



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN DE CONCRETO REFORZADO EMBEBIDO EN UN SUELO FRICCIONANTE CONTAMINADO CON CLORUROS

G. Santiago-Hurtado¹, F.J. Olgún-Coca², M. A. Baltazar-Zamora¹

¹Facultad de Ingeniería Civil - Xalapa, Universidad Veracruzana,
Circ. G. Aguirre Beltrán S/N, Lomas del Estadio, CP 91000, Xalapa, Veracruz, México,
² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ingeniería y Ciencias Básicas

RESUMEN

El presente trabajo contiene la evaluación del comportamiento electroquímico de especímenes de concreto reforzado, expuesto a una arena contaminada con NaCl. Los especímenes elaborados, cuentan con dos varillas de acero, una de de acero 1018 y otra de acero galvanizado para ser evaluadas electroquímicamente; la dosificación de las mezclas de concreto se hizo con base al método del ACI 211.1. Las mezclas elaboradas se diseñaron para un $f'c=350$ kg/cm², además de ello se emplearon dos tipos de cementos un CPC 30R y un CPC 30R RS. Después de la etapa de curado, los especímenes fueron colocados en la arena contaminada con 0, 1, 2 y 3% de cloruro de sodio para posteriormente ser evaluados. Los resultados presentados corresponden a los primeros 140 días de exposición; la interpretación de los potenciales se realizo de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C-876-09.

Palabras Claves: Concreto, Corrosión, Arena, Acero, Cloruro.

ABSTRACT

This research evaluates the electrochemical behavior of reinforced concrete specimens exposed to tainted sand with NaCl. The specimens made count with two reinforced steel bars. One of them was steel 1018 another galvanized steel to be evaluated electrochemically. The dosage of concrete mixtures was made based on ACI method 211.1. The prepared mixtures were designed for $f'c = 350$ kg/cm². Beyond that were used two types of cements a CPC 30R and CPC 30R RS. After the curing phase the specimens were placed in tainted sand with 0, 1, 2 and 3% Sodium Chloride to be evaluated later. The results presented are related to the first 140 days of exposure. The potential interpretation was performed according to the provisions in ASTM C-876-09.

Key words: Soil, Concrete, Corrosion, Sand, Steel, Chloride.

INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones han demostrado que los daños por corrosión de las armaduras se encuentran dentro de las tres primeras causas de deterioro de las estructuras de concreto. En México no se disponen de cifras que nos den una idea del problema, sin embargo, posee más de diez mil kilómetros de costas y en ellas hay numerosas obras susceptibles de sufrir daños por corrosión [1,2,3]. Las causas externas de carácter no estructural que suelen afectar la durabilidad de una estructura de concreto, son consecuencia principalmente de sus condiciones de exposición y servicio.

Los iones cloruro son la principal causa de la corrosión del acero de refuerzo, dichos iones pueden ser aportados por los componentes de la mezcla de concreto (agregados pétreos, cemento, agua, aditivos), o ya sea porque penetren desde el exterior por estar situado el concreto en un medio marino, o porque provengan de las sales de deshielo. Estos iones pueden causar severos daños a las estructuras de concreto reforzado [4,5,6]. Si bien existe información sobre las medidas preventivas para evitar estos daños, los estudios realizados mayormente se han efectuado a la relación iones cloruro o sulfato (concreto-agua), sin embargo no hay directrices sobre la concentración de cloruro y sulfatos en el suelo y su influencia en la corrosión de las armaduras.

De lo anteriormente mencionado surge la inquietud y la importancia de estudiar el comportamiento electroquímico del acero galvanizado y acero 1018 como acero de refuerzos, empleados en estructuras de concreto reforzado expuestas a un medio marino, presente en gran parte del país ya que como se menciona cuenta con alrededor de 10 mil kilómetros de costas, donde se encuentran cimentadas un gran número de estructuras. Es por ello que en el presente trabajo se estudiara la influencia que tienen los cloruros presentes en un suelo (arena), hacia el concreto reforzado, empleando dos tipos de cemento y dos tipos de acero, para determinar cual presenta el mejor comportamiento en este medio de contacto.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la presente investigación se elaboraron dos mezclas de concreto una con cemento CPC 30R y otra con cemento CPC 30R RS, ambas fueron diseñadas de acuerdo al método del ACI 211.1, para una resistencia a la compresión $f'c=350$ kg/cm², se elaboraron ocho especímenes de concreto reforzado, en cada uno de ellos se embebieron dos varillas, una de acero galvanizado y otra de acero normal (1018) y en el centro de cada uno de ellos se colocó una barra de acero inoxidable la cual funciona como electrodo auxiliar. Los especímenes después de ser evaluados y después de los 28 días de la etapa de curado fueron colocados en recipientes con arena contaminada con: 0, 1, 2 y 3% de NaCl, para posteriormente ser evaluados electroquímicamente.

