

EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO REFORZADO: INFLUENCIA DEL TIPO DE CURADO Y MEDIO DE EXPOSICIÓN

M. A. Baltazar-Zamora^{1*}, G. Santiago-Hurtado¹, A. Borunda-Terrazas², A.E. Landa-Gómez¹, M. Hernández-González¹, E.E. Maldonado-Bandala¹, F. Almeraya-Calderón², C. Gaona-Tiburcio²

¹Facultad de Ingeniería Civil - Xalapa, Universidad Veracruzana,
Circ. G. Aguirre Beltrán S/N, Lomas del Estadio, Xalapa, Veracruz, México, CP 91000

²Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Chihuahua, Chih., México

*e-mail: mbaltazar@uv.mx, miguelbaltazar21@gmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de termodinámico de la corrosión del acero de refuerzo en el concreto adicionado con aditivo acelerante, expuesto a al ambiente de la Cd. de Xalapa (ambiente urbano) y un ambiente marino (agua de mar). Los especímenes se fabricaron con dos concretos uno con relación a/c 0.45 y el segundo con 0.65, antes de su exposición a los medios se sometieron a tres tipos de curado durante 28 días: curado de acuerdo a la normativa ONNCCE, curado en obra y sin curado. En cada uno de los 12 especímenes se embebieron 2 varillas de acero al carbono 1018 del no. 3., se presentan los resultados de los primeros 140 días del monitoreo de potenciales de corrosión, el cual se realizó de acuerdo a la norma ASTM C-876-91. Dichos resultados demuestran la importancia del curado bajo norma dado que dichos especímenes presentan una probabilidad de 50% de corrosión a diferencia de los curados en obra y sin curado que indican 90% de probabilidad de corrosión y corrosión severa.

Palabras Clave: Curado, Corrosión, Concreto, Ambiente Marino, Aditivo



1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la literatura se sabe que uno de los principales problemas económicos de los países desarrollados y en vías de desarrollo es el del deterioro de las estructuras de concreto reforzado como lo son los puentes, los muelles, los edificios entre otras, y se considera que uno de los principales factores es la corrosión que se presenta en el acero de refuerzo [1,2,3]. En países de primer mundo en donde se lleva un sistemático proceso de evaluación de las estructuras se han reportado cifras de miles de millones de dólares de costo para solucionar daños causados por este fenómeno [4]. Existen innumerables trabajos nacionales e internacionales que abordan dicha problemática en donde se estudia dicho fenómeno, y se tienen propuestas consideradas como preventivas así como correctivas, el presente trabajo aborda el problema con la idea de simular en el laboratorio las condiciones reales a las que se enfrentan los constructores en el campo, en este sentido se consideró someter a estudio especímenes de concreto con diferentes tipos de curado, un curado de acuerdo como se establece en la normativa de la ONNCCE, el segundo un curado como se lleva comúnmente en las obras donde no hay un control de calidad, que es humectando en las mañanas y en las tardes, y el más crítico que sería sin curado alguno, dichos especímenes fueron elaborados con dos mezclas, con relación a/c de 0.45 y 0.65, sometiéndolos a dos medios, seis a un medio urbano (ambiente de la Cd. de Xalapa) y los seis restantes inmersos en un medio marino (agua de mar). Si bien existe normativa y literatura extensa que indica la importancia del curado en el proceso de fraguado del concreto desafortunadamente las variables contempladas para este trabajo son muy comunes en la vida real, es también es cierto que son contados los trabajos que tratan de estudiar el efecto en la termodinámica de corrosión del acero de refuerzo que ocasiona el curado aplicado al concreto.

El objetivo del presente trabajo es analizar los resultados de los potenciales de corrosión de los primeros 140 días de exposición, determinando la influencia del medio de contacto, la calidad del concreto, y el tipo de curado en el proceso de corrosión del acero de refuerzo.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Diseño y proporcionamiento de la Mezcla de Concreto

2.1.1. Características Físicas de los Agregados

El método empleado para calcular el proporcionamiento fue el del ACI 211.1 [5], el cual toma como base las características físicas de los materiales, para elaboración de la mezcla de concreto se utilizaron agregados naturales los cuales se les determinaron sus propiedades físicas todas de acuerdo a las normas ONNCCE, ver tabla I.

