

Método de perfiles de difusión de cloruros para la estimación de la corrosión en ambientes marinos

Method of chloride dissemination profiles for corrosion estimate in marine environments

Modesto Barrios Fontalvo¹, Candelaria Tejada Tovar², Ángel Villabona Ortiz³

¹Esp. en Gerencia de Proyectos de Construcción, Grupo de Investigación IDAB, Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.

²M.Sc. en Ingeniería Ambiental, Docente Asociado, Grupo de Investigación IDAB, Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.

³M.Sc. en Ingeniería Ambiental, Docente Titular, Grupo de Investigación IDAB, Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
Email:cntejadatt@gmail.com

Recibido 09/04/2015
Aceptado 20/11/2015

Cite this article as: M.Barrios, C.Tejada, A.Villabona, "Method of chloride dissemination profiles for corrosion estimate in marine environments", Prospect, Vol 14, N° 1, 23-27, 2016.

RESUMEN

El presente trabajo muestra un procedimiento experimental desarrollado durante 510 días, para lo cual se contó con 4 probetas cilíndricas de dos marcas diferentes de cemento y a dos relaciones de agua-cemento, donde se utilizó el método químico de perfil de cloruros para determinar la corrosión; para ello se determinó la concentración de iones cloruros totales y solubles a partir de las normas ASTM-114 y ASTM C-1218 graficando el porcentaje de cloruros vs distancia radial para calcular el contenido crítico de cloruros y determinar el grado de corrosión en las probetas de hormigón. Para los diferentes tiempos de inmersión de las probetas (180, 360 y 510 días) se encontró que la migración de cloruros tiene una dependencia con la resistencia del concreto.

Palabras clave: Corrosión; Hormigón armado; Cloruros; Perfiles de concentración.

ABSTRACT

This paper presents an experimental procedure carried out in 510 days, for this four cylindrical specimens were made of two different brands of concrete and two water-cement ratio, we used the chemical method of chloride profile to determine corrosion; therefore, the concentration of total and solvable chloride ions was determined according to the ASTM-114 and ASTM C-1218 rules, plotting chloride percentages vs. radial distance to calculate the critical content of chloride and determine the degree of corrosion in the specimens. For different immersion times of the specimens (180, 360 and 510 days), it was found that the migration of chlorides has a dependency on the strength of the concrete.

Key words: Corrosion; Concrete; Chlorides; Concentration profiles.

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de concreto reforzado forman una parte importante de nuestras edificaciones. La combinación de la elevada resistencia a la compresión del concreto y las altas propiedades de tracción del acero da como resultado un material compuesto ideal que ofrece una amplia gama de aplicaciones en la ingeniería estructural. Sin embargo, si estas estructuras están en contacto directo con un medio agresivo como el marino, debe considerarse la carga mecánica, ya que toda la estructura por estar expuesta a dicho ambiente puede verse afectada totalmente su durabilidad. La corrosión del acero de refuerzo en el hormigón surge de la penetración de cloruros, lo cual puede resultar de la exposición de concreto en ambientes marinos o la arena del océano, representan uno de los principales factores que causan el deterioro de estructuras de hormigón armado. Sin embargo este refuerzo de acero está protegido por una película de óxido alcalino formado durante el proceso de hidratación del cemento. Sin embargo, si la concentración de cloruro en la superficie de acero de refuerzo alcanza un valor crítico, la película sobre el metal-estado pasivo se destruye, lo que desencadena la corrosión del acero de refuerzo. Los cloruros en el hormigón provienen de agua de mar, la salinidad de cloruros en el aire, o las sales de deshielo [1, 2].

Existe una demanda frecuente de nuevas propiedades especiales de hormigón con el fin de cumplir con las nuevas exigencias de estas estructuras. La forma más común de satisfacer esta demanda es a través del uso de aditivos que modifican sus características y mejoran algunas propiedades de acuerdo a los requerimientos de la industria de la construcción en constante cambio. En estudio realizado por [3] se encontró que una concentración de cloruro alta en la superficie desarrollará una mayor extensión de la corrosión; este fenómeno se añade al hecho de que los iones producidos en las reacciones de oxidación y reducción migran más fácilmente entre las zonas catódicas y anódicas cuando la porosidad es alta.

