m².

- **Polímeros conductores.** Se usan de varias formas, la más común es como relleno en ranuras hechas en el hormigón. Tiene una duración bastante corta. Como conductor se utiliza cable de cobre desnudo y resulta eficaz en algunos casos.
- **Cerámicas conductoras.** Se han aplicado en diversas pruebas, en forma de tejas, pero no se han llegado a comercializar por su bajo rendimiento y alto coste.

En cualquiera de los casos para cubrirlos siempre se debe emplear un mortero de reparación que reúna unas condiciones especiales de resistividad, resistencia mecánica y adherencia que se indican en las normas correspondientes.

Fuentes de alimentación (en los sistemas de corriente impresa)

Como fuente de alimentación de corriente (sólo necesarias en los sistemas de corriente impresa) se suelen emplear transfo-rectificadores, normalmente por control manual, y la tensión máxima que se debe emplear es de 24 V, para cumplimiento de los Reglamentos de Baja Tensión y considerando la seguridad del personal que los manipule, ya que en la mayoría de los casos suele tratarse de lugares húmedos. Por otro lado, con los sistemas de ánodos o dispersores de corriente descritos no deben ser necesarias tensiones más altas.

Cuando se instalen cajas de empalme (conexiones de los cables, ánodos, electrodos de referencia, etc.) no es aconsejable que sean metálicas, ni que en una misma caja se conecten nunca los cables de los ánodos y los

de las armaduras (conectados a los polos positivo y negativo de la fuente de alimentación).

Puesta en servicio de los sistemas de protección catódica

Todos los sistemas de protección catódica, incluidos los de ánodos galvánicos, requieren una buena puesta en servicio y un adecuado diseño, pues sin ello es imposible tener la certeza de que las armaduras están convenientemente protegidas.

Esta puesta en servicio la debe hacer personal cualificado, con experiencia en protección catódica y conocimientos de la problemática de los sistemas para el hormigón armado. La puesta en servicio debe hacerse al menos 14 días después de instalar los ánodos y haber completado la aplicación del hormigón y morteros.

Para las medidas de potencial es imprescindible el empleo del sistema ON-OFF, pues el mejor criterio de protección es el de un potencial de polarización que sea al menos -100 mV más negativo que el natural, es decir, sin protección. Para el criterio de un potencial de polarización fijo (-700 mV/AgCl) también se ha de utilizar el sistema de interrupción de la corriente de protección (ON-OFF) si bien en este caso no es necesario esperar a la completa despolarización. El proceso de polarización completo puede durar hasta varios meses y por ello durante el primer año se debe controlar el sistema midiendo potenciales de despolarización que pueden ser desde una hora hasta de un mes.

Se debe empezar con un ajuste de la corriente del orden del 10 al 20 % de la calculada y observar, midiendo la polarización-despolarización, si se alcanzan los potenciales adecuados de protección.

Si en el ajuste inicial se consigue la adecuada protección no debe ser necesario un posterior ajuste. Si no se consiguen potenciales adecuados de polarización y protección se debe hacer una inspección, un nuevo ajuste y medidas, pasado aproximadamente un mes.

En las medidas de despolarización se deben emplear registradores de datos con una impedancia de entrada mínima de 10 Mohmios/V. Como sensores del control del potencial se pueden emplear electrodos de referencia o bien sondas de despolarización. Estas últimas no



REPORTAJES

se deben emplear para la medida del potencial de referencia, ni en despolarizaciones de duración superior a 24 horas.

Es importante la vigilancia y control del sistema de protección catódica, midiendo potenciales ON-OFF al menos una vez al año, y si se trata de un sistema de corriente impresa vigilando el funcionamiento del equipo al menos una vez cada dos semanas, aunque los sistemas de control remoto permiten ya una vigilancia diaria con bajo coste.

OTRAS TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS DE PROTECCIÓN

Existen otras dos técnicas electroquímicas para la protección del hormigón, la realcalinización y la desalinización.

La realcalinización consiste en instalar un equipo de protección catódica por corriente impresa (con su rectificador y sus ánodos) de forma provisional (al menos funcionando durante una semana) e inyectar una corriente muy superior a la de la protección catódica normal (unas diez veces superior) de tal forma que se consigue recuperar la alcalinidad del hormigón en las zonas afectadas por carbonatación (uno de los principales problemas de corrosión en el hormigón armado). Después se retiran los equipos y ánodos instalados.

