

PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ANTE LA CORROSIÓN

Jesús Orte Crespo - Director Técnico-Comercial del Departamento Químico. Quimilock S.A.

La corrosión en las estructuras de hormigón es una patología mucho más frecuente de lo que en principio muchos suponen. Afecta de una forma muy importante a la estructura poniendo en peligro el funcionamiento para el cual ha sido diseñada y acortando de forma considerable la vida de servicio prevista para la misma.

Este artículo aborda los problemas de corrosión en las estructuras de hormigón armado y los métodos existentes para su corrección mediante el uso de inhibidores de corrosión migratorios (MCI).

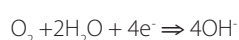
Se entiende por corrosión el fenómeno por el cual un metal o una aleación sufre, en contacto con el medio, una reacción de oxidación a causa de la cual los metales pierden su estado elemental y retornan al estado combinado de origen.

El proceso de oxidación del metal va acompañado del proceso de reducción que confiere al global del medio un estado neutro. Estas dos reacciones son, en el caso de un medio oxigenado:

- Reacción anódica (oxidación):



- Reacción catódica (reducción):



Como vemos, el fenómeno de corrosión no es solamente químico, es sobre todo de naturaleza electroquímica y presenta unas condiciones de equilibrio que suelen

representarse en un mismo diagrama potencial-pH (Diagrama de Pourbaix) que nos permite conocer el estado en que se encuentra un sistema en relación a las condiciones concretas del mismo.



Figura 1.- Efectos de la corrosión en un elemento de hormigón armado.

En el caso que nos ocupa, el metal que forma parte del hormigón armado está formado normalmente por redondos de acero de baja aleación laminados en caliente y, en ocasiones, endurecidos posteriormente por un proceso de deformación en frío, como es el caso de los aceros trefilados o de los aceros de pretensado, con contenidos en carbono comprendidos entre 0,7 % y un 0,9 %. Por lo tanto, el diagrama electroquímico a estudiar es, lógicamente, el del hierro-agua.



REPORTAJES

En este diagrama se observan tres zonas bien delimitadas:

- Zonas de corrosión: donde se produce la reacción de oxidación del metal.
- Zona de inmunidad: en la que el metal se mantiene en su estado fundamental.
- Zona de pasividad: en la cual el metal crea una capa protectora que impide la continuación del proceso corrosivo. En el caso del hierro se trata de capas de Fe_2O_3 y de Fe_3O_4 .

Observando el diagrama podemos entender la capacidad protectora que ejerce el hormigón sobre el metal, que impide el desarrollo del proceso corrosivo, y que depende de dos factores principales:

1. El impedimento físico que ofrece el hormigón a la penetración por difusión de oxígeno, humedad, cloruros u otras sustancias agresivas.
2. El elevado pH ($\cong 12,6$) que mantiene pasivadas al potencial de trabajo normal a las armaduras embebidas en él.

Durante cualquiera de los procesos de corrosión de la armadura el óxido formado presenta mayor volumen, por lo que se produce la rotura de la capa de hormigón que la rodea, pudiendo llegar a

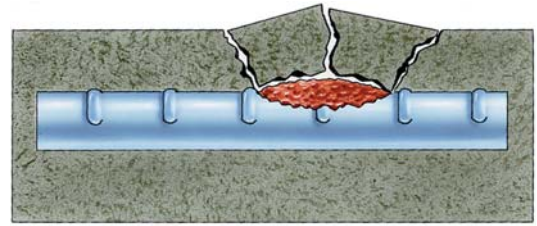


Figura 3.- Efecto sobre el hormigón del aumento de volumen de los productos de corrosión.

disminuir la resistencia del conjunto hasta su completa destrucción.

EL PROCESO DE CORROSIÓN EN EL HORMIGÓN ARMADO

El hormigón puede perder la pasividad que posee de forma natural por varias razones, entre las que cabe destacar:

- Una dosificación inadecuada de los componentes que forman parte de él.
- Una fabricación incorrecta.
- La presencia de sustancias despasivantes.
- La presencia de sustancias que tengan la capacidad de variar su pH.

