

Uso de inhibidores de corrosión migratorios (MCI) en el aumento de la durabilidad de las estructuras de hormigón armado expuestas a ambientes con cloruros

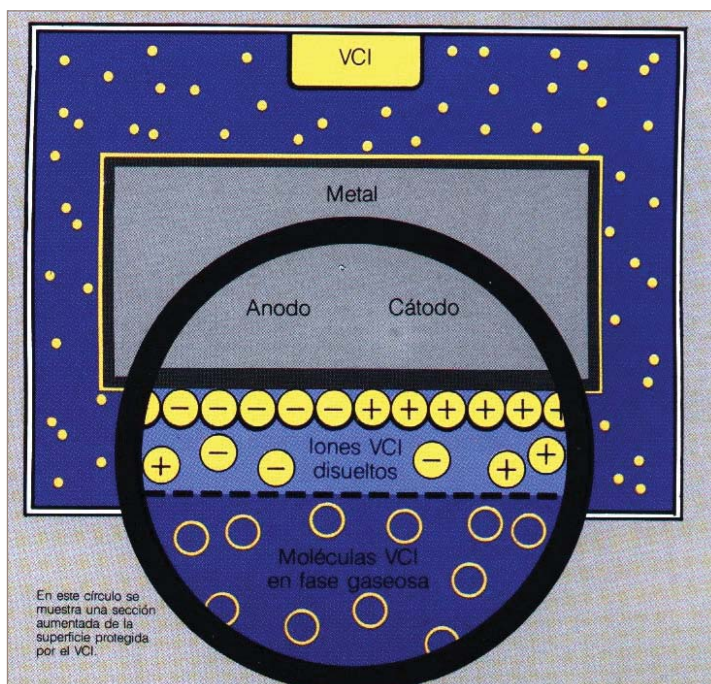
Jesús Orte Crespo. *Director Técnico. Dpto. Químico Quimilock S.A.*

1. Introducción

El presente artículo pretende mostrar el uso de inhibidores de la corrosión migratorios (MCI) de acuerdo con lo estipulado en la EHE-08 con respecto a la durabilidad de las estructuras frente a los procesos de corrosión por cloruros.

El Capítulo VII: Durabilidad de la norma, establece que la durabilidad de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural.

■ *Figura 1. Esquema que muestra de un modo gráfico el mecanismo de actuación de las moléculas de VCI/MCI sobre la superficie metálica. Se detalla la ordenación a modo de capa monomolecular, en la cual, se disponen cada una de las moléculas de que han condensado sobre la superficie y se han quimiadsorbido.*



Una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura. Para ello, el autor del proyecto deberá diseñar una estrategia de durabilidad que tenga en cuenta las especificaciones de este capítulo.

Alternativamente, para los procesos de corrosión de las armaduras, se podrá optar por comprobar el estado límite de durabilidad según lo indicado en el apartado 1 del Anejo nº 9.

En este aspecto, como veremos más adelante, existe la necesidad de evaluar, dentro de los parámetros que precisamos para comprobar el estado límite, las capacidades anticorrosivas de los materiales que ayudan a conseguir la durabilidad requerida.

2. Descripción general de la tecnología MCI/VCI

El inhibidor de corrosión migratorio, del que versa el presente artículo, es la denominación utilizada en el hormigón armado de un tipo de grupo de inhibidores más grande llamados inhibidores de corrosión en fase vapor, VCI.

El sistema de protección de este tipo de productos es bastante sencillo, existe un dispositivo portador del VCI que desprende un vapor dentro de un espacio concreto dónde se encuentra el metal a proteger, este vapor se deposita sobre la superficie metálica adsorbiéndose sobre la misma y formando una capa monomolecular sobre las áreas anódica y catódica, esta capa limita el acceso de cualquier atacante externo, aumentando la concentración crítica de despasivante necesaria para que surja la corrosión.

Este tipo de inhibidores de la corrosión son usados en numerosos campos, utilizando para ellos diferentes portadores, buscando siempre la mejor adaptación posible para que sea su uso más sencillo; existen papeles y plásticos de embalaje, fluidos de corte, aditivos para el agua, aceites, cápsulas para cuadros eléctricos, etc.