Diseño y proporcionamiento de la Mezcla de Concreto

El diseño de las mezclas de concreto, se realizó de acuerdo al método del ACI 211.1 [8]; para el cual se debe hacer la caracterización de las propiedades físicas de los agregados a utilizar, con base a la Normativa ONNCCE, posteriormente con el método del ACI se hace el proporcionamiento para determinar la cantidad de material necesario para elaborar un metro cúbico de concreto; en la siguiente tabla se muestra las cantidades empleadas.

Tabla I. Dosificación de la mezcla de concreto.

Contenido (Kg/m ³)	Concreto con $f'c=350$ kg/m ³
Cemento	456
Agua	205
Agregado grueso	995
Agregado fino	562

Características y Especificaciones de los especímenes de estudio

Como anteriormente se menciona se emplearon dos tipos de acero de refuerzo, acero 1018 y acero galvanizado ambos de 3/8" de diámetro, en el centro de los especímenes se colocó una barra de acero inoxidable la cual funciona como electrodo auxiliar. Las dimensiones de los especímenes y el arreglo de las barras embebidas en ellos se observa en la Figura 1.

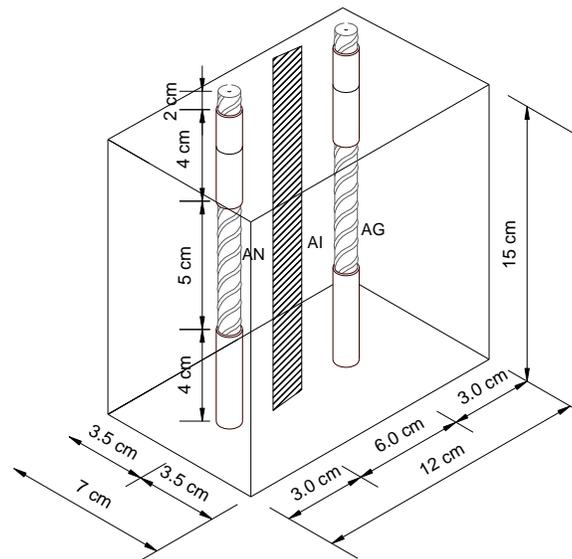


Figura 1. Dimensiones de los especímenes de prueba.

Las varillas de acero normal y galvanizado fueron limpiadas para retirar cualquier impureza que en ellas estuviese presente, posteriormente se delimitó el área a evaluar y el resto se cubrió con una pintura anticorrosiva. Después del proporcionamiento y la preparación del material y equipo a utilizar, se procedió a la fabricación de los especímenes, la cual se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-159-2004; 24 horas después se procedió al descimbrado de dichos especímenes para ser sometidos a la etapa de curado de acuerdo a la norma NMX-C-403-ONNCCE-1999, figura 2.



Figura 2. Elaboración y descimbrado de especímenes de prueba.

A cada uno de los especímenes se le asignó una nomenclatura, en función de sus variables, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla II. Nomenclatura de especímenes de prueba.

Nomenclatura empleada							
A40RG	A40RN	B41RMG	B41RMN	C42RMG	C42RMN	D43RMG	D43RMN
A40RSG	A40RSN	B41RSMG	B41RSMN	C42RSMG	C42RSMN	D43RSMG	D43RSMN

Significado:

1. El primer dato se refiere al espécimen.
2. El segundo dato, indica la relación agua-cemento $4=a/c$ 0.45
3. El tercer dato, se refiere al porcentaje de contaminante presente en la arena 0, 1, 2 y 3% de NaCl.
4. El cuarto dato, indica el tipo de cemento utilizado en las mezclas: R=CPC 30R y RS=CPC 30R RS.
5. El quinto dato indica el contaminante M=MgSO₄
6. El último dato indica el acero a evaluar G=acero galvanizado y N=acero normal (1018).

Para determinar el tipo de suelo a utilizar como medio de exposición se realizó la caracterización física de este, arrojando como resultado una arena mal graduada, figura 3.



Figura 3. Caracterización física del suelo.