Dentro de estos procesos vamos a prestar una especial atención a los dos últimos ya que son los más comunes.

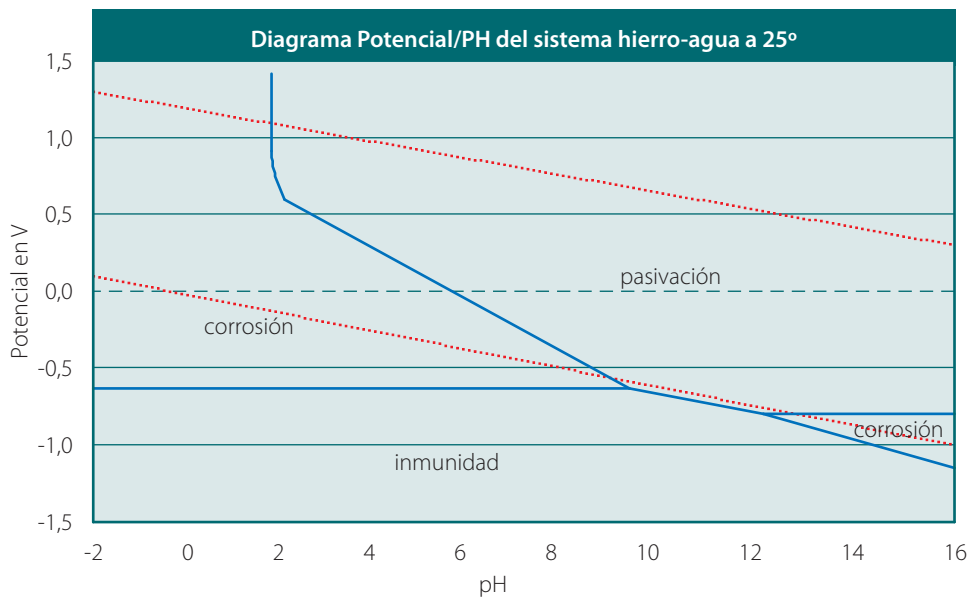


Figura 2.- Diagrama de Pourboix del sistema hierro-agua.

Presencia de iones despasivantes

El mecanismo por el cual estos iones destruyen la pasividad del metal es, explicado de forma simple, mediante la eliminación de las capas de óxido protectoras que presenta el metal en su origen.

Este fenómeno es común en situaciones en las cuales el hormigón se encuentra en contacto con medios ricos en iones despasivantes como el ion cloruro, que penetra a través de los poros del hormigón llegando a la armadura. Los medios usuales en los que se produce este proceso son generalmente el mar, la atmósfera marina, así como los iones provenientes de las sales de deshielo.

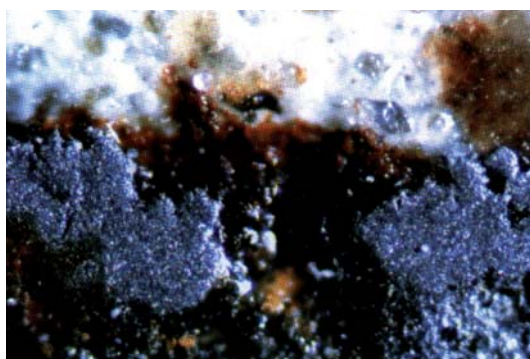


Figura 4.- Efecto de los iones despasivantes.

Carbonatación

La actuación del CO_2 de la atmósfera sobre el hormigón genera, mediante la reacción con el hidróxido cálcico de la solución contenida en los poros del hormigón, carbonato cálcico con la consiguiente disminución del pH del medio hasta valores inferiores a 9,5, favoreciendo que se produzca la corrosión de la armadura.

Este proceso es lento ya que depende de la difusión del CO_2 del agua formada tras la reacción y, por supuesto, de la porosidad del hormigón.

En general el efecto sobre la resistencia del hormigón es nulo, si bien se produce su rotura por el aumento de volumen del acero.