3. Inhibidores de corrosión migratorios

Los Inhibidores de corrosión migratorios son productos generalmente basados en la química del aminocarboxilato y del aminoalcohol, estos inhibidores de corrosión mixtos (impiden la reacción en el ánodo y en el cátodo) bajo condiciones normales presentan una fase vapor que es controlada por la estructura del compuesto y el carácter de la cadena de átomos de la molécula. El vapor protector se expande dentro la estructura porosa del hormigón hasta que el equilibrio determinado por su presión vapor es alcanzado. En ese momento condensa dando lugar a una reacción de adsorción sobre la armadura que impide los procesos de corrosión (esta presión de vapor oscila entre 10-3 a 10-5 mm Hg).

Seguidamente se expone un pequeño resumen que diferencia de forma básica ambas formulaciones.

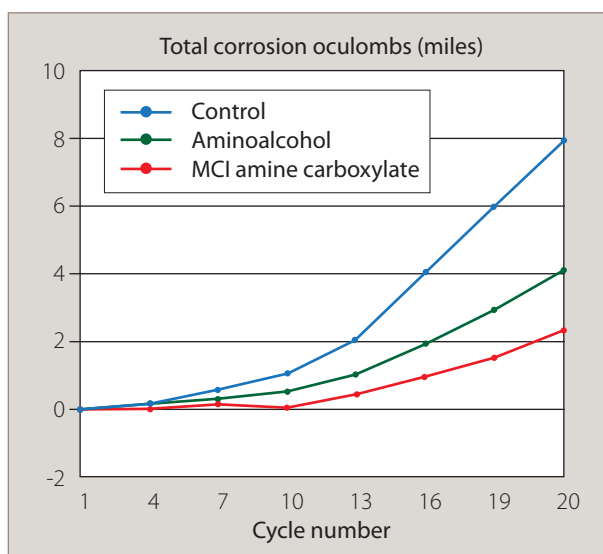
3.1 Inhibidores de corrosión basados en aminoalcoholes

Este tipo de inhibidores migratorios son los inicialmente desarrollados por la industria, tienen una carga parcial + y otra - dentro de la propia molécula que hace que sea atraída por el acero, aunque la carga de la molécula es cero. Estas cargas parciales son atraídas por el cátodo y el ánodo lo que hace que reduzcan la corrosión.

3.2 Inhibidores de corrosión basados en aminocarboxilatos

Este tipo de inhibidores migratorios son el desarrollo químico conseguido para mejorar las deficiencias que presentaban los anteriores. Al igual que los aminoalcoholes, tienen cargas parciales + y -, pero a diferencia del anterior caso parte de las moléculas reaccionan con el hormigón sellando los poros y evitando el futuro ingreso de atacantes externos. Al mismo

■ **Figura 2. Gráfica comparativa del poder de inhibición de la corrosión de diferentes tipos de inhibidores frente a un control.**



tiempo las moléculas libres N^+ y COO^- se ven atraídas por las áreas catódicas y anódicas del acero. Debido a que estas cargas son reales, la afinidad por el acero es mayor que en el caso anterior de moléculas parcialmente cargadas. Ésta es una de las razones por la que este tipo de inhibidores proporcionan una mejor reducción de la corrosión que los aminoalcoholes.

4. Métodos de aplicación de los inhibidores de corrosión migratorios

Los inhibidores de corrosión presentan dos sistemas para ser usados en las estructuras.

4.1 En el amasado

El uso más habitual es como aditivo dentro de la mezcla del hormigón, en cuyo caso simplemente hay que seleccionar el más adecuado para la durabilidad que buscamos y el medio que mejor nos solucione el problema. El inhibidor puede introducirse en forma de polvo o de líquido.



Este tipo de productos están testados adecuadamente y no interfieren en las propiedades del hormigón.

En el caso de usar inhibidores de corrosión líquidos, basados en aminoalcoholes suele ser necesario verificar la relación agua/cemento, ya que precisan mayor cantidad de producto que uno basado en aminocarboxilatos.