Después de que concluyo la etapa de curado de los especímenes y de la clasificación del medio de exposición se procedió a contaminar la arena con 0, 1, 2 y 3% de NaCl, tomando como referencia el 0% que indica la arena en estado natural, sin adición de contaminante; en recipientes de tamaño adecuado se coloco la arena previamente contaminada, para posteriormente colocar dentro de ella los especímenes a evaluar, de esta forma la arena funciona como medio de exposición y contacto del concreto reforzado, figura 4.



Figura 4. Especímenes en su medio de exposición.

RESULTADOS

Potencial de Corrosión

El monitoreo y la interpretación de los potenciales de corrosión se realizo con base a lo establecido en la Norma ASTM C876-09[7] y se agrego un rango más de acuerdo a la literatura [9], tabla III.

Tabla III. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

Potenciales de corrosión mV vs Cu/CuSO₄	
< - 500	Corrosión Severa
< -350	90% de Probabilidad de Corrosión
-350 a -200	Incertidumbre
> -200	10% de Probabilidad de Corrosión

Los resultados de la medición de potenciales de corrosión cuando los especímenes de concreto reforzado se encuentran en contacto con arena contaminada con diversas concentraciones de NaCl, se pueden observar en las figuras 5 a 8, que corresponden a las graficas de los ocho especímenes que se encuentran en estudio, considerándose para su evaluación: el porcentaje de contaminante, tipo de cemento y tipo de acero.

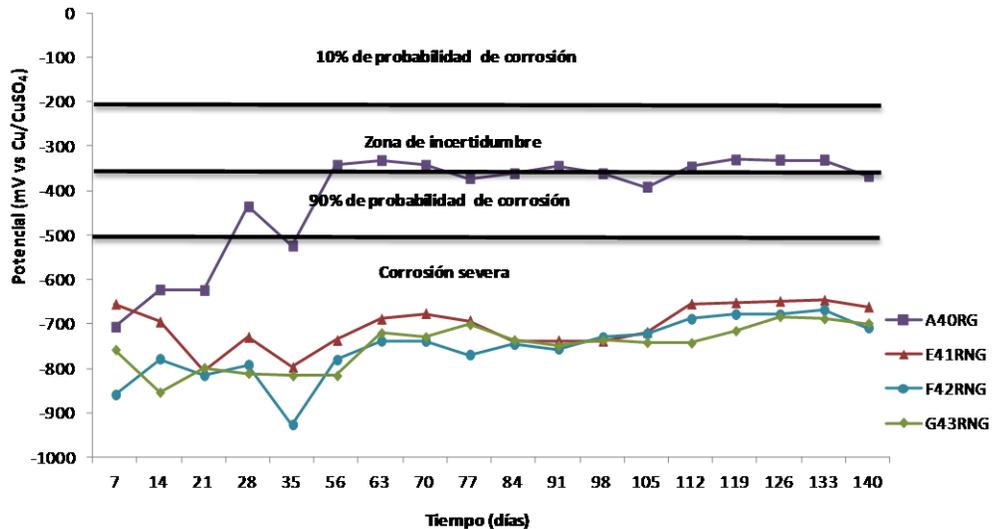


Figura 5. Especímenes con cemento CPC 30R y acero galvanizado expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de NaCl.

En la figura 5 se puede observar que ente mayor es el porcentaje de cloruros presentes en la arena mayor es la probabilidad de corrosión del acero galvanizado, cuando el concreto está elaborado con cemento CPC 30R, de acuerdo a lo establecido en la literatura, se tiene corrosión severa en tres de los cuatro especímenes y como era de esperar el espécimen en el medio limpio presenta el mejor comportamiento, ubicándose en la zona de incertidumbre.

