

# El Concreto en la Práctica

## ¿Qué, Por qué y cómo?



## CIP 25 - Corrosión del acero en el concreto



### ¿QUÉ es la corrosión del acero?

La terminología de la ASTM (G15) define la corrosión como “la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y de sus propiedades”. Para el acero embebido en el concreto (*hormigón*), la corrosión da como resultado la formación de óxido que tiene 2 a 4 veces el volumen del acero original y la pérdida de sus óptimas propiedades mecánicas. La corrosión produce además descascaramiento y vacíos en la superficie del acero de refuerzo, reduciendo la capacidad resistente como resultado de la reducción de la sección transversal.

### ¿POR QUÉ la corrosión del acero es una preocupación?

El concreto reforzado utiliza acero para aportarle las propiedades de resistencia a la tracción que son necesarias en el concreto estructural. Esto evita la falla de las estructuras de concreto que están sujetas a esfuerzos de tensión y flexión debido al tráfico, los vientos, las cargas muertas y los ciclos térmicos. Sin embargo, cuando el refuerzo se corroe, la formación de óxido conduce a la pérdida de adherencia entre el acero y el concreto y la subsecuente delaminación y exfoliación. Si esto se ha dejado sin revisar, la integridad de la estructura puede verse afectada. La reducción del área de sección transversal del acero reduce su capacidad resistente. Esto es especialmente dañino en el desempeño de los cables de alto límite elástico en el concreto pretensado.

### ¿POR QUÉ se corroe el acero en el concreto?

El acero en el concreto se encuentra usualmente en condición pasiva, no corroído. Sin embargo, el concreto reforzado con acero es frecuentemente utilizado en ambientes severos donde está presente el agua de mar o las sales de deshielo. Cuando los cloruros se mueven dentro del concreto, provocan la ruptura de la capa pasiva de protección del acero, causando que éste se oxide y se delamine.

La carbonatación del concreto es otra causa de la corrosión del acero. Cuando el concreto se carbonata hasta el nivel de la barra de acero, el ambiente normalmente alcalino que protege el acero de la corrosión, es reemplazado por un ambiente más neutral. Bajo estas condiciones el acero no permanece pasivo y comienza una corrosión rápida. El ritmo de corrosión debido al recubrimiento de concreto carbonatado es más lento que la corrosión inducida por cloruros.

Ocasionalmente, la falta de oxígeno que rodea la barra de acero causará que el metal se disuelva, conduciendo a un líquido de pH bajo.

### ¿CÓMO prevenir la corrosión?

#### Control de Calidad - Prácticas del Concreto

La primera defensa contra la corrosión del acero en el concreto es la calidad del concreto y un recubrimiento suficiente alrededor de las barras de refuerzo. El concreto de calidad tiene una relación agua/material cementante (A/C) que es lo suficientemente baja para disminuir la penetración de las sales de cloruro y el desarrollo de la carbonatación. La relación A/C debe ser menor de 0.5 para reducir el ritmo de carbonatación y menor de 0.4 para minimizar la penetración de los cloruros. Los concretos con bajas relaciones A/C pueden ser producidos mediante:

1. El incremento del contenido de cemento
2. La reducción del contenido de agua utilizando aditivos reductores de agua y superplastificantes, o
3. El uso de mayores cantidades de cenizas volantes, escorias u otros materiales cementantes.

Adicionalmente deberá limitarse el empleo de ingredientes del concreto que contengan cloruros. El Código de la Edificación ACI 318 establece límites sobre el contenido máximo de cloruros solubles en la mezcla de concreto.

Otro ingrediente para la buena calidad del concreto es el aire incorporado. Es necesario proteger al concreto de los daños por ciclos de hielo y deshielo. El aire incorporado reduce también la exudación (*sangrado*) y el incremento de la permeabilidad debido a los canales del agua de exudación. El descascamiento de la superficie del concreto puede acelerar los daños por corrosión de las barras de refuerzo embebidas. Una planificación apropiada de las operaciones de acabado es necesaria para asegurar que el concreto no se descascare, o se fisure excesivamente.

Una correcta cantidad de acero ayudará a mantener una fisuración escasa. El manual de ACI 224 ayuda al ingeniero diseñador a minimizar la formación de grietas que podrían ser dañinas para el acero embebido. En general, el ancho máximo de fisura permisible es de 0.2 mm en un ambiente con sales de deshielo y de 0.15 mm en un ambiente marino.