Tabla I. Resumen de resultados de la caracterización de los agregados

Propiedades físicas de los materiales	Agregado Grueso	Agregado Fino
Masa específica seca (Mes) gr/cm^3	2.32	2.66
Masa Volumétrica Varillada (Mvv) Kg/cm^3	1380	
Absorción (A) %	4	3.8
Modulo de Finura		2.7
Tamaño Máximo Nominal	$\frac{3}{4}$ "	

2.1.2. Proporcionamiento de la mezcla de concreto

Para el presente trabajo se utilizó un Cemento Portland tipo CPC 30R, y agua potable, se elaboraron dos tipos de concreto uno con relación $a/c=0.45$ y el segundo con una relación $a/c=0.65$. La cantidad de material para cada una de las mezclas se muestra en la tabla II.

Tabla II. Proporcionamiento de las mezclas de concreto para 1 m^3

Materiales	Relación $a/c=0.45$ Kg/m^3	Relación $a/c=0.65$ Kg/m^3
Agua	178	178
Cemento	456	316
Agregado Grueso	913	913
Agregado Fino	863	1012
Aditivo (acelerante)	2% / cemento	2% / cemento

2.2. Caracterización del concreto fresco y endurecido

Para determinar las características del concreto en estado fresco y su resistencia mecánica, se realizaron los ensayos de acuerdo a las normas ONNCCE, las pruebas y los resultados de ellas se enlistan en la tabla III.

Tabla III. Propiedades físicas y mecánica de los concretos empleados.

Parámetro	Rel. a/c= 0.45	Rel. a/c=
Revenimiento (NMX-C-156-1997-ONNCCE)	9 cm	12 cm
Temperatura (ASTM C-1064)	25 °C	25 °C
Masa volumétrica (NMX-C-105-1987)	2266 kg/m ³	2223 kg/m ³
Resistencia a compresión (NMX-C-083-ONNCCE-	395 kg/cm ²	245 kg/cm ²

2.3. Características y nomenclatura de los especímenes de prueba

En cada espécimen se embebieron dos varillas de 3/8" de diámetro de acero 1018, refuerzo de uso común en las estructuras de concreto reforzado, una de las dos varillas como electrodo de trabajo y la otra de electrodo auxiliar. A todas las varillas se les colocó una franja de 5 cm. de cinta teflón en la parte superior, y de 4 cm en la inferior, para delimitar una longitud de la varilla de 4 cm para el área de exposición a la corrosión como se puede observar en la figura 1.

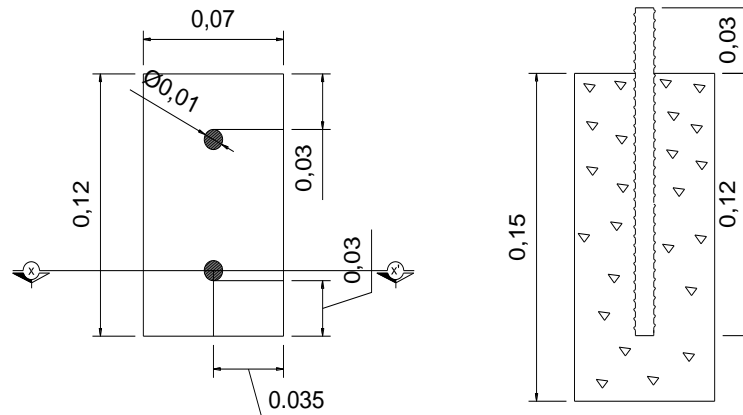


Figura 1. Dimensiones de los especímenes de estudio (cotas en m)

Para los especímenes de estudio y de acuerdo a los parámetros a evaluar, descritos y tratados en el apartado anterior se propuso la nomenclatura que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IV. Nomenclatura de especímenes de prueba.

Relación a/c=0.45		Relación a/c=0.65	
4NU	4NM	6NU	6NM
4OU	4OM	6OU	6OM
4SU	4SM	6SU	6SM

- 4 y 6 indica la relación a/c, 0.45 y 0.65.
- N = Curado Norma, O= Curado en Obra y S= Sin Curado.
- U = Medio Urbano (Cd. Xalapa) y M = Medio Marino (Agua de Mar)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Potencial de Corrosión

El monitoreo de potencial de corrosión de los especímenes de prueba se realizó de acuerdo a la Norma ASTM C876-91[6] así como su interpretación, solo agregando un rango más de acuerdo a la literatura [7], ver tabla V.