Hay otros factores que influyen en el tiempo de inicio de la corrosión o que incrementan la velocidad de ésta, como son el grado de humectación, la disponibilidad de oxígeno y la presencia de fisuras o defectos.

LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN MIGRATORIOS (MCI)

Los inhibidores de corrosión son sustancias capaces de disminuir considerablemente la velocidad de corrosión de la armadura frente a medios agresivos sin variar las propiedades físicas del hormigón (resistencia a la compresión, la resistencia a la congelación/descongelación, el tiempo inicial de fraguado, la consistencia del hormigón, la inclusión de aire, etc.).

"Los inhibidores tipo MCI crean una película protectora sobre la armadura deteniendo los procesos de corrosión"

Los inhibidores de corrosión MCI, permiten detener los procesos de corrosión mediante la generación de una capa protectora sobre la armadura. Esta película presenta un espesor comprendido entre 20 y 100 Å, medido mediante XPS, que desplaza al ión cloruro de la superficie, impidiendo al mismo tiempo que un bajo nivel de pH, como consecuencia de la carbonatación, afecte al metal.

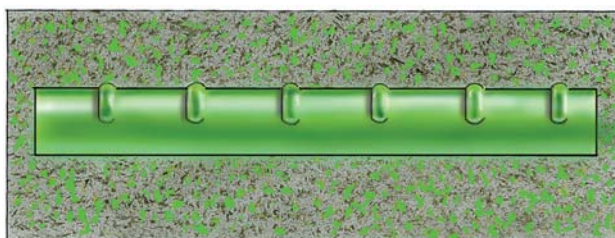


Figura 5.- Armadura de acero protegida por un inhibidor MCI.

Las ventajas que el inhibidor MCI presenta frente a otros compuestos usados como retardantes de la corrosión son básicamente las siguientes:

- Es una sustancia que actúa tanto sobre la zona catódica como sobre la zona anódica. Al ser un inhibidor mixto evita los problemas derivados del uso de inhibidores anódicos. De este



REPORTAJES

modo, si su concentración no se mantiene por encima de un valor crítico no se bloquean todos los puntos anódicos favoreciendo, por otra parte, la reacción catódica con lo que se genera una intensa corrosión localizada.

- Es seguro para el medio ambiente al no contener nitritos.
- Es un inhibidor con capacidad de migración, por lo que se puede usar en elementos ya construidos disminuyendo la corrosión sobre la armadura ya dañada.

Pueden emplearse como medida preventiva en el hormigón o la armadura durante la ejecución, o sobre el elemento estructural una vez en servicio

Sobre este último punto, se debe destacar que existen tres grandes campos de trabajo para los inhibidores migratorios.

1. **En el proceso de construcción como prevención**, pudiendo emplearse tanto en el hormigón como en la armadura. En el primer caso mediante la incorporación del inhibidor durante el amasado, como si se tratase de una adición. En el segundo caso, mediante su aplicación sobre la armadura como si se tratase de una pintura base agua, previniendo no sólo el problema *a posteriori* cuando el elemento esté en servicio, sino también *a priori* durante el almacenamiento y puesta en obra del acero, al evitar su oxidación a la intemperie.
2. **En el proceso de reparación de estructuras ya dañadas** para lo cual existen morteros de reparación que ya incluyen este tipo de aditivos e inhibidores de corrosión migratorios de aplicación en superficie.
3. **En el proceso de prevención de problemas en estructuras ya existentes** para lo cual el producto se aplica mediante pulverización sobre la superficie, migrando hasta la armadura para protegerla.

En el número 11, de marzo de 2007, de la revista Zunchos se publicó un extenso artículo sobre el modo de aplicación, la metodología de control de calidad y el seguimiento del funcionamiento de este tipo de inhibidores.

A continuación se pasa revista a varios ejemplos de actuaciones llevadas a cabo tanto en la prevención como en la reparación de estructuras existentes.

LA PREVENCIÓN

Evidentemente es mucho mejor realizar una prevención que una reparación cuando ya se ha producido el fenómeno de la corrosión. Existen para ello dos sistemas diferentes que, como se mencionó anteriormente, pueden aplicarse sobre el hormigón o sobre la armadura.



