

CORROSIÓN DEL ACERO EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO: VIGAS Y COLUMNAS

Josué Paredes ⁽¹⁾, Juan Prieto ⁽²⁾, Ing. Eduardo Santos ⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
ejparede@espol.edu.ec ⁽¹⁾, jjprieto@espol.edu.ec ⁽²⁾, esantos@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

Mediante este trabajo se pretende establecer las causas por las que se produce la corrosión en las varillas de refuerzo en elementos de hormigón armado enfocándonos específicamente en la corrosión por carbonatación del hormigón, la corrosión por acción de cloruros y en los factores acelerantes de la corrosión; además, se fijarán los puntos plausibles de análisis que permitan identificar los efectos de la corrosión en el hormigón, en el acero y en el sistema de hormigón armado y los diferentes problemas que pueden producirse en los siguientes elementos de hormigón armado: vigas y columnas. Por último, una vez identificados estos problemas, se desea precisar algunas soluciones para prevenir o mitigar los daños que puedan surgir en una estructura, entre estas posibles soluciones tenemos la reparación de las estructuras de hormigón armado deterioradas por la corrosión, los diferentes métodos electroquímicos de rehabilitación y los inhibidores de la corrosión.

Palabras Claves: Corrosión, Carbonatación, Iones de Cloruro, Protección Catódica, Inhibidores

Abstract

This work is intended to establish the causes by which there is corrosion on the rods of reinforcement in reinforced concrete elements focusing specifically on the corrosion by carbonation of concrete, corrosion by chlorides and action on the accelerants factors of corrosion; In addition, plausible reparse points that identify the effects of corrosion in concrete, steel and the system of reinforced concrete and the various problems that can occur in the following elements of reinforced concrete shall be fixed: beams and columns. Finally, once identified these problems, you want to specify some solutions to prevent or mitigate damages that may arise in a structure, among these possible solutions have the repair of reinforced concrete structures damaged by corrosion, different electrochemical methods of rehabilitation and corrosion inhibitors.

Keywords: Corrosion, Carbonation, Chloride Ions, Cathodic Protection, Inhibitors

1. Introducción

La corrosión en los metales es uno de los procesos químicos que más ha repercutido de forma negativa en la industria del último siglo. Se estima que el costo que genera el daño de materiales por corrosión asciende en los países desarrollados a aproximadamente el 3.5 % del PIB (Producto Interno Bruto). De esta cantidad, el 20% podría ser ahorrado de aprovechar al máximo las tecnologías y cuidados existentes para mitigar este proceso químico.

Del total de daños por corrosión en metales en la industria en general, aproximadamente un 18% se produce en la industria de la construcción. El acero es el metal más usado en la construcción de viviendas, edificios, puentes y demás estructuras. Ya sea que se utilicen perfiles estructurales de acero, o varillas de acero de refuerzo en hormigón, la corrosión es un fenómenos crítico, que de no ser debidamente prevenido y controlado, podría ocasionar el colapso

de las estructuras construidas junto a la pérdida de vidas humanas en los casos extremos.

Además, el problema de la corrosión produce la desvalorización de los bienes inmuebles por los agrietamientos y desprendimiento del material que provoca el deterioro estético y funcional de la estructura, aun cuando no se produzca el colapso de la misma.

Cuando un metal se corroe, lo hace con una velocidad que es directamente proporcional a la cantidad de energía que requirió pasar de su estado natural al industrial. Por lo tanto, existen metales como el aluminio y el hierro que son más proclives a la corrosión que otros como la plata y el oro.

2. Corrosión

La corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas. (Físicanet – Corrosión)

La corrosión puede ser mediante una reacción química (óxido-reducción) en la que intervienen la pieza manufacturada, el ambiente y el agua o por medio de una reacción electroquímica.