La desalinización, por su parte, consiste en la inyección temporal de corriente (de menor valor que en la realcalinización pero con mayor duración) con sistemas de protección catódica por corriente impresa, de tal forma que se produzca la migración de los iones cloruros que son otra de las causas principales de la corrosión en el hormigón armado. Tras su aplicación se suelen retirar los componentes de protección instalados.

CONCLUSIONES

De todo lo expuesto anteriormente se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La protección catódica es un buen método y barato a la larga para la conservación de las armaduras de hormigón.
- Es condición indispensable, y se debe asegurar, la continuidad eléctrica entre las armaduras.

- Es imprescindible un estudio serio que incluya los cálculos necesarios para garantizar la adecuada protección y la duración de los ánodos. Con ello se gana en la seguridad de que lo aplicado sea efectivo y no se esté desperdiciando el dinero, y se consigue muchas veces un ahorro considerable en los costes de la aplicación y de su mantenimiento.
- Este diseño debe ser realizado por un especialista que tenga suficiente experiencia en protección catódica y especialmente en las armaduras del hormigón. La intrusión de personal con falta de experiencia y conocimientos en el campo de protección catódica del hormigón armado hace peligrar, como mal menor, la inversión y en ocasiones puede llegar a dañar el hormigón que está en contacto con los ánodos y el que cubre las armaduras.
- El sistema más utilizado, debido a su mayor duración y seguridad, es el de corriente impresa.
- En el estudio se deben considerar el tipo y duración de los ánodos, el estado de las armaduras, el tipo de hormigón que las cubre y sus características, su estado, contaminación con cloruros, alcalinidad, oxigenación y posibilidad de corrientes erráticas.
- En cuanto a los ánodos, sean de corriente impresa o de ánodos galvánicos, se deben dar las características de los mismos, con la salida de corriente que soportan (en los sistemas de corriente impresa) y su duración estimada. En los casos de ánodos galvánicos las características que se deben considerar y que es necesario comunicar para los cálculos, si se hace un estudio con seriedad, son su potencial en circuito abierto, su rendimiento, su capacidad de corriente, su factor de utilización y el peso neto del ánodo.

La puesta en servicio del sistema y el control y vigilancia del mismo son fundamentales para obtener

los datos que nos indican una garantía de protección.

En la Figura 4 se incluye un diagrama ejemplo de lo que es una curva de despolarización de una estructura bien protegida.

BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN DE CONSULTA

AENOR. UNE-EN 12696:2001: *Protección catódica para el acero en hormigón.*

NACE. RP0187-96: *Design considerations for corrosion control of reinforced steel in concrete.*

NACE. RP0100-2000: *Cathodic protection of prestressed concrete cylinder pipelines.*

NACE. RP0187-96: *Design considerations for corrosion control of reinforcing steel in concrete.*

NACE. RP0390-98: *Maintenance and rehabilitations considerations for corrosion control of existing steel reinforced concrete structures.*

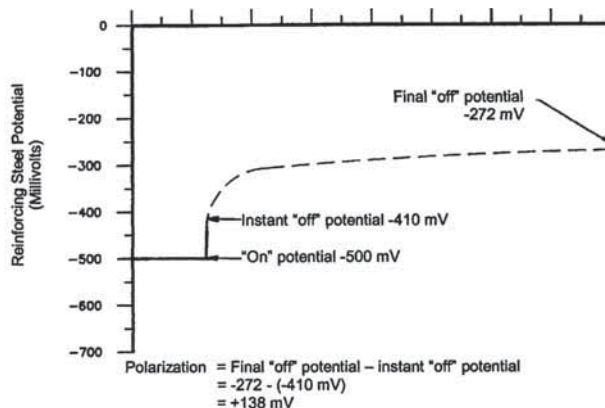


Figura 4.- Curva de despolarización.

NACE. RP0290-2000: *Impressed current cathodic protection of reinforcing steel in atmospherically exposed concrete structures.*

NACE. TM0294-94: *Testing of embeddable anodes for use in cathodic protection of atmospherically exposed steel-reinforced concrete.*

Chess, Paul M.: *Cathodic protection of steel in concrete.* E & FN SPON 1998.