Figura 6.- Incorporación de inhibidores de la corrosión durante el amasado del hormigón.



Figura 7.- Empleo de inhibidores de corrosión en desaladoras.



Figura 8.- Vista general de la losa de cimentación de la torre de control del aeropuerto de Barcelona.

Prevención mediante el uso de inhibidores MCI en el amasado del hormigón.

El sistema consiste simplemente en la adición del inhibidor en el amasado del hormigón, bien en la central de fabricación o directamente en la propia hormigoneira. Con ello estamos adoptando una medida preventiva frente a la corrosión al tiempo que no se introducen variaciones sobre las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como posteriormente endurecido.

En el caso de que el inhibidor no se incorpore en toda la estructura sino únicamente en aquellas zonas que presenten un riesgo especial de corrosión, deben adoptarse las medidas adecuadas para garantizar que las armaduras de esta zona quedan adecuadamente envueltas por este hormigón aditivado, consiguiendo así su protección de una forma muy sencilla.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de sistemas fueron las arquetas de rechazo de ósmosis de desa-

ladoras como la de Alicante, ejemplo claro de una zona con elevada propensión a la corrosión debido a la presencia de salmuera.



Figura 9.-Detalle de la aplicación mediante pistola del inhibidor MCI sobre la armadura.



REPORTAJES

Prevención mediante la aplicación de inhibidores MCI sobre la armadura.

El inhibidor MCI puede aplicarse directamente sobre la armadura pulverizándose sobre su superficie como si se tratara de una pintura. Al ser de base agua su secado no supone ningún problema para los elementos adyacentes pudiéndose manipular en un corto periodo de tiempo.

La aplicación puede efectuarse sobre el material sin transformar, es decir, en forma de barras o de rollos sobre formas de armado acopiadas para su montaje, con lo que queda protegido durante el tiempo que transcurre hasta su colocación en los encofrados y su posterior homigonado, pero también puede efectuarse su aplicación sobre armaduras ya montadas, como veremos en alguna de las aplicaciones efectuadas.

Este tipo de recubrimientos, además de proporcionar una protección anticorrosiva duradera, no interfieren en la adherencia del hormigón con el acero como pasa con otros sistemas. Además, al tratarse de productos base agua, su utilización no genera problemas desde un punto de vista medioambiental.

Un ejemplo de esta forma de aplicación fue la losa principal de la torre de control del aeropuerto de Barcelona en la que, dada su envergadura y dimensiones, se decidió efectuar este tratamiento preventivo una vez colocada la armadura.



⇒ **Figura 10.-** Proceso de reparación de una estructura afectada por corrosión.



⇒ **Figura 11.-** Aplicación de inhibidores MCI sobre la superficie del hormigón.

LA REPARACIÓN

Cuando el fenómeno de la corrosión ya se ha producido, sólo resta evaluar adecuadamente hasta dónde ha llegado el daño y sus causas principales para luego llevar a cabo el uso del sistema más adecuado que garantice un aumento de la vida útil de la estructura.

En reparación los inhibidores se aplican en forma de lechadas pasivantes y morteros de reparación

La utilización de los inhibidores MCI puede efectuarse por una doble vía: en las zonas reparadas, en las zonas aparentemente no afectadas.

En las zonas reparadas existe la posibilidad de utilizar lechadas pasivantes y morteros de reparación que contengan inhibidores MCI adicionados, consiguiendo un considerable aumento de la vida útil de la reparación (hasta 5 veces) frente a ataques corrosivos.

En las zonas aparentemente no afectadas, en las que el hormigón conserva un buen aspecto y estado aceptable, se puede proceder a la aplicación de inhibidores MCI sobre su superficie, con lo que se consigue ralentizar, en

torno a un 70 %, la corrosión en dichas áreas, haciendo que globalmente la reparación sea eficaz y duradera.