4.2 El uso de inhibidores de la corrosión migratorios aplicados sobre la superficie

Una de las principales características de estos sistemas es que podemos también actuar sobre aquellas estructuras donde necesitemos una actuación a posteriori, en este caso mediante el uso de productos de aplicación en superficie.

Esta aplicación se realiza directamente por pulverización con brocha o con rodillo sobre el hormigón. El compuesto orgánico migra a través de la estructura porosa endurecida por los siguientes fenómenos:

■ **Figura 3. Momentos de la aplicación de un inhibidor de corrosión migratorio en superficie.**



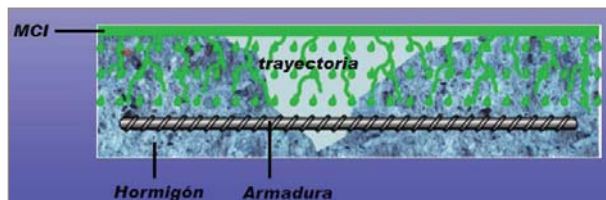
Acción capilar

El líquido penetra dentro del hormigón por presión osmótica y acción capilar.



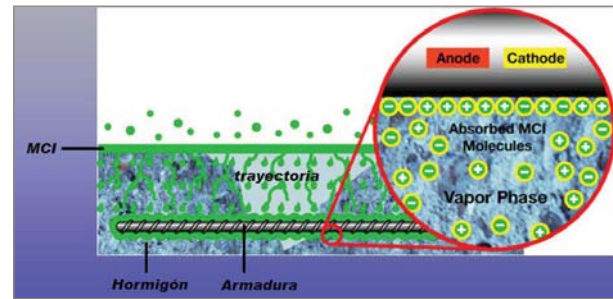
Difusión vapor

El vapor se mueve a través del hormigón debido a gradientes de concentración.



Atracción iónica

Los iones viajan a través del hormigón atraídos por las áreas anódicas y catódicas de la armadura metálica debido a sus cargas "+" y "-".



Una vez que el MCI llega a la armadura el producto forma una capa monomolecular debido a que:

- Las sales iónicas se separan en iones:
 - Reaccionan o enlazan con la superficie del metal.
 - Se establece una adsorción física.

El resultado es una reducción drástica de la corrosión por:

- Cambio de potencial en las áreas anódicas y catódicas:
 - Formación de capa hidrofóbica que impide la penetración de iones que causan la corrosión.
 - El nitrógeno presente en las moléculas de MCI forma un tenaz enlace sobre la armadura.

Los inhibidores de corrosión de este tipo disponen de sistemas de control de la aplicación que permiten verificar la correcta protección de la estructura.

5. Los inhibidores de corrosión migratorios aplicados a la EHE-08

La norma EHE-08 establece la necesidad de incluir desde el proyecto las medidas necesarias para que la estructura nos garantice la vida útil acorde a la situación y a la funcionalidad de la misma.

La estrategia de durabilidad incluye los siguientes aspectos:

- Selección de formas estructurales adecuadas.
- Consecución de una calidad adecuada del hormigón, especialmente en la capa exterior.
- Adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras.
- Control del valor máximo de abertura de fisura.
- Disposición de protecciones superficiales en el caso de ambientes especialmente agresivos.
- Adopción de medidas de protección de las armaduras frente a la corrosión. (Dentro de las cuales en el punto 37.2.7 figuran los aditivos inhibidores de la corrosión).

La norma recoge en este mismo capítulo la posibilidad de usar para garantizar el Estado de Durabilidad sistemas que compensen el no cumplir en su totalidad las especificaciones relativas durante la ejecución o la posibilidad de disminuir recubrimientos en las clases generales III y IV a los de la clase IIb mediante el uso de medidas especiales frente a corrosión en las armaduras.

Todo esto hace totalmente necesario evaluar adecuadamente las herramientas reales de protección anticorrosiva con las que contamos, con el fin de, haciendo uso del Anejo 9 de la norma, calcular si la aditivación de inhibidores de la corrosión puede garantizar la vida de la estructura de hormigón armado.