Pedefferri, P.: *Cathodic protection and cathodic prevention. Construction and Building Materials.* 1996. ■



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 (91 562 45 60) o por correo electrónico (buzon@calsider.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 91 561 87 21 o enviándonos un correo electrónico a buzon@calsider.com.



REPORTAJES

LOS ACEROS INOXIDABLES, EXCELENTE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Sonsoles Fernández Ludeña - Directora de CEDINOX.

La historia de los aceros inoxidable está íntimamente ligada a la historia del cromo. Las primeras observaciones de las propiedades "inoxidables" del hierro aleado con el cromo fueron realizadas por el francés Berthier, que en el año 1821 demostró que la aleación hierro-cromo era más resistente a determinados ácidos cuanto mayor era su contenido en cromo. A principios del siglo XX, la empresa Krupp solicita dos patentes en Alemania en las que se habla de aceros inoxidable austeníticos al 18 % de cromo y 8 % de níquel. En 1913, en Sheffield (Gran Bretaña), se realiza la primera colada industrial de acero inoxidable martensítico. En 1914, en Estados Unidos, el investigador Dantszen de Ge pone a punto la producción de un acero inoxidable ferrítico con sólo cromo.

Si el periodo comprendido entre 1904 y 1920 fue rico en trabajos de laboratorio, hubo que esperar a la mitad del siglo XX para lograr un estado realmente industrial con el advenimiento de los hornos eléctricos.

¿QUÉ SON LOS ACEROS INOXIDABLES?

Los aceros inoxidable son aleaciones a base de hierro, cromo, carbono y otros elementos —principalmente, níquel, molibdeno, manganeso, silicio, titanio, etc.— que les confiere una resistencia particular a los diferentes tipos de corrosión. Naturalmente, el influjo de los diversos elementos produce variaciones diferentes de las características intrínsecas de los diversos tipos.

La norma EN 10088 define a los aceros inoxidable como aquellas aleaciones férricas que contienen cromo en una proporción mínima del 10,5 %.

El elemento preponderante de la aleación debe ser el hierro. El motivo de tal definición se encuentra en la característica de estas aleaciones

de resistir bien a un ataque corrosivo. Esta buena resistencia a la corrosión se debe a la propiedad de estas aleaciones de pasivarse en un ambiente oxidante.

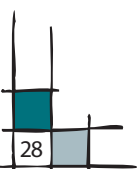
¿POR QUÉ NO REQUIEREN PROTECCIONES EXTERNAS LOS ACEROS INOXIDABLES?

LA CAPA PASIVA

El fenómeno de la **pasividad** tiene gran importancia en la medida que constituye la base del mecanismo de la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable. El fenómeno de la pasividad se caracteriza por la presencia de una película extremadamente delgada en la superficie de la aleación metálica (con un espesor entre 10 – 20 nm) llamada **capa pasiva** o película pasiva. La capa pasiva, fuertemente unida al sustrato metálico, impide o hace insignificante el contacto entre la aleación y los agentes más o menos agresivos del medio ambiente.

Para que se pueda formar y mantener dicha capa pasiva es necesario que la aleación hierro-cromo tenga un contenido mínimo del 10,5 % de cromo. Dicho de otro modo, existe un punto que delimita que por encima de él se pueda producir la pasividad y que, por debajo, resulte imposible.

Además, la capa pasiva tiene la particularidad de auto-regenerarse. Si la capa se destruye localmente por un daño accidental (rayadura, por ejemplo) tiene capacidad de poderse reconstruir en una gran cantidad de medios, lo que se traduce en una propiedad de autopasivación de la aleación metálica en medios oxidantes.



Por tanto, los aceros inoxidable son autopasivables. El esquema más utilizado para describir el mecanismo de formación de su capa pasiva es el de Okamoto y Shibata, y su representación se muestra en la Figura 1.

Los elementos principales que constituyen la capa pasiva son, por una parte, los cationes M^{2+} de valencia Z que provienen del sustrato metálico y que tienen gran afinidad con el oxígeno. Se trata esencialmente de Cr^{3+} y de Fe^{3+} , aunque el hierro se puede encontrar en la zona Fe^{2+} .

