



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

COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE CONCRETO REFORZADO EXPUESTO A UNA ARENA CONTAMINADA CON SULFATO DE MAGNESIO

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

En la presente investigación se evalúa el comportamiento electroquímico de especímenes de concreto reforzado, con la finalidad de determinar la probabilidad de corrosión de dichos especímenes expuestos a un suelo friccionante contaminado con $MgSO_4$. Se elaboraron especímenes de concreto, en los cuales se embebieron barras de acero 1018 y acero galvanizado para ser evaluadas electroquímicamente; la dosificación de las mezclas de concreto se hizo con base al método del ACI 211.1, para lo cual se debe realizar la caracterización previa de los agregados, dicha caracterización y el proceso de curado de los especímenes en estudio se realizó de acuerdo a lo establecido en la normativa ONNCCE. Las mezclas elaboradas se diseñaron para un $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$, 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 una arena contaminada con 0, 1, 2 y 3% de $MgSO_4$, para posteriormente ser evaluados. Los resultados presentados corresponden a los 5 primeros meses de monitoreo, la interpretación de los potenciales se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C-876-09.

Palabras Claves: Suelo, Concreto, Corrosión, Arena, Acero, Sulfato.

ABSTRACT

This research evaluates the electrochemical behavior of reinforced concrete specimens. In order to determine the probability of rust in them as exposed to a frictional contaminated soil with $MgSO_4$. These were made of concrete which one were embedded with steel bars 1018 and galvanized steel to be evaluated electrochemically. The dosage of concrete mixtures was made based 211.1 ACI method, for which the characterization should be performed prior aggregates. Such characterization and curing of the specimens under study was based on the standardization ONNCCE. The prepared mixtures were designed for supporting an $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$. Beyond that, were used two types of cements: one type was CPC 30R and another CPC 30R RS. After the

curing phase, the specimens were placed in tainted sand with 0, 1, 2 and 3% of MgSO₄, to be tested later. The filed results were for the first 5 months of monitoring, the interpretation of the potential was performed according to the requirements in ASTM C-876-09.

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

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y desde hace tiempo, el material de construcción más utilizado es el concreto, que junto con las varillas de acero, forman el sistema conocido como concreto reforzado. Las estructuras de este sistema, son definidas como estructuras muy duraderas y que requieren de muy poco mantenimiento. Sin embargo, uno de los problemas más importantes para el mantenimiento de la integridad estructural de obras civiles como: puentes, túneles, carreteras, muelles, etc., de un país, es la corrosión del acero de refuerzo [1,2].

La corrosión del acero embebido en el concreto, es un proceso electroquímico en el cual se desarrolla un ánodo donde se produce oxidación y un cátodo donde se produce reducción. El proceso de corrosión puede ser ocasionado por diversos factores, uno de esos factores son los sulfatos los cuales forman parte de las sales inorgánicas que normalmente están presentes en el terreno, en las aguas freáticas y superficiales, aunque su grado de concentración puede ser muy variable [3,4]. La presencia de sulfatos en el agua que está en contacto con una pasta endurecida de cemento, puede incrementar considerablemente solubilidad de los componentes de dicha pasta y causar, por una parte el desarrollo de la degradación del concreto por lixiviación y por otra parte el acero queda desprotegido y es ahí donde se desencadena el proceso de corrosión [5,6].

De lo anterior y de acuerdo a múltiples investigaciones se tiene conocimiento del comportamiento de concretos en contacto con sulfatos presentes en el agua, sin embargo es mínima la información correspondiente al ataque de los sulfatos presentes en el suelo, de ahí la importancia de estudiar este mecanismo y al mismo tiempo utilizar acero galvanizado y cemento resistente a sulfatos, como forma de mitigar el daño que puedan causar a estructuras de concreto reforzado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los principales parámetros a considerar para la realización de la presente investigación son:

1. Mezcla de concreto con $f'_c=350$ kg/cm².
2. Dos tipos de cemento CPC 30 R y CPO 30R RS.
3. Acero 1018 y acero galvanizado con diámetro de 3/8".
4. Cuatro medios de exposición (arena contaminada con: 0, 1, 2 y 3% de Mg₂SO₄).
5. Monitoreo de potenciales e interpretación de acuerdo a Norma ASMT C876-09[7].

Diseño y proporcionamiento de la Mezcla de Concreto

El diseño de las mezclas de concreto, se realizo 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 cubico 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", en el centro de los especímenes se coloco 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.