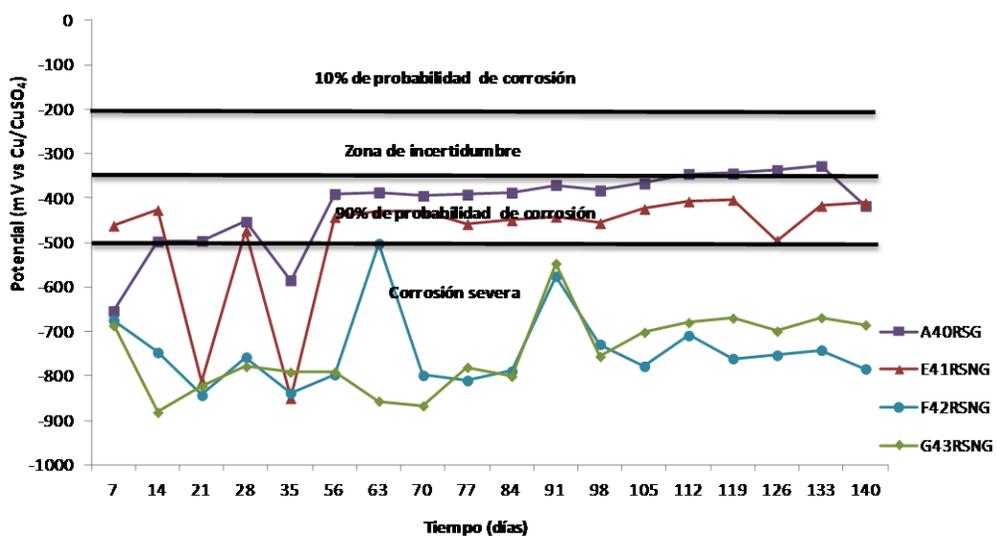


Figura 6. Especímenes con cemento CPC 30R RS y acero galvanizado expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de NaCl.

La figura 6 muestra el comportamiento de los especímenes elaborados con cemento CPC 30R RS y acero galvanizado expuestos a la arena contaminada con 0, 1, 2 y 3% de NaCl, de esta grafica se puede observar un comportamiento favorable para los especímenes en 0 y 1% de NaCl, ubicándose en un 90% de probabilidad de corrosión, en comparación con los que se encuentran en 2 y 3% de NaCl, los cuales presentan corrosión severa; de igual forma que los especímenes elaborados con cemento normal, entre mayor es el porcentaje de cloruros presentes en el medio de exposición mayor es el potencial de corrosión que el acero presenta.

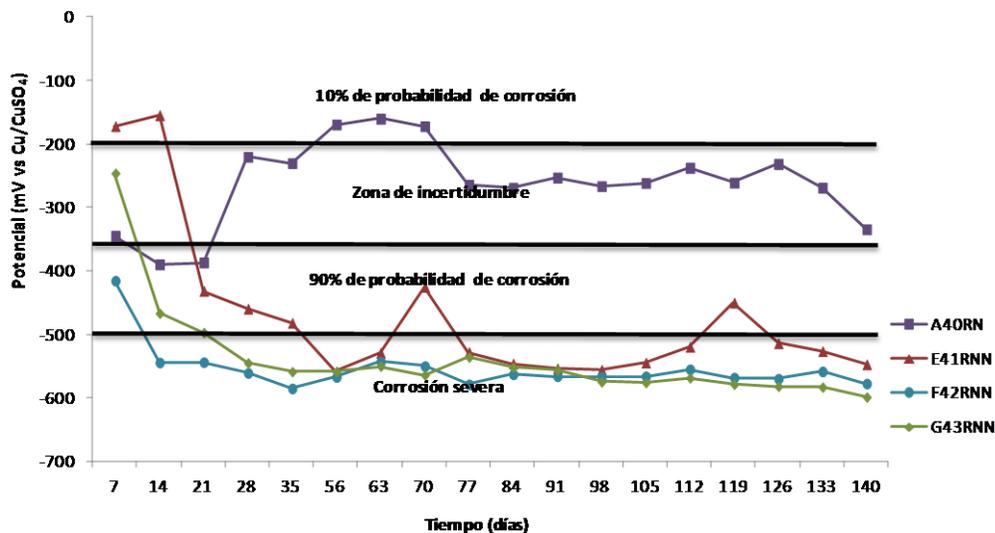


Figura 7. Especímenes con cemento CPC 30R y acero normal expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de NaCl.

La figura 7 muestra el comportamiento electroquímico de los especímenes elaborados con cemento CPC 30R y acero normal, expuesto a los diversos porcentajes de NaCl. Aquí podemos observar que el espécimen expuesto a la arena con 1, 2 y 3% de NaCl presentan corrosión severa, la cual se manifiesta desde los primeros días de exposición, el espécimen expuesto al 0% de NaCl aunque el cemento y el acero utilizados no son de característica especial, presenta el mejor comportamiento, ubicándose en la zona de incertidumbre.