Por otra parte, los elementos procedentes del sustrato están asociados con las moléculas de agua provenientes de la solución. Ciertas moléculas de agua han perdido sus protones H^+ , de manera que equilibran la presencia de los cationes metálicos que originan los iones OH^- y O^{2-} , que son los que constituyen el hidróxido o el óxido.

La capa pasiva de los aceros inoxidable es de tipo "bicapa". La capa interna en contacto directo con el sustrato metálico está formada por óxidos del tipo $(Fe, Cr)_2O_3$ y la capa externa está constituida esencialmente por hidróxidos del tipo $Cr(OH)_3 \cdot nH_2O$. La Figura 2 muestra la representación esquemática de este modelo de dos capas.

Por tanto, el carácter de inoxidable que poseen los aceros inoxidable es intrínseco a ellos gracias a esta ul-

trafina capa compacta de óxidos metálicos que se forma en la superficie metálica y se denomina capa pasiva.

PRINCIPALES FAMILIAS DE ACEROS INOXIDABLES.

Atendiendo a su composición química y estructura metalúrgica, se establecen tres familias básicas de aceros inoxidable:

- Aceros inoxidable martensíticos.
- Aceros inoxidable ferríticos.
- Aceros inoxidable austeníticos.

Los aceros inoxidable **martensíticos** son esencialmente aceros al cromo (10,5 – 18 %) que contienen pequeñas cantidades de otros elementos de aleación, como puede ser níquel, pero siempre en porcentajes inferiores al 2,5 %. Los contenidos en carbono pueden variar entre un mínimo de 0,08 % hasta un máximo de aproximadamente 1,20 %.

Estos aceros son capaces de elevar sus características mecánicas de resistencia y dureza mediante un tratamiento térmico de temple. Las mejores condiciones de resistencia a la corrosión de estos aceros son las correspondientes al estado templado y de eliminación de tensiones, alrededor de aproximadamente 150 – 200 °C.

El acero básico de esta familia es el AISI-420, cuya principal aplicación es la cuchillería, engranajes, instrumentos quirúrgicos, ejes de bombas, válvulas, etc.

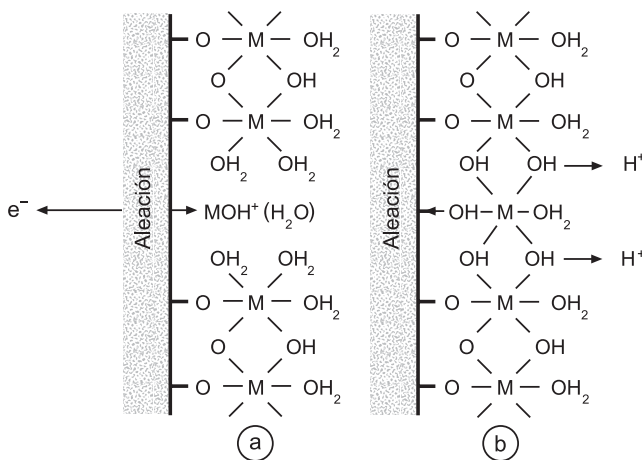


Figura 1.- Mecanismo de formación de la capa pasiva en aceros inoxidable autopasivantes.

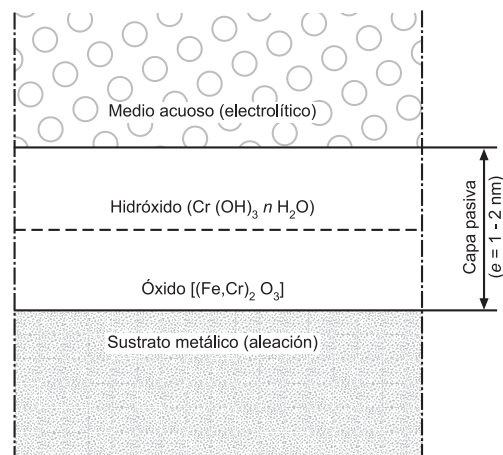


Figura 2.- Aceros inoxidable tipo bicapa.