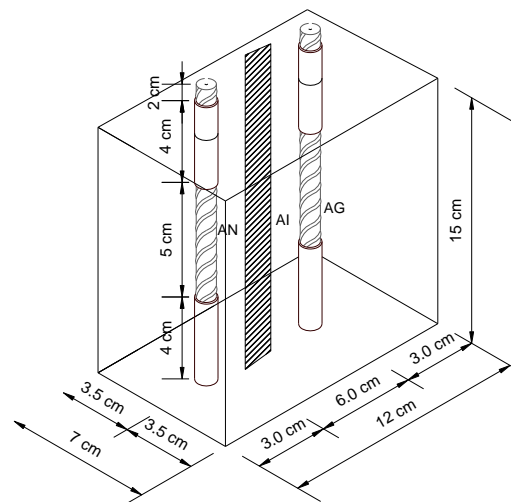


Figura 1. Dimensiones de los especímenes de prueba.

Las varillas de acero normal y galvanizado fueron limpiadas para retirar cualquier impureza que en ellas estuviese presente, posteriormente se delimito el área a evaluar y el resto se cubrió con una pintura anticorrosiva.



Figura 2. Varillas pintadas a utilizar.

La fabricación de los especímenes de prueba se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-159-2004. 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:

- A, B, C y D se refieren al espécimen.
- El 4 indica la relación agua-cemento $w/c = 0.45$.
- 0, 1, 2 y 3 indican el porcentaje de $MgSO_4$ presente en la arena o medio de exposición.
- R y Rs, indica el tipo de cemento de las mezclas: R=CPC 30R y RS=CPC 30R RS.
- La M indica que el porcentaje de contaminante corresponde a $MgSO_4$
- El último dato indica el acero a evaluar G=acero galvanizado y N=acero normal (1018).

Los especímenes después de haber sido elaborados y descimbrados se sometieron a la etapa de curado durante 28 días como lo indica la norma, NMX-C-403-ONNCCE-1999.



Figura 3. Curado de especímenes.

Para determinar el tipo de suelo en el cual los especímenes se encuentran, se realizó la caracterización física de este, de esta forma se determinó que se trata de una arena mal graduada. Posteriormente se eligieron recipientes de tamaño considerable donde se colocó arena contaminada con 0, 1, 2 y 3% de $MgSO_4$, utilizándose como medio de exposición, dentro de esta arena después de la etapa de curado, se colocaron los especímenes elaborados para posteriormente ser evaluados electroquímicamente.



Figura 4. Especímenes en su medio de exposición.

RESULTADOS

Potencial de Corrosión

El monitoreo y la interpretación de los potenciales de corrosión se realizó con base a lo establecido en la Norma ASTM C876-09, tabla III.

Tabla III. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

Potenciales de corrosión mV vs Cu/CuSO ₄	
< - 500	Corrosión Severa
< -350	90% de Probabilidad de Corrosión
-350 a -200	Incertidumbre
> -200	10% de Probabilidad de Corrosión

En la figura 5 se puede observar que al parecer, entre mayor es porcentaje de sulfatos presentes en el medio de exposición, mejor es el comportamiento del acero galvanizado cuando el concreto está elaborado con cemento normal, a partir del día 70 se presenta un comportamiento más homogéneo en todos los especímenes, teniendo una tendencia hacia la zona de incertidumbre con valores de potenciales por abajo de -450 mV.

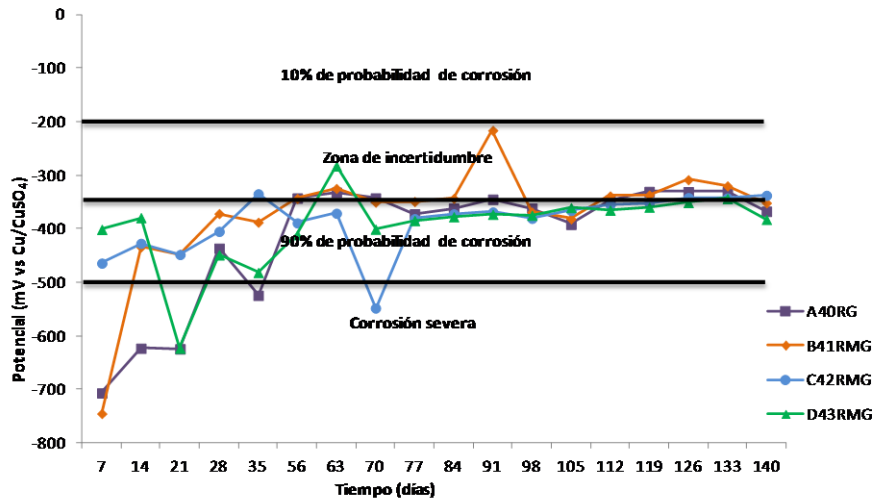


Figura 5. Especímenes con cemento CPC 30R y acero galvanizado expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de MgSO₄.