El coeficiente de difusión de cloruros a través del hormigón es un parámetro importante relacionado con la durabilidad del hormigón reforzado. Se puede medir con diferentes métodos de ensayo basado en la difusión natural, en el que se coloca una muestra de agua saturada de hormigón en contacto con una solución de cloruro, y después de un tiempo se obtiene un perfil de cloruro [4]. Dada la importancia de la corrosión por acción de iones cloruro, algunos investigadores han desarrollado modelos matemáticos que permiten predecir el fenómeno a un suministro continuo de cloruros como un flujo de masa constante a la superficie de hormigón expuesta. Los investigadores de [5] desarrollaron un modelo empírico basado en flujo constante

para el transporte de cloruro a través del hormigón en condiciones de exposición atmosférico. El modelo se aplica a los perfiles de cloruro experimentales obtenidos a partir de una estructura marina real, y los resultados se comparan con el modelo de error en función clásica. El modelo parece ser apropiado para hormigones bien madurados, expuestos a un ambiente marino en condiciones atmosféricas. En este mismo sentido se encontró otro trabajo relacionado con la medición de la tasa de penetración de estos iones, realizado matemáticamente mediante ajuste de la llamada "ecuación de la función de error" presentando el perfil de concentración de cloruro, obteniendo así el coeficiente de difusión y la concentración de cloruro en la superficie de hormigón. Sin embargo, los perfiles de cloruro no siempre siguen la ley de Fick por tener la concentración máxima en la superficie del hormigón, pero a menudo el perfil muestra una concentración máxima más en el interior, lo que indica una composición y un rendimiento diferente de la capa más externa de hormigón con respecto a las zonas internas [6].

Un método novedoso para la prevención de la corrosión por acción de iones cloruro es utilizar un rociado de pasta de cemento conductivo, añadiendo polvo de grafito, este método es particularmente útil para el tratamiento de superficies verticales como son los soportes estructurales; los resultados indican que este tipo de ánodo proporciona la eliminación electroquímica de cloruros con eficiencia [7].

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño experimental

Se realizó el diseño de experimentos factorial 2k, donde k son los factores de interés, en este caso 2: marca de cemento y resistencia del hormigón (relación agua-cemento); con dos niveles de variación cada uno. Para un total de 4 experimentos. El diseño se aplica para la inmersión en la solución de cloruro de sodio.

2.2 Construcción de perfiles de penetración de cloruros

Se analizó un testigo de cada probeta cilíndrica, y se evaluó la concentración de cloruros a una distancia radial de 0,5 cm, 1cm y 2cm del borde hacia el centro, obteniendo perfiles de concentración de cloruros vs distancia en cm.

Para predecir el tiempo de inicio del proceso de corrosión en las armaduras, se construyeron perfiles de porcentajes de cloruros vs tiempo, se analizó testigos tomados de las probetas de hormigón a los siguientes tiempos de inmersión en la soluciones salinas: 180, 360 y 510 días.

Se obtuvieron muestras pulverizadas de hormigón por perforación con un taladro KH-ED-006 a diferentes profundidades, para así conseguir el porcentaje de cloruros

por masa del hormigón, teniendo en cuenta el contenido soluble en ácido nítrico.

Mediante la norma ASTM C 1218 se tomó una muestra de 20 g del hormigón, se pulverizó y se pasó por un tamiz de 850 μm hasta homogenizar. Luego se emplearon 10 g de muestra para realizar la determinación: se diluyó la muestra en 75 mL de agua y 25 mL de ácido nítrico diluido. Se agregó 3 gotas del indicador naranja de metilo, se agitó, se cubrió y se dejó en reposo por 1 ó 2 min. Cuando el sobrenadante no cambia color morado se tuvo que agregar más ácido nítrico gota a gota y se agitó hasta obtener un color morado.

La muestra se filtró, se le añadió 2 mL de solución estándar de NaCl 0,05 N y por último se tituló con una solución de AgNO_3 0,05 N. Con estos ensayos se obtuvo el perfil de concentración de cloruros en las probetas de hormigón en función de la profundidad sumergidas en la solución salina. A partir de estos datos se realizaron las gráficas para mostrar la variación de la migración de los iones cloruros, donde se presentó el contenido de cloruros totales y de cloruros solubles medidos en las muestras de hormigón en función de la profundidad.