REPORTAJES

Los aceros inoxidable **ferríticos** se caracterizan porque su estructura permanece ferrítica en todo el intervalo de temperaturas. El tipo básico es el AISI-430 que contiene un 16 % de cromo y un 0,05 % de carbono. Este acero es fácilmente conformable en frío y presenta una acritud inferior a la de los aceros austeníticos. Tiene buenas características de resistencia a la corrosión, tanto a la temperatura ambiente como a temperaturas más elevadas. Su campo fundamental de aplicación es el sector de los electrodomésticos y la industria automovilística.

Los aceros inoxidable **austeníticos** son los más empleados por su excelente resistencia a diferentes tipos de corrosión y sus buenas características mecánicas y físicas. Estos aceros contienen cantidades de cromo comprendidas entre el 17 % y el 26 %; carbono en valores inferiores al 0,08 % e incorporan níquel en su composición entre el 7 % y el 22 %. Los demás elementos de aleación que puedan llevar permiten obtener determinadas características.

El tipo básico es el AISI-304, del que derivan todos los demás. Así, al añadir molibdeno a su composición se obtiene el AISI-316, especialmente indicado para ambientes salinos por su buena resistencia a la corrosión por picaduras y mejor comportamiento frente a la corrosión bajo tensión. Pero, dada la presencia de molibdeno, la cantidad de níquel se aumenta convenientemente con el fin de asegurar la estabilidad de la austenita.

Los tipos austeníticos estabilizados con titanio o niobio tienen como propiedad la de evitar la precipitación de los carburos de

cromo (fenómeno de sensibilización) en el intervalo de temperaturas comprendido entre los 450 °C y los 850 °C. Este fenómeno permite evitar la corrosión intercrystalina.

Los aceros austeníticos refractarios (AISI-309, AISI-310) poseen elevadas características de resistencia a la corrosión en caliente. Ello es consecuencia de los elevados contenidos de cromo y de níquel presentes en la aleación, junto con elevados porcentajes de carbono.

CONCLUSIONES

Una de las características peculiares de los aceros inoxidable y uno de los motivos de la continua generalización de su empleo es, sin duda, su resistencia a la corrosión.

Se trata, además, de una resistencia a la corrosión intrínseca al material gracias a la capa pasiva que se forma en toda su superficie. Por ello, el acero inoxidable no requiere de ninguna protección adicional externa.

Esta capa pasiva se puede colorear con diferentes tratamientos y obtener así un acero inoxidable "coloreado", no "pintado". Además, en el mercado se pueden encontrar gran variedad de acabados superficiales. ■



HIERROS DEL NOROESTE SE INCORPORA A FERRAPLUS

Tras esta incorporación se eleva a 38 el número de ferrallas que forman parte de esta marca de excelencia.

El pasado mes de marzo se formalizó la incorporación de Hierros del Noroeste a la prestigiosa marca FerraPlus, que agrupa a aquellas ferrallas certificadas que quieren distinguirse por su preocupación por la innovación y el desarrollo de los procesos que llevan a cabo en sus instalaciones industriales.

Hierros del Noroeste se fundó en el año 1993 para cubrir las necesidades de la comarca murciana de la que toma su nombre, ocupando el vacío existente en aquellos momentos en el mercado del hierro y la ferralla.



En sus comienzos se centró fundamentalmente en las actividades propias de un almacén de hierro y derivados (viga, chapa, tubo, mallazo, corrugado, forja decorativa, etc.), así como a taller de ferralla, dando un servicio a los constructores de la comarca y ampliando rápidamente sus objetivos hasta cubrir la práctica totalidad la región de Murcia, así como de las limítrofes.

Con una importante inversión en maquinaria para taller de ferralla y un numeroso equipo de trabajadores para el montaje (en taller y/o obra) y transporte, hoy en día Hierros del Noroeste es uno de los principales referentes en el sureste español en la elaboración de ferralla para obras de carácter público y privado, ejecutadas por las grandes, medianas y pequeñas constructoras del país.

Tras obtener la certificación AENOR para ferrallas Hierros del Noroeste solicitó su incorporación a la marca FerraPlus, pasando así a formar parte de un elenco de empresas capaces de satisfacer las más altas y rigurosas exigencias del mercado. ■





NOTICIAS

FERRAPLUS Y ARCER PRESENTES EN FICON 2007

En el marco de esta Feria Ibérica de la Construcción comienza su andadura el Aula IPAC, una iniciativa de formación del Sector Siderúrgico.