Tabla V. 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 2, se observa como después de la etapa de curado todos los especímenes expuestos al medio ambiente de la ciudad de Xalapa, Ver., presentaron una tendencia de valores más positivos que -200 mV, lo que indica 10% de probabilidad de corrosión hasta el día 100, con un cambio en los últimos monitoreos a valores más negativos lo que indicaría entrar a valores de incertidumbre, se tiene hasta esta fecha un estado pasivo del acero de refuerzo, no evidenciando influencia del tipo de curado y la relación agua/cemento.

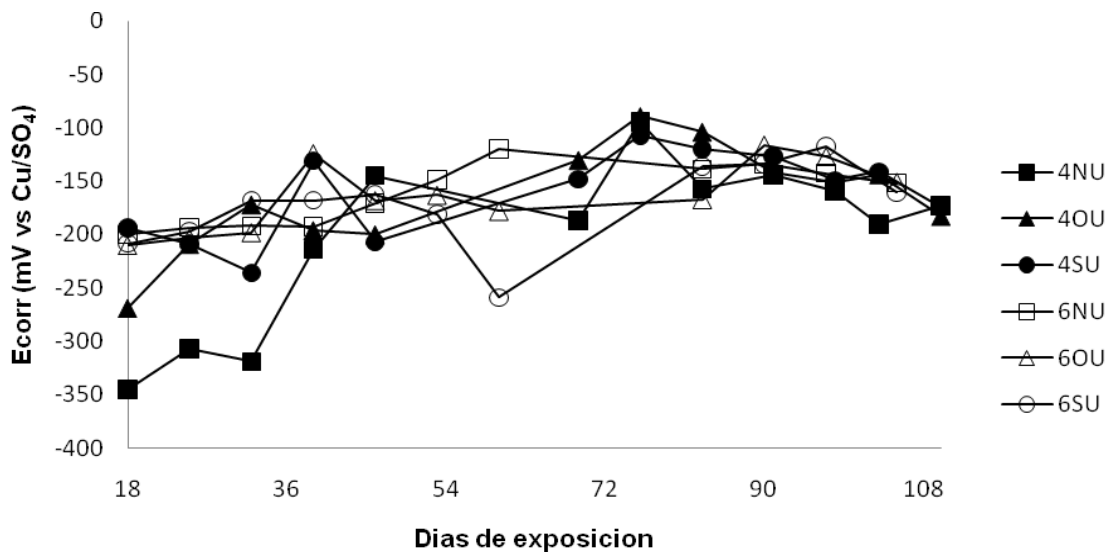


Figura 2. Especímenes relación a/c 0.45 y 0.65 expuestos al medio urbano

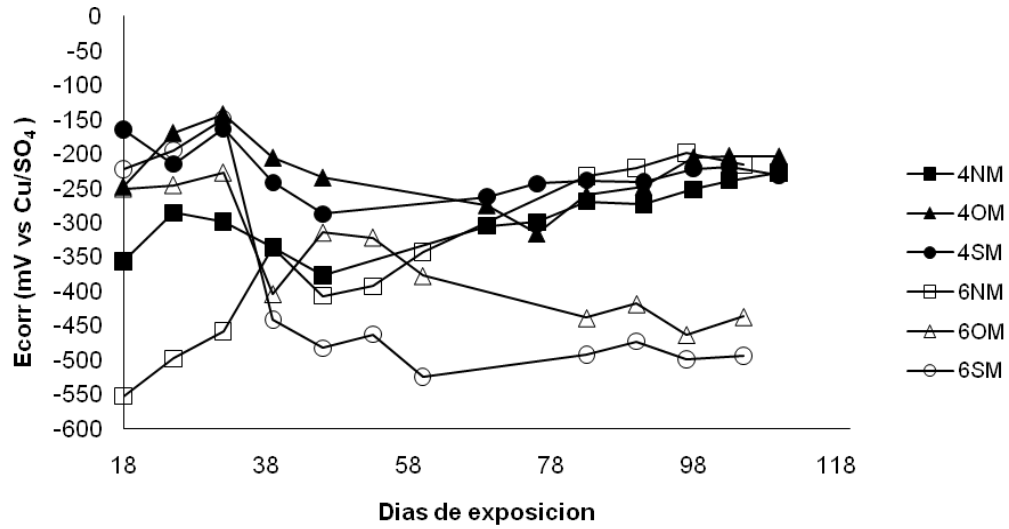


Figura 3. Especímenes relación a/c 0.45 y 0.65 expuestos al medio marino

En lo que corresponde al análisis de la figura 3, se tiene que después de la etapa de curado los tres especímenes de relación a/c = 0.45 y el espécimen 6NM (relación 0.65 con norma) reportan valores que indican incertidumbre o 50% de que haya corrosión, en esta figura se identifica