Basándonos en los rangos estándares existentes en la actualidad para definir el valor de la concentración crítica de iones cloruros totales y solubles, es posible evaluar el riesgo de iniciación del fenómeno de la corrosión de la barrade refuerzo del hormigón armado [8], estos rangos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Riesgo de corrosión de la barra de refuerzo con relación a los rangos de concentraciones críticas de iones cloruros totales y solubles [8].

Table 1. Reinforcement bar's corrosion risk of the reinforcement bar with reference to the critical concentration ranges of solvable and total chloride ions [8].

Concentración de iones cloruros(% por peso del cemento)	Riesgo para la iniciación de la corrosión
< 0.4	Insignificante
0.4 - 1.0	Posible
1.0 - 2.0	Probable
> 2.0	Seguro

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cloruros solubles

Se obtuvieron perfiles de concentración para cloruros solubles a 180, 360 y 510 días como se muestra en las figuras 1, 2 y 3.

Figura 1. Perfiles de concentración de cloruros solubles a 180 días.

Figure 1. Concentration profiles 180 days soluble chlorides.

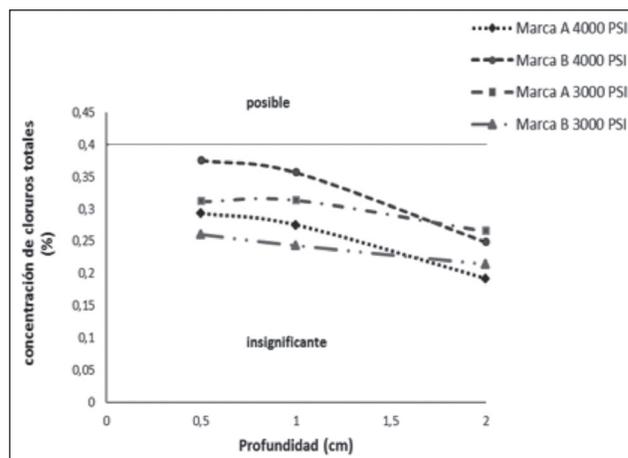


Figura 2. Perfiles de concentración de cloruros solubles a 360 días.

Figure 2. Concentration profiles 360 days soluble chlorides.

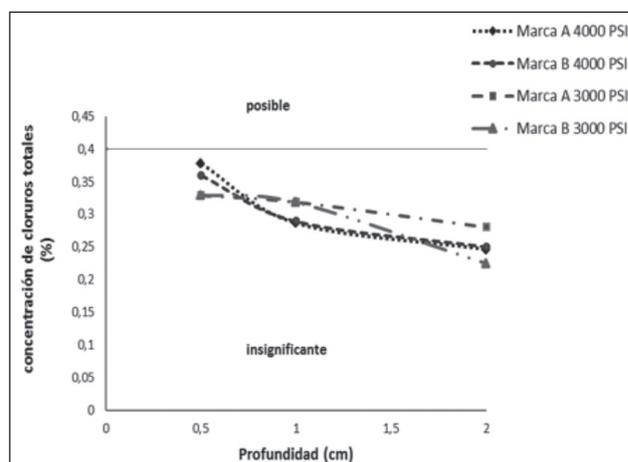
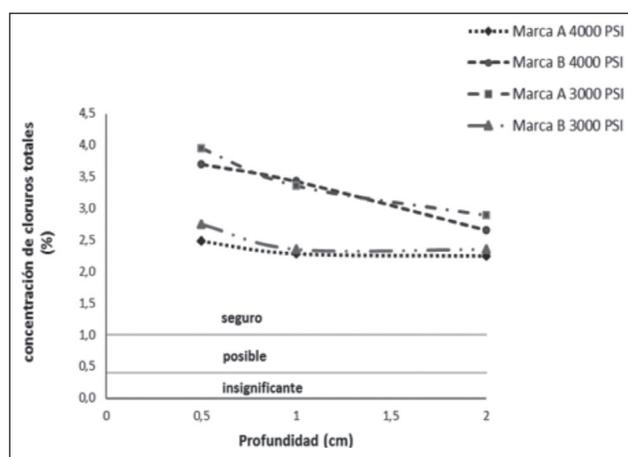


Figura 3. Perfiles de concentración de cloruros solubles a 510 días.

Figure 3. Concentration profiles 510 days soluble chlorides.