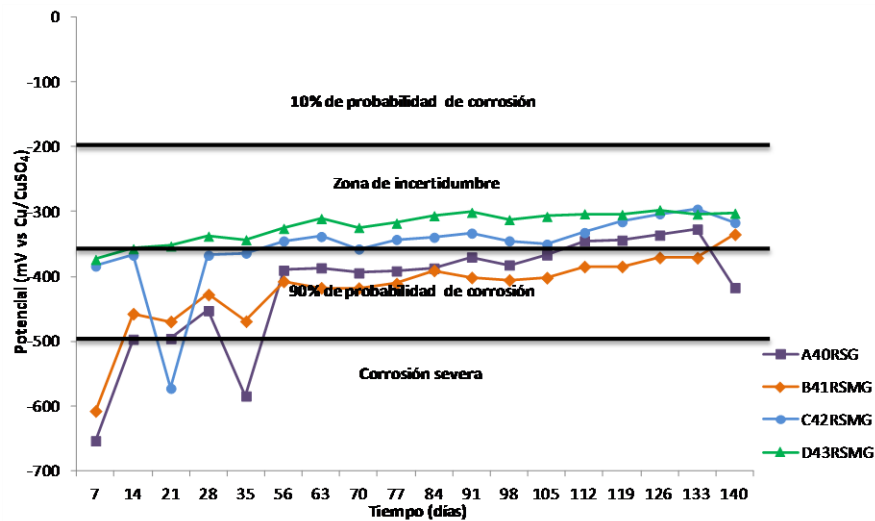


Figura 6. Especímenes con cemento CPC 30R RS y acero galvanizado expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de MgSO₄.

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 MgSO₄, de esta grafica se puede observar un comportamiento homogéneo de los 4 especímenes evaluados prácticamente desde el primer monitoreo; de la misma manera que los especímenes elaborados con cemento CPC 30R, el comportamiento que presenta el acero galvanizado es mejor cuanto mayor es el porcentaje de MgSO₄ presente en el medio de exposición. De acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C-876-09 y a la literatura, para todos los especímenes después del día 35 se observa una tendencia hacia la zona de incertidumbre, la cual hasta el día 140 se reafirma para los especímenes expuestos a 1, 2 y 3% de MgSO₄, el espécimen expuesto al medio limpio presenta una ligera baja y se ubica en la zona correspondiente al 90% de probabilidad de corrosión.

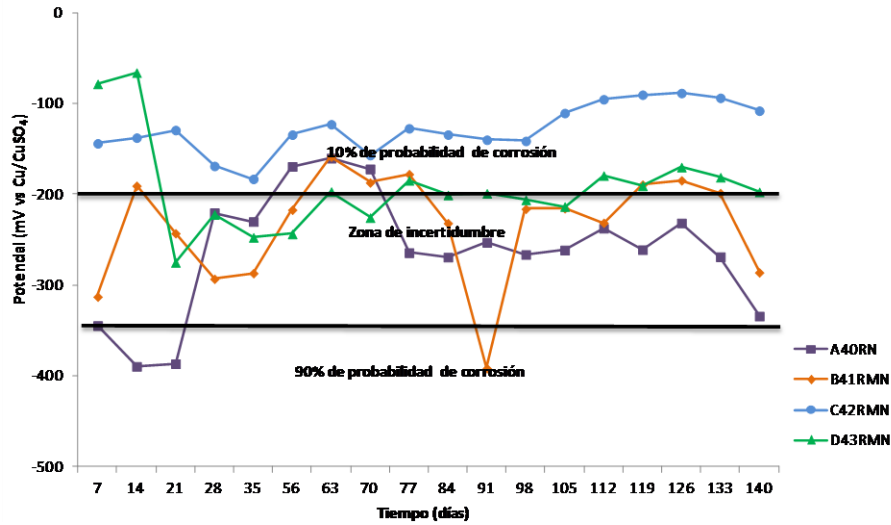


Figura 7. Especímenes con cemento CPC 30R y acero normal expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de MgSO₄.