perfectamente el beneficio de un curado bajo norma, dado que los dos especímenes 6OM (curado en obra) y 6SM (sin curado) presentan una probabilidad del 90% de corrosión de acuerdo a la norma ASTM C-876-91, a diferencia del 6NM como se indicó anteriormente.

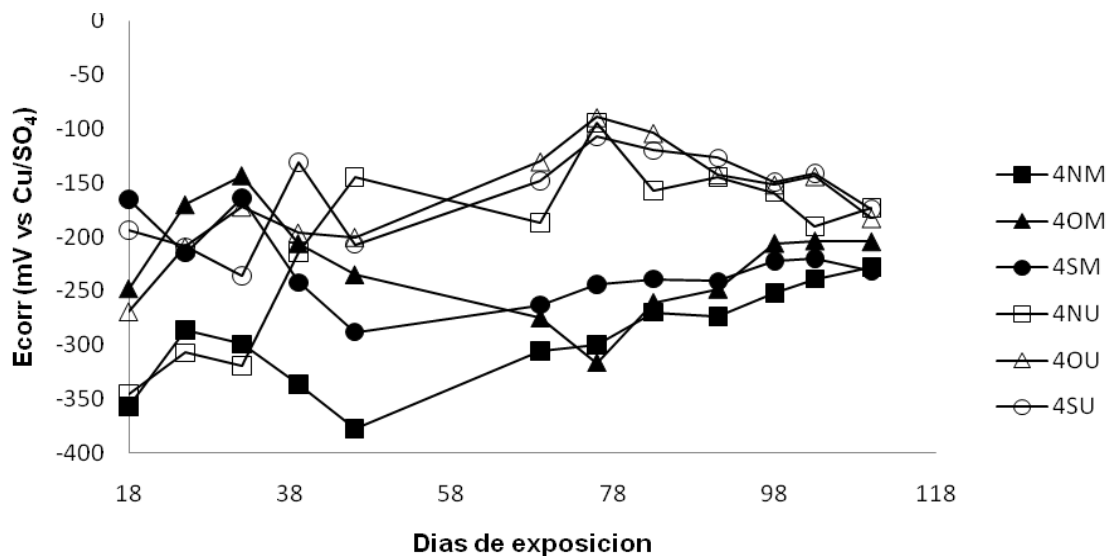


Figura 4. Especímenes relación a/c 0.45 expuestos al medio urbano y marino

En la figura 4 se comparan los seis especímenes de relación $a/c = 0.45$ expuestos a los dos medios urbano (U) marino (M), se tienen para los expuestos en agua de mar valores de potencial los primeros días de que indican 90% de probabilidad de corrosión para que con el paso del tiempo se ubiquen los tres especímenes en una zona de incertidumbre, para los expuestos al medio urbano se observa que los valores más positivos a valores más negativos con el paso del tiempo lo que indica una pequeña activación pero sin pasar a la zona de incertidumbre, por lo que al final tenemos que los del medio urbano presentan un 10% de probabilidad de corrosión a diferencia de los del medio marino que presentan un 50% de probabilidad.