En la figura 8, la cual muestra los especímenes elaborados con cemento CPC 30R RS y acero normal; se puede observar que los especímenes expuestos a arena contaminada con 0% de NaCl presentan el mejor comportamiento, ubicándose en un 10% de probabilidad de corrosión, así mismo los especímenes presentes en arena con 2% de NaCl se encuentran ubicados en la zona de incertidumbre; los especímenes en arena con 2 y 3% de NaCl, presentan el comportamiento mas desfavorable, ubicándose en corrosión severa

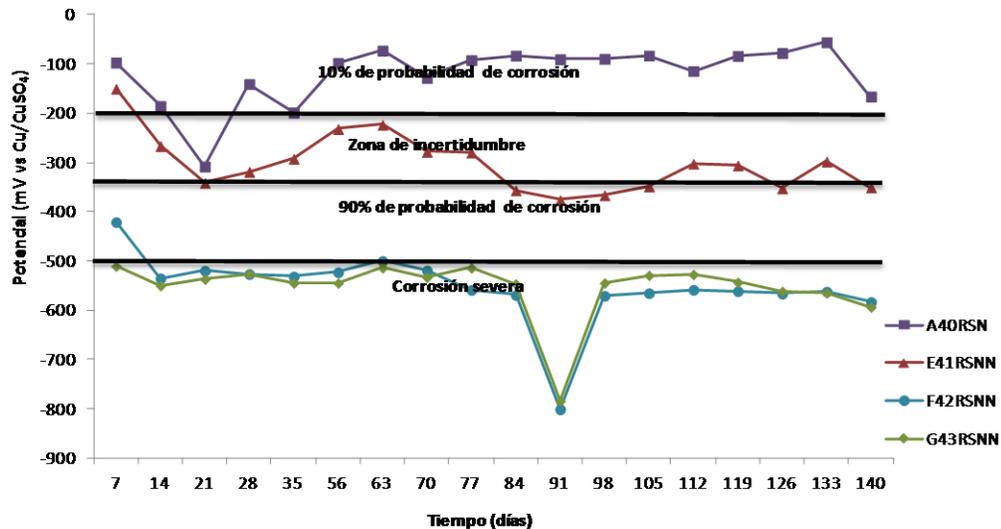


Figura 8. Especímenes con cemento CPC 30R RS y acero normal expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de NaCl.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir, que el uso de un cemento especial (CPC 30R RS), para la elaboración de concreto reforzado cuando se encuentra en un ambiente contaminado con cloruros favorece considerablemente la protección al acero de refuerzo, disminuyendo su probabilidad de corrosión. Así mismo se puede observar que entre mayor es el porcentaje de cloruros presentes en el medio de exposición mayor es el deterioro del acero de refuerzo, este deterioro se ve favorecido o disminuido de acuerdo al tipo de cemento empleado.

Las graficas obtenidas muestran una mayor probabilidad de corrosión para especímenes elaborados con acero galvanizado como acero de refuerzo; esto debido a que lo que se está corroyendo es el recubrimiento de zinc con el cual cuenta este tipo de acero de refuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a PROMEP por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto de investigación, autorizado por la SES mediante oficio no. PROMEP/103.5/12/4615. Con cargo al “Proyecto de Fortalecimiento a Cuerpos Académicos” de la convocatoria 2012 con ID 997 y clave UV-CA-300.

REFERENCIAS

1. M. Maslehuddin y et al. “Effect of chloride concentration in soil on reinforcement corrosion” *Construction and Building Materials*, Vol. 21, (2007), Pag. 1825–1832.
2. Dimitri V. Val y et al. “Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments” *Structural Safety*, Vol. 25, (2003), Pag. 343–362.

3. M.A. Baltazar-Zamora y et al. "Efficiency of Galvanized Steel Embedded in Concrete Previously Contaminated with 2, 3 and 4% of NaCl", International Journal of Electrochemical Science, Vol.7, Pág. 2997-3007, Rep. de Serbia, 2011.
4. E.P. Reyes-Díaz y et al. "Corrosion Behavior of Steel Embedded in Ternary Concrete Mixtures" International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6, Pág. 1892-1905, Rep. de Serbia, 2011.
5. M.A. Baltazar-Zamora y et al. "Evaluación de la corrosión del acero inoxidable 304 como refuerzo en concreto expuesto a cloruros y sulfatos", Scientia et Technica, Año XIII, N° 36. Pág. 353-357, Colombia, 2007.
6. A.I.M. Ismail y et al. "Engineering behaviour of soil materials on the corrosion of mild steel" Applied Clay Science, Vol. 42, (2009), Pag. 356–362.
7. ASTM C 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing and Materials, USA, (1991).
8. ACI. Proporciónamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, p. 29. Ed. IMCYC, México (2004).
9. H. Won-Song and V. Saraswathy, "Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures – A" International Journal of Electrochemical Science, Vol.2, Pág. 1-28, Rep. de Serbia, 2007.