Para el cálculo de la vida útil en ambientes con presencia de cloruros la norma incluye diferentes variables que, incluidas en las fórmulas de cálculo del Anejo nº 9 mediante un sistema de carácter semiprobabilístico, nos permiten calcular el tiempo de vida de la estructura. Ésta es la suma del tiempo correspondiente al periodo de iniciación (que es aquel que necesita el ion cloruro para atravesar el recubrimiento y alcanzar la concentración crítica (0,6% en peso de cemento para hormigón armado)) y el de propagación (aquel que pasa desde que se alcanza la concentración crítica hasta que la velocidad con la que se desarrolla la corrosión produce el daño en la estructura).

En el cálculo del primer tiempo, el de iniciación, intervienen parámetros relativos al ambiente y al recubrimiento y a la calidad propia del hormigón usado.

- Coeficiente de difusión efectivo de cloruros, para la edad t , expresado en cm^2/s
- Concentración crítica de cloruros, expresada en % en peso de cemento.
- Concentración de cloruros en la superficie del hormigón, expresada en % en peso de cemento.
- Contenido de cloruros aportado por las materias primas (áridos, cemento, agua, etc.), en el momento de fabricación del hormigón.
- Profundidad, en mm.

En este caso el parámetro que podemos variar con el uso de un inhibidor de la corrosión migratorio es la concentración crítica de cloruros, que es la cual a la que comienza a producirse la corrosión. Este valor deberá ser superior al valor crítico del hormigón normal.

En el cálculo del segundo tiempo, el correspondiente a la propagación, intervienen parámetros relacionados con el ambiente y del hormigón, así y como de la armadura, estos son:

- Espesor de recubrimiento en mm.
- Diámetro de la armadura, en mm.
- Velocidad de corrosión, en $\mu\text{m}/\text{año}$.

En esta ocasión el parámetro que podemos variar es la velocidad de corrosión, ya que el uso de inhibidores de corrosión migratorios mixtos permite disminuir la velocidad de corrosión una vez ésta se encuentra iniciada.

En la Tabla 1 exponemos los resultados obtenidos a tal efecto con varios tipos de inhibidores de corrosión.

Se obtienen diferentes parámetros en función del tipo de producto base (aminocarboxilato o aminoalcohol), del modo de aplicación, (en superficie o en amasado) e incluso dependiendo de la formulación de la misma base química.

Hemos incluido en este estudio el caso de morteros de reparación, en este caso es necesario, además, conocer el coeficiente de difusión del mismo para establecer el estado límite.

6. Conclusiones

La norma EHE-08 establece la necesidad de incluir desde el proyecto las medidas necesarias para que la estructura nos garantice la vida útil acorde a la situación y a la funcionalidad de la misma e indica varios sistemas de protección anticorrosiva para el estudio del estado límite.

Entre estos sistemas de protección se encuentra el uso de inhibidores de la corrosión, de los cuales es evidente la necesidad de hacer un uso correcto de los mismos. No se debe realizar una selección sin disponer de los parámetros indicativos de su capacidad anticorrosiva precisos para incluirlos en el estudio de durabilidad.

En el presente artículo se han presentado estos parámetros para diferentes tipos de inhibidores de la corrosión migratorios en sus diferentes vertientes de aplicación, en amasado y por aplicación en superficie, y también por base química, observándose diferencias que deben de ser conocidas antes de emprender el uso de unos u otros sistemas de aplicación o base química de producto.

■ **Tabla 1. Ensayo integral acelerado de corrosión por penetración de cloruros realizado por el CISDEM.**

Tipo de inhibidor	Concentración crítica de cloruros (% en peso)	% de mejora en la concentración crítica de cloruros*	Velocidad de corrosión (% de mejora)
Control	0,6	0	0
Aminocarboxilato Amasado 1	0,95	54,54	82,83
Aminocarboxilato amasado 2	1,01	68,18	32,55
Aminocarboxilato Superficie	1,03	72,72	46,31
Aminoalcohol Superficie	0,84	40,91	34,46
Mortero reparación control	0,6	0	0
Mortero reparación con aminocarboxilato	1,06	83,33	86,73

*% de concentración en peso de cemento, los valores aportados se basan en los valores para el cálculo de la durabilidad indicados en la EHE-08