La figura 7 muestra el comportamiento electroquímico de los especímenes elaborados con cemento CPC 30R y acero normal, expuesto a los diversos porcentajes de MgSO₄. Aquí podemos observar que el espécimen expuesto a la arena con 2% de MgSO₄ presenta el mejor comportamiento, seguido por los que se encuentran en el 3 y 2% de MgSO₄, así mismo el espécimen embebido en la arena con 0% de contaminante presenta el comportamiento más desfavorable, ubicándose en la zona de incertidumbre con tendencia a la zona de 90% de probabilidad de corrosión.

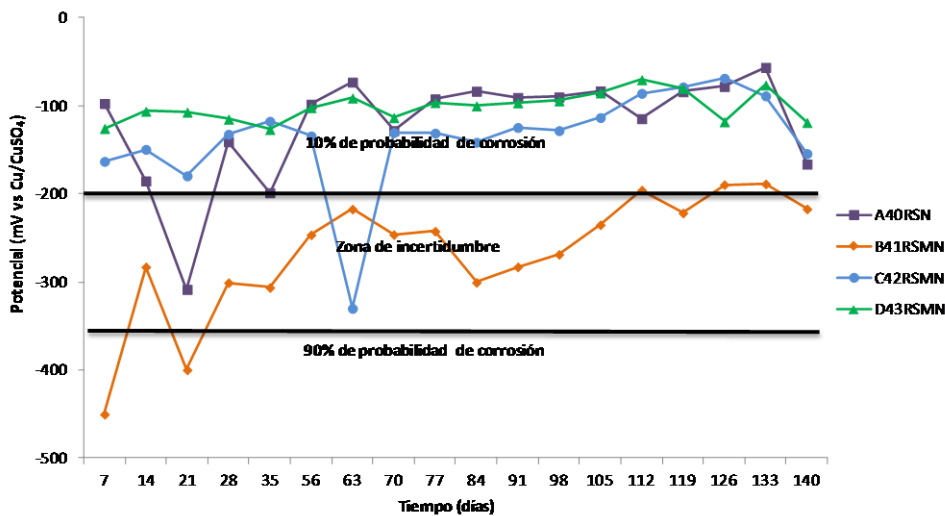


Figura 8. Especímenes con cemento CPC 30R RS y acero normal expuestos a arena con 0, 1, 2 y 3% de MgSO₄.

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, 2 y 3% de MgSO₄, presentan el mejor comportamiento ubicándose en una zona del 10% de probabilidad de corrosión, los especímenes expuestos al 1% de contaminante se encuentran ubicados en la zona de incertidumbre.

CONCLUSIONES

Con este trabajo y de acuerdo a los resultados obtenidos se demostró que el tipo de cemento empleado para la elaboración de concretos expuestos a suelos en presencia de sulfatos en definitiva si influye en el comportamiento electroquímico del acero de refuerzo, tanto galvanizado como acero normal, ya que los potenciales obtenidos al evaluar los aceros embebidos en concreto con cemento CPC 30R RS presentan un mejor comportamiento en comparación con los que se encuentran embebidos en concreto elaborado con cemento CPC 30R. También se puede concluir que los especímenes con acero galvanizado como acero de refuerzo presentan un comportamiento más homogéneo pero al mismo tiempo con mayor probabilidad de corrosión que los especímenes con acero normal. Así mismo se concluye que entre mayor es el porcentaje de $MgSO_4$ presente en el medio de exposición mejor es el comportamiento del acero de refuerzo, lo cual podría llevarnos a concluir que aparentemente no está sucediendo ningún deterioro a elementos de concreto reforzado expuestos a este medio, sin embargo en los especímenes se observa un deterioro al concreto que con el paso del tiempo va incrementando.

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.A. Baltazar-Zamora y et al. “Evaluation of the Corrosion at Early Age in Reinforced Concrete Exposed to Sulfates”, International Journal of Electrochemical Science, Vol.7, Pág. 588-600, Rep. de Serbia, 2011.
2. M.A. Baltazar-Zamora 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.
3. 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.
4. 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.
5. Baltazar Zamora M.A., Corrosión por Sulfatos en Concreto Reforzado, Tesis de Maestría, U.A.CH, 2000.
6. 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.
7. Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete, ASTM C 876-09, ASTM Volume 03.02, (2009).
8. ACI. Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, p. 29. Ed. IMCYC, México (2004).