2.1 Prevención de la corrosión

Para prevenir que exista la posibilidad de que en un futuro la corrosión provoque un deterioro en la estructura de hormigón armado, se debe tomar en cuenta 3 parámetros que son:

- Que el hormigón tenga una estructura de poros adecuada
- Que el recubrimiento tenga el espesor suficiente
- Que el hormigón esté libre de cloruros

A partir de los parámetros anteriores, es importante tener en cuenta:

- Los procesos de difusión de los ataques ya sea por carbonatación o por la presencia de iones de cloruro
- La humedad
- La temperatura

Estos parámetros indicados nos ayudarán de una u otra forma para poder prevenir la corrosión y que ésta no cause daño en la estructura de hormigón armado.

2.2 Corrosión por carbonatación del hormigón

Cuando el CO₂ que es liberado de forma masiva en la atmósfera penetra en el hormigón se produce una reacción entre los hidróxidos de la fase líquida intersticial y los compuestos hidratados del cemento, de tal manera que cuando todo el Ca(OH)₂, Na(OH) y K(OH) presentes en los poros han sido carbonatados, el pH empieza a decrecer, dando como resultado un medio ácido que produce un constante y progresivo efecto corrosivo en el acero.

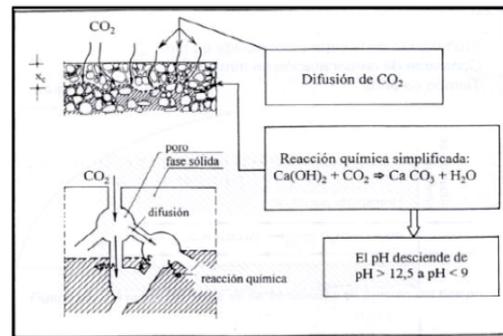


Figura 1. Proceso de carbonatación del hormigón (Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión. Leticia Pérez Méndez.)

2.3 Corrosión por acción de cloruros

Este fenómeno generalmente se produce en las zonas costeras, los iones de cloruros que se encuentran en el ambiente penetran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre al acero y provocando una pequeña zona anódica con relación a la catódica, las condiciones desfavorables de la superficie producen una profunda y acelerada penetración de la corrosión en el acero de refuerzo.

La presencia de cloruros en el concreto puede provenir de sus componentes como en el cemento, agua, agregados, aditivos o también en el ambiente.

El componente del cemento que reacciona con los iones de cloruro es el Aluminato tricálcico (C₃A), formando Cloro aluminato cálcico lo cual provoca la disminución del pH provocando el medio ácido que genera la corrosión.

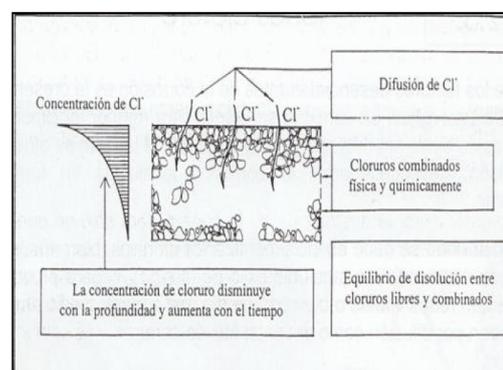


Figura 2. Fenómeno electroquímico de la corrosión por iones de cloruro (Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión. Leticia Pérez Méndez)

3. Principales problemas presentados en las estructuras por corrosión

La corrosión es una de las causas más comunes de deterioro de las estructuras de hormigón armado, esta puede afectar al acero (por reducción de su sección y propiedades mecánicas), al hormigón (por su fisuración) y a la sección en conjunto acero-hormigón (por pérdida de adherencia).

3.1 Efectos en el hormigón

Debido a la formación de productos derivados durante el proceso de corrosión de armaduras dentro de un elemento estructural, ocurre un fenómeno de expansión volumétrica, esta expansión a su vez provoca tensiones radiales que generan esfuerzos de tracción al hormigón. Cuando la generación de estos productos de corrosión es excedida por la capacidad de migración de los mismos a través de los poros del hormigón, en algún punto los esfuerzos de tracción del hormigón son superados por los esfuerzos de tracción producidos por los productos derivados de la corrosión. Esto provoca fisuración y desprendimiento del recubrimiento.

Cuando se trata de un elemento sometido principalmente a compresión (por ejemplo, las columnas) y se llega a desprender el hormigón, la consecuencia es la pérdida de sección resistente, lo cual disminuye la rigidez del elemento.