Los inhibidores MCI que se aplican en superficie son capaces de acceder hasta la armadura gracias a los siguientes mecanismos:

1. Mediante la acción capilar del fluido que moja superficialmente el hormigón.
2. Mediante la acción en fase vapor del producto y su migración hacia la armadura.
3. Mediante una atracción iónica que fija las moléculas de inhibidor en una capa monomolecular mediante una reacción de quimiabsorción del producto sobre el metal, evitando el acceso de agentes agresivos externos y la transferencia electrónica.

A la hora de realizar una reparación se debe determinar el origen de los problemas para adoptar la mejor solución posible. En ese sentido, es sumamente importante realizar un estudio previo para evaluar el caso concreto. Para ello puede ser necesaria la extracción de testigos de la estructura de hormigón a evaluar con el fin de comprobar no sólo su estado físico sino también su estado químico y saber hasta dónde ha llegado la carbonatación del hormigón o cuál es su contenido en cloruros, los dos fenómenos más habituales que originan la corrosión en el hormigón armado.



Figura 12.- Aplicación de lechada pasivante sobre el acero desnudo.

Si bien no existen límites para el uso de inhibidores MCI en hormigón carbonatado, sí existen cuando hay presencia de cloruros. Dependiendo del nivel de concentración de cloruros se puede determinar el tipo de inhibidor que es preciso utilizar, por lo que la evaluación previa de la estructura es absolutamente necesaria.

Tras ser elegido el sistema de reparación se pasa a la actuación en la que se pueden distinguir varias fases:

1. **Preparación de la base** eliminando cualquier resto de producto de la corrosión. Para ello, se pueden utilizar medios físicos como el chorro de arena o el hidrojete, o bien mediante medios manuales. Es importante también identificar aquellas zonas en las que se haya producido el desprendimiento del hormigón aunque éste no sea visible. El método más habitual para su detección es bastante simple y consiste en un golpeteo sobre la superficie del hormigón hasta detectar sonido hueco.



Figura 13.- Aplicación de inhibidores MCI en superficies próximas al área de reparación.



Figura 14.- Aplicación del mortero de reparación.



REPORTAJES

2. **Aplicación de lechada pasivante** con inhibidores de corrosión migratorios sobre el acero desnudo.
3. **Aplicación de inhibidores de corrosión en superficie** en las estructuras no dañadas para prevenir y corregir que no aparezcan en unos meses daños que afecten a otras áreas, siguiendo las indicaciones del fabricante en cuanto a tiempos de espera entre capas y dotación de las mismas.
4. **Aplicación de morteros de reparación** con inhibidores de corrosión migratorios. Para mejorar el anclaje de los morteros de reparación sobre el hormigón existente pueden emplearse puentes de unión. La formulación y características de los morteros de reparación serán en función de las necesidades de la obra.

Este tipo de sistemas de reparación ya han sido utilizados en estructuras situadas en puertos como los de Valencia, Bilbao y La Coruña donde la patología ha sido siempre la presencia de cloruros y en centrales nucleares como las de Trillo, Almaraz y Ascó donde el fenómeno es la carbonatación del hormigón.

CONCLUSIONES

Los inhibidores de corrosión migratorios son productos que pueden utilizarse eficazmente tanto en la prevención como en la reparación de estructuras afectadas por fenómenos de corrosión.

Su utilización disminuye considerablemente la velocidad de corrosión de las armaduras de acero en presencia de medios agresivos, por medio de la creación de una película protectora a nivel molecular actuando tanto sobre la zona catódica como anódica, aumentando la eficacia de su protección.

En la etapa preventiva los inhibidores MCI pueden incorporarse al hormigón durante su amasado, sin afectar a sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido, o bien directamente sobre las armaduras sin alterar sus condiciones de adherencia con el hormigón.

En la etapa de reparación su aplicación se efectúa por medio de las lechadas y morteros de reparación utilizados, aunque también puede aplicarse sobre la superficie del hormigón, migrando a través de su masa hasta alcanzar la armadura.

Los estudios previos a la reparación son fundamentales para poder determinar el origen del ataque, la intensidad del mismo y poder elegir el tipo de inhibidor más adecuado y la formulación más eficaz de las lechadas y morteros utilizados, pudiendo así obtener los mejores resultados a nivel global. ■



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.