Utilizando la clasificación referida en la tabla 2 y según los valores estándares establecidos para determinar el grado de corrosión, en la figura 1 a 180 días la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de corrosión para ambas marcas independientemente de la resistencia es insignificante. En la figura 2 se observa que a 360 días para la probeta de la marca de cemento A, sumergida en la solución de cloruro de sodio el riesgo de que ocurra el fenómeno de corrosión es insignificante. Mientras que en el caso de la marca de cemento B se observa la posibilidad del riesgo de corrosión. A 510 días como se puede observar en la figura 3, el fenómeno de corrosión es seguro para las marcas A y B, siendo la marca B la que mayor presenta tendencia a la corrosión.

3.2 Cloruros totales

Se obtuvieron perfiles de concentración para cloruros totales a 180, 360 y 510 días como se muestra en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4. Perfiles de concentración de cloruros totales a 180 días.

Figure 4. Concentration profiles 180 days total chlorides.

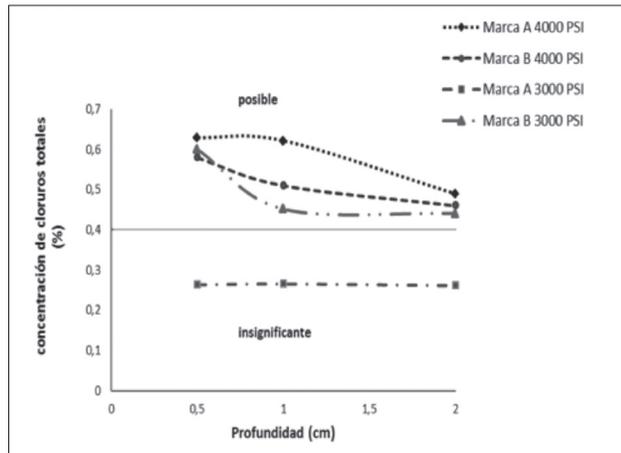


Figura 5. Perfiles de concentración de cloruros totales a 360 días.

Figure 5. Concentration profiles 360 days total chlorides.

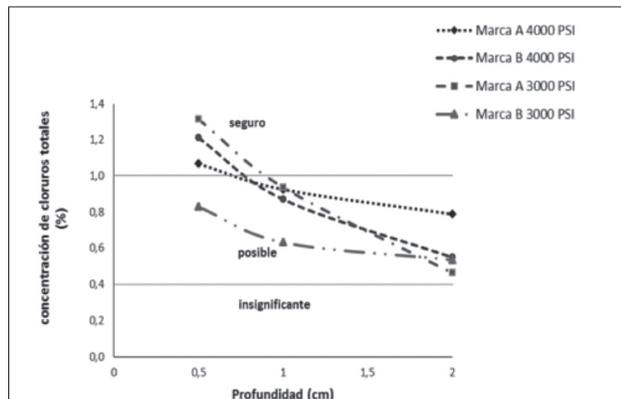
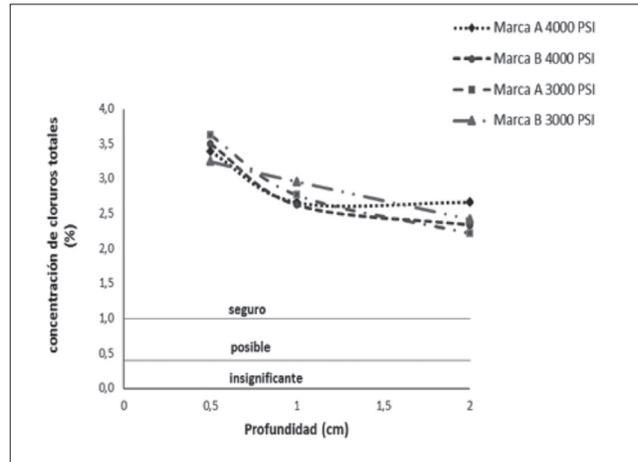


Figura 6. Perfiles de concentración de cloruros totales a 510 días.

Figure 6. Concentration profiles 510 days total chlorides.



Para el análisis de la concentración de cloruros totales, la concentración de cloruros es ligeramente mayor a la concentración en la superficie del hormigón debido a los cloruros presentes en la solución del poro proveniente del mismo cemento.