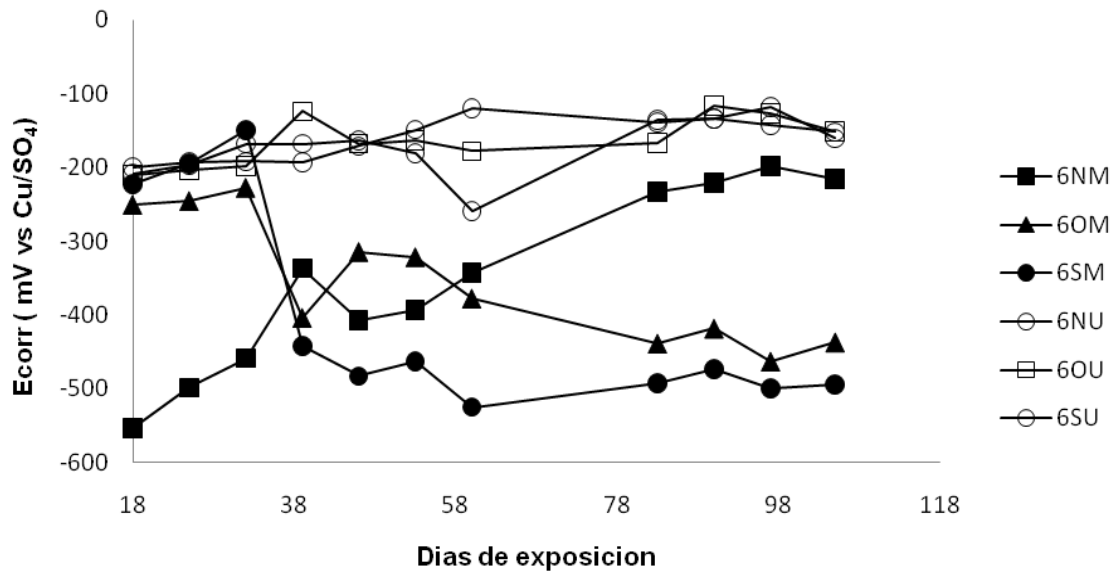


Figura 5. Especímenes relación a/c 0.65 expuestos al medio urbano y marino

En la figura 5 se observa perfectamente el efecto del curado y del medio en concretos de menor calidad, relación $a/c = 0.65$, en donde se tiene que los que se les dio un curado deficiente o no acorde a la normativa 6OM y 6SM, presentan un 90% de probabilidad de corrosión y corrosión severa para el que no tuvo curado, esto en un medio marino y el que si fue curado adecuadamente aun 6NM, presenta un comportamiento adecuado en dicho medio agresivo, se identifica como en un medio urbano un concreto con esta relación $a/c = 0.65$ no influye hasta el momento en la probabilidad de corrosión.

4. CONCLUSIONES

Se demostró en esta investigación que uno de los factores determinantes para obtener una resistencia mayor a la corrosión en un ambiente marino es el curado adecuado como lo indica la normativa, teniendo para concretos de relación $a/c=0.65$ una probabilidad del 50% de corrosión, y para los de curado tipo en obra y sin curado probabilidad del 90% y corrosión severa respectivamente, si bien en la literatura tan extensa de la tecnología de concreto se menciona la importancia de este factor, como se simulo en este trabajo, la realidad es que es muy común no llevar un curado adecuado en las obras lo que conlleva

con a tener estructuras susceptibles a deterioros prematuros de los cuales uno de los más importantes es precisamente la corrosión del acero de refuerzo.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a PROMEP por el segundo año de apoyo otorgado para la realización de este proyecto de investigación, autorizado por la SES mediante oficio no. PROMEP/103.5/07/2753. Con cargo al “Proyecto de Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo PROMEP”.

6. REFERENCIAS

- [1] M.A. Baltazar-Zamora et al., *Portugaliae Electrochimica Acta*, **27**, N° 3, 237 (2009).
- [2] M.A. Baltazar-Zamora et al., *Portugaliae Electrochimica Acta*, **27**, N° 3., 247 (2009)
- [3] M.A. Baltazar-Zamora et al., *Scientia et Technica*, Año XIII, N° 36. 353 (2007).
- [4] G. Santiago-Hurtado, E.E. Maldonado-Bandala, D. Nieves-Mendoza, M. A. Baltazar-Zamora, Congreso SMEQ/2010, Zacatecas, Zac., México. (2010).
- [5] ACI. Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, p. 29. Ed. IMCYC, México (2004).
- [6] 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).
- [7] B.B. Cruz-Morales, G. Santiago-Hurtado, D. Nieves-Mendoza, E.E. Maldonado-Bandala, F. Almeraya-Calderón, C. Gaona-Tiburcio, M. A. Baltazar-Zamora, Congreso SMEQ/2010, Zacatecas, Zac., México. (2010).