Cuando se trata de un elemento sometido principalmente a flexión, como las vigas, se produce la pérdida de resistencia a la compresión del hormigón circundante a la armadura corroída, lo cual disminuye la ductilidad y aumenta la presencia de grietas.



Figura 3. Efectos en el hormigón

3.2 Efectos en el acero

La reducción de la sección transversal de la armadura de refuerzo es el efecto más inmediato de la corrosión, debido a la disolución del metal en las zonas anódicas. Esto implica la pérdida de capacidad resistente de forma progresiva y afecta la seguridad y la funcionalidad de la estructura. La corrosión puede producirse de manera uniforme a lo ancho de sección de la armadura, en estos casos la pérdida de resistencia es aproximadamente proporcional a la pérdida de sección. Distinto caso supone la presencia de picaduras, las cuales suponen una concentración de esfuerzos de tensión triaxiales que producen un comportamiento mecánico frágil en el material. (Tesis doctoral Esther Moreno)

Bajo la acción de cloruros se produce una corrosión localizada o corrosión por picaduras, que reducen asimétricamente la sección transversal. Bajo la acción de carbonatación la penetración de ataque y la reducción de la sección de las armaduras de acero son homogéneas.

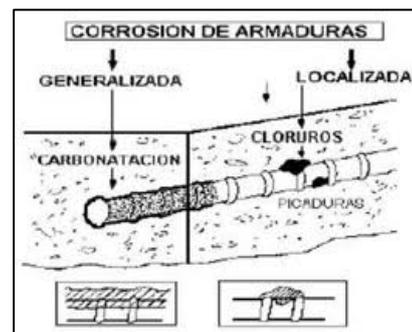


Figura 4. Efectos en el acero

3.3 Efectos en el sistema Hormigón Armado

Una de las características que permiten que el acero y el hormigón trabajen conjuntamente es la adherencia junto con el anclaje entre ambos, durante el proceso de corrosión aparecen productos que quedan expuestos al contacto con el hormigón, por lo tanto, la naturaleza de la frontera entre el acero y hormigón es variable, y se pierde la adherencia con el acero.

Al incrementarse las tensiones radiales ejercidas por los productos de la corrosión, se producen en mayor medida las fisuras en el hormigón. A niveles pequeños de corrosión se aumenta la adherencia entre el acero y el hormigón, pero con niveles de corrosión que producen las primeras fisuras, la adherencia entre ambos materiales disminuye súbitamente

Una varilla corroída, presenta mayores afectaciones, como es lógico, en la corruga que en la sección en sí. En barras de refuerzo en las que se ha perdido el 3% de sección transversal, puede haberse perdido hasta un 20% de la corruga, lo cual perjudica el acunamiento entre el acero y el hormigón



Figura 5. Efectos en el sistema Hormigón Armado

4. Soluciones al problema de la corrosión

Debido a los daños que ocurren en las estructuras de hormigón armado a causa de la corrosión y la pérdida económica que este fenómeno químico genera, se han realizado investigaciones durante varios años que nos han dado como resultado algunas soluciones para evitar que la corrosión sea un mal para el ámbito de la construcción y así lograr que las estructuras de hormigón armado sean confiables, duraderas y logren un mayor tiempo de durabilidad y una resistencia que no disminuya a causa de este fenómeno

4.1. Reparación de estructuras de hormigón armado deterioradas por la corrosión

Una vez que se ha detectado mediante análisis o a simple vista que una estructura de hormigón armado ha sufrido un daño a causa de la corrosión, inmediatamente se debería reparar la estructura para así evitar que la corrosión aumente el daño producido y por ende un daño irreparable en la estructura, para esto existen algunos métodos:

- Eliminación del hormigón deteriorado: si se observa que existen síntomas de corrosión como mancha de óxidos o fisuraciones en el acero de la estructura, se debe eliminar todo el hormigón de esas zonas.
- Restauración de la capacidad resistente de las armaduras: si las pérdidas de sección que

existen en el acero son menores al 15% no es necesario restaurar la capacidad nominal del acero ya que con ese porcentaje no existen problemas estructurales, pero si las pérdidas pasan el 15% se deberá recalcular la estructura o restaurar la capacidad inicial del acero.

- Colocación de un nuevo material de reparación: pueden ser con materiales de base orgánica, materiales de base inorgánica o materiales de base mixta
- Aplicación de un tratamiento superficial: pueden ser pinturas y sellantes, hidrófugos o impregnantes, obturadores de poros

4.2. Métodos electroquímicos de rehabilitación

Los procedimientos más utilizados para la rehabilitación de EHA mediante métodos electroquímicos se basan en la polarización catódica del acero y son:

- Protección catódica (PC).
- Extracción electroquímica de cloruros (EEC)
- La realcalinización electroquímica (RAE)

Tabla 1. Características de los tratamientos de rehabilitación electroquímica. (Tesis Doctoral Esther Moreno)

	RAE	EEC	PC
Objetivo de la protección	Pasivar el acero	Pasivar el acero Extraer cloruros	Actuar sobre el potencial
Duración de la polarización	Temporal (3-24 días)	Temporal (6-10 semanas)	Permanente
Densidad de corriente sobre la superficie del hormigón	0,8-2 A/m ²	0,8-2 A/m ²	3-20 A/m ²

La protección catódica es uno de los métodos electroquímicos que más se utiliza para evitar que exista corrosión en las estructuras, puede ser por ánodo de sacrificio el cual consiste en utilizar un elemento con una electronegatividad menor el cual actuará como ánodo mientras que el elemento a proteger actuará como cátodo produciendo así que el flujo de electrones vaya de cátodo a ánodo haciendo que el ánodo de sacrificio sufra el proceso de corrosión, otra forma de protección catódica es por corriente impresa el cual consiste en proporcionar corriente continua, el terminal positivo de la fuente debe conectarse a un ánodo auxiliar, mientras que el negativo se conecta a la armadura a proteger produciendo así que el elemento a proteger actúe como cátodo y así evitar la corrosión.

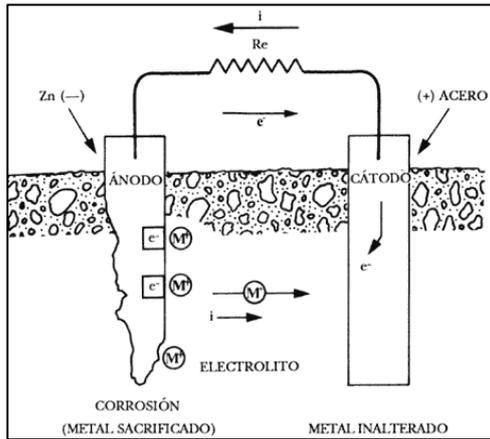


Figura 6. Protección catódica con ánodo de sacrificio (Artículo: Protección catódica con ánodos galvánicos)

4.3. Inhibidores de corrosión

Los aditivos inhibidores de la corrosión son sustancias químicas que, añadidas al agua de amasado, mantienen pasivo al acero de las armaduras en presencia de los factores agresivos, por lo que pueden resultar eficaces para prevenir el efecto de la carbonatación o de los iones cloruro en las estructuras de hormigón armado, la acción de los inhibidores no es definitiva, simplemente retrasan el proceso de corrosión.

La aplicación de inhibidores en la protección de estructuras ya construidas se lleva a cabo directamente sobre la superficie del hormigón. El compuesto orgánico migra a través de la estructura porosa endurecida del hormigón llegando a la armadura por fenómenos de acción capilar, difusión de vapor y atracción iónica. Una vez ha alcanzado la armadura, forma una capa debido a un triple efecto: la separación en iones de las sales, reacción y enlace con la superficie del metal y, por último, fijación de la capa por adsorción física. Como consecuencia, se produce una drástica reducción de la corrosión al producirse un cambio de potencial en las áreas anódicas y catódicas, por formación de una capa hidrofóbica que impide la penetración de iones cloruro y desplazando los que puedan estar presentes en la superficie del acero. En estructuras de nueva construcción, la aplicación de este sistema se lleva a cabo mediante la adición de inhibidores directamente durante el amasado del hormigón.

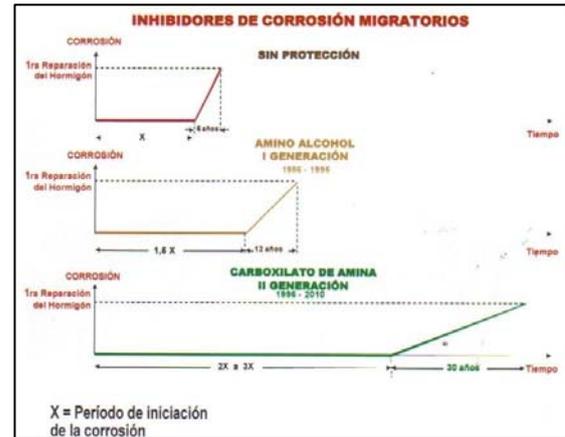


Figura 7. Periodo de iniciación de la corrosión sin protección y con inhibidores de corrosión. (Artículo: Inhibidores de corrosión CODEMET)

Conclusiones

- Existen varios factores que pueden potenciar el proceso de corrosión. En este trabajo se ha analizado el efecto de la variación de la relación agua/cemento y espesor de recubrimiento. A mayor relación agua/cemento, mayor permeabilidad del hormigón, el cual será más proclive ante factores desencadenante de corrosión. A menor espesor de recubrimiento, la agresividad del medio circundante afectará más al hormigón.
- Se han analizado varios factores desencadenantes de la corrosión, especialmente la carbonatación y la acción de iones de cloruro. Respecto a la carbonatación, se estableció que en ambientes con altas concentraciones de CO_2 y con humedades bajas en el ambiente, se acelera el proceso de corrosión. Respecto a la acción de iones de cloruro, se presentan estos casos en ambientes salinos.
- En ambientes con altas concentraciones de CO_2 , en que la humedad sea baja, se produce en el acero un proceso de corrosión que afecta homogéneamente su sección. En ambientes salinos, por otro lado, ante relaciones agua/cemento bajas y recubrimientos mínimos, la acción de los iones de cloruro pueden afectar al acero, principalmente de manera localizada, produciéndose una corrosión de tipo picadura, que afecta heterogéneamente la sección y favorece la concentración de esfuerzos triaxiales en las armaduras.

Recomendaciones

- Si en el hormigón se observa que existen síntomas de corrosión como mancha de óxidos o fisuraciones en el acero de la estructura, se debe eliminar todo el material. Es necesario que esta medida se realice hasta la parte posterior de la armadura dejando libres unos dos centímetros alrededor de la misma con el fin de poder realizar una correcta limpieza, y así eliminar completamente todos los productos de corrosión del acero y permitir que el material de reparación envuelva correctamente las barras.
- El tiempo de iniciación del proceso de corrosión, así como el período de propagación pueden ser aumentados significativamente mediante la utilización de inhibidores de corrosión. Estos pueden aplicarse en el proceso constructivo, o pueden emplearse para retardar el inicio del proceso en estructuras ya construidas.
- Si las pérdidas de sección que existen en el acero son menores al 15% no es necesario restaurar la capacidad nominal del acero ya que con ese porcentaje no existen problemas estructurales, pero si las pérdidas pasan el 15% se deberá recalcular la estructura o restaurar la capacidad inicial del acero

Referencias

- [1] Corrosión de Armaduras en estructuras de hormigón: Estudio experimental de la variación de ductilidad en armaduras corroídas aplicando el criterio de Acero Equivalente. Esther Moreno. Tesis Doctoral
- [2] Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: causas y procedimientos de rehabilitación. Alfonso Cobo Escamilla
- [3] Extracción electroquímica de cloruros del hormigón armado: estudio de diferentes variables que influyen en la eficiencia del tratamiento. María José Sánchez. Tesis Doctoral
- [4] Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado. Pedro Garcés Terradillos, Miguel Ángel Climent Llorca, Emilio Zornoza Gómez
- [5] Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión. Leticia Pérez Méndez. Trabajo de Fin de Máster.