Utilizando la clasificación referida en la tabla 2 y según los valores estándares establecidos para determinar el grado de corrosión, en la figura 4 pasados 180 días para ambas resistencias, se observa que las concentraciones de iones cloruros totales para la marca A y B, el riesgo de iniciación del fenómeno de corrosión es insignificante. Además, los valores de la concentración a las diferentes profundidades no representan una variación muy grande.

En la figura 5 se observa que a 360 días la concentración de cloruros totales para una resistencia de 4000 PSI se observa que las concentraciones de iones cloruros totales para la marca A y B, el riesgo de iniciación del fenómeno de corrosión es posible a las diferentes profundidades, y para 3000 PSI el fenómeno de corrosión en la marca A es posible en las profundidades de 1 cm y 2 cm, mientras que a 0,5 cm es probable; en el caso de la marca B, el riesgo de presentarse corrosión en la probeta de hormigón es posible en las diferentes profundidades.

A 510 días, en la figura 6 se puede observar que para ambas resistencias (3000 y 4000 PSI) el proceso de la corrosión en las marcas A y B, es seguro en las profundidades de 0,5 cm, 1 cm y 2 cm, siendo la marca B a 4000 PSI la que mayor tendencia a la corrosión presenta; mientras que a 3000 PSI, la marca A es la que mayor tendencia a la corrosión presenta. Por lo que se puede inferir que el tiempo de inicio de la corrosión es de aproximadamente 510 días para una exposición de cloruro de sodio.

4. CONCLUSIONES

- Para los diferentes tiempos de inmersión de las probetas de hormigón (180, 360 y 510 días), se encontró que la migración de cloruros tiene una dependencia a la resistencia del concreto. Es importante resaltar que la concentración de cloruros varía con el tiempo y depende de las condiciones ambientales y de la calidad con que fue diseñado el hormigón.

- Para la industria de la construcción en ambientes marinos, indistintamente se pueden usar los cementos marca A o B, debido a que las diferencias encontradas no se consideran significativas, pero ambas marcas muestran en el corto tiempo una tendencia temprana a la corrosión utilizando el método de perfiles de migración de cloruros, por lo que se recomienda investigar métodos de protección adecuados.

REFERENCIAS

[1] M. Shin-ichi, O. Nobuaki, "Steel Corrosion Induced by Chloride or Carbonation in Mortar with Bending Cracks or Joints", *Journal of Advanced Concrete Technology*, 8 (2), 135-144, 2010.

[2] L. Han-Seung, R. Hwa-Sung, P. Won-Jun Park, I. Mohamed, "Comparative Study on Corrosion Protection of Reinforcing Steel by Using Amino Alcohol and Lithium Nitrite Inhibitors", *Materials*, 8, 251-269, 2015.

[3] P. Garcés; E. Zornoza; E.G. Alcocel; Ó. Galao; L.G. Andión, (2012). Mechanical properties and corrosion of CAC mortars with carbon fibers. *Construction and Building Materials* [on line], 34, 2012, p.91-96. Disponible

desde: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812000979> [Acceso 23 de julio 2015].

[4] G. de Vera, M.A. Climent, C. Antón, I. Sánchez, C. Andrade. Chloride diffusion coefficients through concrete partially submerged and partially exposed to the atmosphere. *International RILEM Workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures*. RILEM Publications SARL. 2013.

[5] G. de Vera, M.A. Climent, E. Viqueira, C. Antón, M.P. López, "Chloride penetration prediction in concrete through an empirical model based on constant flux diffusion", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27 (8) 2015.

[6] C. Andrade, M. A. Climent, G. de Vera, "Procedure for calculating the chloride diffusion coefficient and surface concentration from a profile having a maximum beyond the concrete surface", *Materials and Structures*, 48 (4), 863-869, 2015.

[7] A. Cañón, P. Garcés, M.A. Climent, J. Carmona, E. Zornoza, "Feasibility of electrochemical chloride extraction from structural reinforced concrete using a sprayed conductive graphite powder-cement as anode", *Corrosion Science*, 77, 128-134. 2013.

[8] A. Castañeda; N. Días; E. Gonzáles; M. Martínez; F. Corvo, (2005). Influencia de la penetración de iones cloruros en el hormigón armado a diferentes relaciones agua/cemento y condiciones de Exposición. *Revista CENIC. Ciencias Químicas* [on line], 36, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620511008> [Acceso 23 de julio 2015]