El pasado mes de marzo tuvo lugar el XV Certamen de la Feria Ibérica de la Construcción, el Urbanismo y el Medio Ambiente, FICON, referente inexcusable de la construcción en el suroeste ibérico y foro de encuentro entre fabricantes, distribuidores y aplicadores, por un lado, y empresas privadas y administración por otro.

Este certamen fue inaugurado por la Ministra de Vivienda, Dña. María Antonia Trujillo, que durante su intervención en el acto inaugural reconoció la apuesta de las empresas del sector por la innovación en sus propuestas para conseguir la sostenibilidad en la edificación y el urbanismo; "no me cabe duda alguna de que con estas innovaciones se contribuye a diseñar una edificación más habitable, atractiva, competitiva y sostenible" fueron algunas de las palabras pronunciadas en el discurso.

Tras la inauguración, María Antonia Trujillo visitó los distintos pabellones del recinto ferial acompañada del Presidente de la Junta

de Extremadura, D. Juan Carlos Rodríguez Ibarra, para conocer las principales novedades del sector.

Las marcas ARCER y FerraPlus estuvieron presentes en este certamen como exponentes de las iniciativas innovadoras puestas en marcha por el Sector Siderúrgico, que ha realizado desde hace años una decidida apuesta por la calidad.

Aprovechando este marco empresarial dinámico, que congrega durante tres días la realidad del sector extremeño y que actúa como elemento dinamizador del sector y catalizador de nuevas ideas y proyectos, se puso en marcha una nueva iniciativa del Sector Siderúrgico, el Aula IPAC, cuyo objetivo es dar respuesta a las necesidades de información y de formación que los agentes del Sector de la Construcción puedan tener sobre distintos aspectos relacionados con el hormigón estructural.



➤ Inauguración de FICON 2007.

El ciclo de conferencias que tuvieron lugar en el Aula IPAC se dividieron en tres grandes bloques. El primero estuvo dedicado a la certificación de productos y a las marcas de calidad de los aceros (ARCER) y de la ferralla (FerraPlus). El segundo, abordó en profundidad las diferentes medidas que pueden aplicarse para evitar o, al menos, disminuir los procesos de corrosión de las armaduras (dosificación del hormigón, empleo de inhibidores de la corrosión, protección de las armaduras mediante galvanización, recubrimientos epoxi y protección catódica). Por último, el tercer bloque se dedicó a temas relacionados con las estructuras de hormigón, desde el punto de vista reglamentario (Código Técnico de la Edificación), de seguridad (resistencia al fuego) y de sostenibilidad. ■



➤ Momento en el que la señora Trujillo y el señor Rodríguez Ibarra se interesan por el contenido y alcance del Aula IPAC y de las marcas ARCER y FerraPlus.



➤ Diversos momentos de las intervenciones realizadas en el Aula IPAC.



NOTICIAS

CONSTRUMAT SIGUE CRECIENDO

La 15ª edición de Construmat acoge por primera vez el stand de una instalación de ferralla certificada FerraPlus.

Con un total de 286.000 visitantes profesionales y 155.000 m² de superficie neta expositiva el Salón Internacional de la Construcción de Fira de Barcelona se consolida como evento de referencia para los profesionales de la construcción y como gran plataforma de las tendencias más innovadoras del sector.

En esta 15ª edición, la más grande hasta la fecha, han participado 4.500 empresas de 50 países que, en 2.450 stands, han ofrecido 50.000 productos, realizándose más de 1.100.000 contactos de negocios. Estas cifras sitúan a Construmat como el mayor salón de España y uno de los primeros del sector en Europa.

Por segunda edición consecutiva FerraPlus ha estado presente en Construmat, esta vez con una empresa de ferralla puntera y volcada por la calidad, que ha quedado muy gratamente sorprendida por la buena acogida que ha tenido entre los profesionales del sector.

De nuevo en esta edición se sigue apostando por la innovación, las construcciones ecológicas y las energías renovables y con la reedición de propuestas sobre la vivienda como Proyecto Casa Barcelona, APTM o los proyectos R4House de Construcción Sostenible.

Por otro lado, se han celebrado más de 60 jornadas técnicas con la presencia de arquitectos y expertos de la talla de Luis Mansilla, Emilio Tuñón, Fermín Vázquez, Massimiliano Fuksas, Karim Rashid o Gerd Hauser, entre otros. La entrega de los Premios Mies van der Rohe y los Premios Construmat a la Innovación Tecnológica ha reafirmado la dimensión innovadora, de investigación y de foro de reflexión y debate en torno a la vivienda contemporánea y la sostenibilidad, que es una de las señas de identidad de Construmat. ■



LA FLOR DE NORMAN FOSTER

El prestigioso arquitecto británico presenta en Madrid la bodega que ha diseñado para Portia, la séptima firma del Grupo Faustino. De esta forma, se incorpora al conjunto de grandes arquitectos que han dejado su impronta en un producto tan característico e intemporal como es el vino.

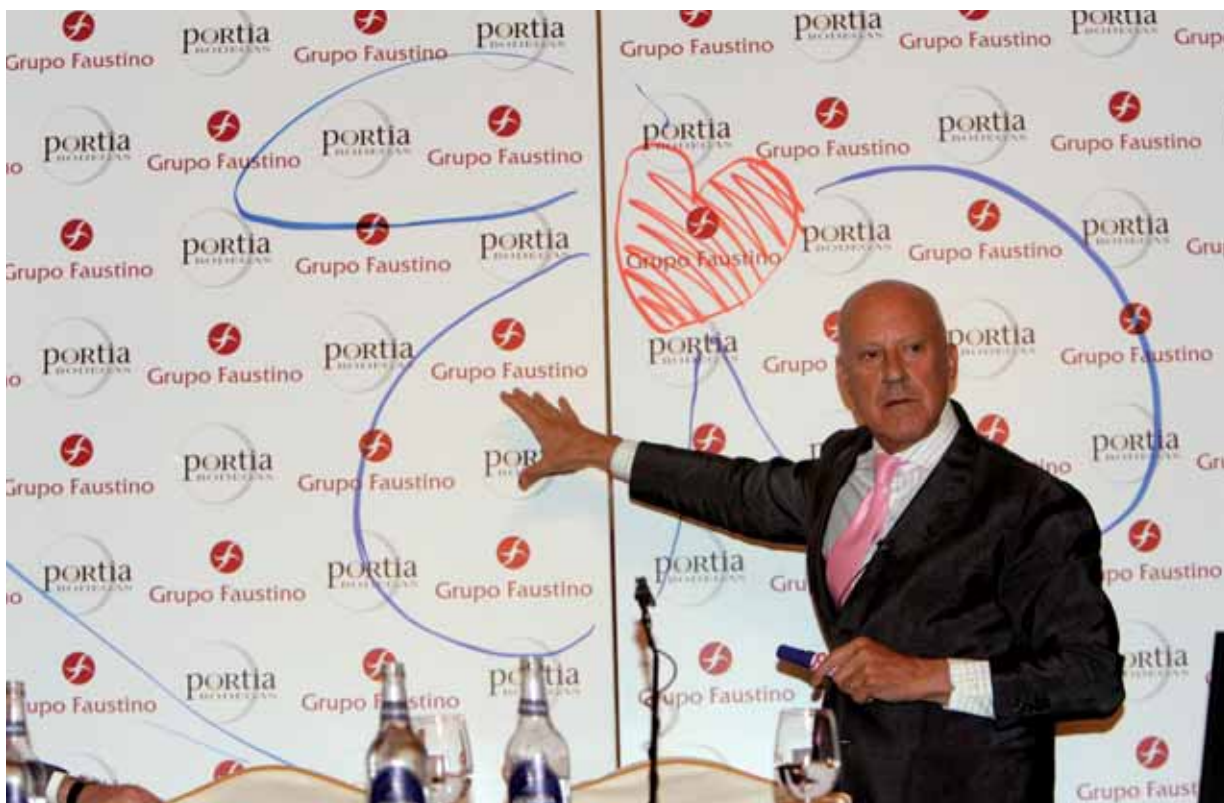
Con su característica elegancia, lord Norman Foster presentó el pasado 24 de mayo la nueva bodega del Grupo Faustino en la D.O. Ribera del Duero, Bodegas Portia.

Nos sorprendió a todos los asistentes cuando decidió prescindir de la presentación preparada al efecto, sustituyéndola por una improvisada pizarra y su indudable genio. Definió su proyecto como una flor formada por un corazón y tres grandes pétalos, cada uno de los cuales responde a los diferentes procesos que conforman la elaboración del vino: fermentación, envejeci-

miento y conservación. El corazón de esta flor recibe la uva con la que finalmente se elaborará el vino, y alberga en su interior un espacio dedicado al visitante de la bodega, con zonas de ocio, de reunión y de conocimiento de este proceso.

El edificio, que se encuentra actualmente en construcción, se ubica en la pequeña localidad burgalesa de Gumiel de Izán, manteniendo una estrecha relación "con la poesía y el romanticismo del vino", así como con la "tradición y la innovación", según indicó el propio arquitecto.

Su integración con el terreno que le rodea es muy importante, para lo cual se ha aprovechado la topografía del lugar, que pre-





NOTICIAS



senta una cierta pendiente, para que parte de sus elementos más importantes se encuentren enterrados de forma natural.

Las cepas crecen alrededor de este edificio que presenta una piel cuya coloración se confunde con los ocres de la tierra y los colores del vino, además de presentar la energía y la vitalidad del acero tipo corten con el que está resuelta.

La nueva bodega, con una superficie de 11.300 m², tendrá una capacidad de producción anual de un millón de botellas de vino. Este ambicioso proyecto, con un importe de 25 millones de euros, supone un paso más en la consolidación del Grupo Faustino como productor de vinos de alta gama. Y es que las cifras aportadas por el Director General de esta empresa familiar, dejan constancia de ello, con una facturación anual de 100 millones de euros, 1998 hectáreas en propiedad en cuatro denominaciones de origen (Navarra, Rioja, Ribera del Duero y Mancha), una capacidad productiva de 21 millones de kilos de uva, un parque de 90.000 barricas y un stock permanente de 13 millones de botellas. El reconocimiento de la calidad de los productos del Grupo Faustino ha trascendido fuera de nuestras fronteras, exportando aproximadamente la mitad de su producción a países de la Unión Europea y a Estados Unidos. ■





CONSTRUYENDO UN MUNDO DE CALIDAD

Mediante la certificación de AENOR
su organización demuestra la calidad de sus productos,
la eficacia de su gestión, su respeto por el medio ambiente,
su compromiso con la seguridad,
su preocupación por construir un mundo accesible para todos.
Un mundo para disfrutar de la mayor calidad de vida.



FERRA PLUS

Empresas que han obtenido la marca



Armacentro, S.A.
Armalla, S.L.
Cesáreo Munera, S.L.
Elaboración y Montajes de Armaduras, S.A.
Elaborados Férricos, S.A. – Bonavista
Elaborados Férricos, S.A. – L' Arboc
Ferralla Gastón, S.A.
Ferrallados J. Castillo, S.L.
Ferrallas Albacete, S.A.
Ferrallas Haro, S.L.
Ferrallas JJP Maestrat, S.L.
Ferrallats Armangué, S.A.
Ferrallats Can Prunera, S.L.
Ferrobérica, S.L.
Ferrofet Catalana, S.L.
Ferros La Pobla, S.A.
FORMAC, S.A.
Hierros Ayora, S.L.
Hierros del Noroeste, S.L.
Hierros del Pirineo, S.A.
Hierros Godoy, S.A.
Hierros Huesca, S.A.
Hierros Lubesa, S.L.
Hierros Santa Cruz Santiago, S.L.
Hierros Turia, S.A.
Hierros Uriarte, S.L.
Hierros y Aceros de Mallorca, S.A.
Hierros y Montajes, S.A.
Hijos de Lorenzo Sancho, S.A.
Jesús Alonso Rodríguez, S.L.
Manufacturados Férricos, S.A.
Pentacero Hierros, S.L.
Preformados Ferrogrup, S.A.
S. Zaldúa y Cía, S.L.
Sinase Ferralla y Transformados, S.L.
Teinco, S.L.
Transformados y Ferralla Moral, S. L.
Xavier Bisbal, S.L.

... mucho más que ferralla certificada