Un adecuado recubrimiento del acero de refuerzo es también un factor importante. La penetración de cloruros y la carbonatación ocurrirán, inclusive, en la superficie exterior de los concretos de baja permeabilidad. Si se incrementa el recubrimiento se demorará el comienzo de la corrosión. Por ejemplo, el tiempo necesario para que los iones cloruro alcancen una barra de acero a 5 cm (2 pulgadas) de la superficie es 4 veces el tiempo necesario para un recubrimiento de 2.54 cm. (1 pulgada). El manual ACI 318 recomienda un mínimo de 1 ½ pulgadas (aprox. 4 cm) de recubrimiento para la mayoría de las estructuras y lo incrementa a 2 pulgadas (aprox. 5 cm) de recubrimiento para la protección contra las sales de deshielo. El manual ACI 357 recomienda 2½ pulgadas (aprox. 6 cm) de recubrimiento mínimo en ambientes marinos. Si se utilizan agregados más grandes, se requiere un mayor recubrimiento. Para agregados mayores de ¾" (20 mm), una regla sencilla es añadirle al tamaño máximo nominal del agregado, la magnitud de ¾" adicionales de recubrimiento para la exposición a sales de deshielo, o de 1¾" (45 mm) de recubrimiento para la exposición a ambiente marino. Por ejemplo un concreto con tamaño de agregado de 1" en exposición marina deberá tener un recubrimiento mínimo de 2¾".

El concreto debe estar adecuadamente compactado y curado. Se necesita un curado húmedo mínimo de 7 días a 21°C para el concreto con relación A/C de 0.4, mientras que serían necesarios 6 meses para uno de relación A/C de 0.6 para obtener un desempeño equivalente. Numerosos estudios muestran que la porosidad del concreto se reduce significativamente con el incremento del tiempo de curado y por ende se mejora la resistencia a la corrosión.

## Concretos modificados y sistemas de protección contra la corrosión

Se puede lograr una mayor resistencia a la corrosión mediante la utilización de aditivos para el concreto. La microsilice (*humo de sílice*), las cenizas volantes y las escorias de alto horno, reducen la permeabilidad del concreto a la penetración de los iones cloruro. Los inhibidores de la corrosión, tales como el nitrato de calcio, actúan para prevenir la corrosión en presencia de los iones cloruro. En todos los casos estos se añaden a un concreto de calidad con relación A/C menor o igual a 0.45.

Los repelentes al agua (*hidrófugos*) pueden reducir el ingreso de humedad y de cloruros en una cantidad notable. Sin embargo el manual ACI 222 indica que no son efectivos para lograr una protección a largo plazo. Partiendo de que un concreto de buena calidad ya posee una baja permeabilidad, los beneficios adicionales de los repelentes de agua no son tan significativos.

Otras técnicas de protección incluyen las membranas protectoras, la protección catódica, las barras de refuerzo recubiertas con resinas epóxicas y los selladores para concreto (si son reaplicados cada 4 ó 5 años).

---

### Referencias

1. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete". ACI 318, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mi.
  2. "Corrosion of Metals in Concrete", American Concrete Institute. Farmington Hills, MI.
  3. "Control of Cracking in Concrete Structures", ACI 224R. American Concrete Institute. Farmington Hills, MI.
  4. "Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures", ACI 375 R, American Concrete Institute. Farmington Hills, MI.
  5. Perenchio. W.F., "Corrosion of Reinforced Steel", ASTM STP 169C, 1994, pp. 164-172
  6. Whiting D., ed, Paul Klieger *Symposium on Performance of Concrete*, ACI SP-122, 1990, 499 p
  7. Berke, N.S., "Corrosion Inhibitors in Concrete", *Concrete International*. Vol. 13, No. 7, 1991, pp. 24-27
  8. Berke, N.S., Pfeifer D.W., and Weil T.G., "Protection Against Chloride Induced Corrosion" *Concrete International*, Vol. 10, No. 12, 1988, pp. 44-55
- 

### Cómo limitar la corrosión

1. Utilice un concreto de buena calidad con aire incorporado y con relación A/C de 0.4 o menor
2. Utilice un recubrimiento mínimo de hormigón de 4 cm y como mínimo 2 cm mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
3. Incremente el recubrimiento mínimo a 2" (5 cm) para la exposición a sales de deshielo y a 2 ½" para la exposición en ambiente marino
4. Asegúrese que el concreto es curado adecuadamente
5. Utilice cenizas volantes, escorias de altos hornos o microsilice y/o un inhibidor de corrosión probado.



Información Técnica preparada por la National Ready Mixed Concrete Association, 900 Spring St., Silver Spring, MD 20910. [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org). Si existen dudas sobre la terminología utilizada en el presente documento, está disponible un glosario de términos en nuestra página web [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org) para su consulta. © National Ready Mixed Concrete Association. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida de cualquier forma, incluyendo el fotocopiado u otro medio electrónico, sin el permiso por escrito de la National Ready Mixed Concrete Association.

Traducción en convenio con la



Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado