



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

COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE ACERO 1018 Y GALVANIZADO EMBEBIDO EN CONCRETO EN SU ETAPA CURADO

**G. Santiago-Hurtado¹, F.J. Olgún-Coca², E. E. Maldonado-Bandala¹,
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 esta investigación se llevó a cabo la evaluación electroquímica de especímenes de concreto en su etapa de curado; se fabricaron 14 especímenes de concreto hidráulico para lo cual, se diseñaron dos mezclas en base al método del ACI 211.1 y con una relación a/c=0.45 y dos tipos de cemento, se elaboraron siete especímenes con cemento CPC 30R y siete con CPC 30R RS; en cada uno de los especímenes se embebieron dos varillas, una de acero 1018 y otra galvanizada, las cuales hicieron la función de electrodos de trabajo, en el centro se colocó una lamina de acero inoxidable como electrodo auxiliar. La etapa de curado a evaluar se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma NMX-C-403-ONNCCE-1999, la evaluación de la probabilidad de corrosión se hizo con base a la Norma ASTM C876-09 y la interpretación de la velocidad de corrosión se realizó con base a lo establecido en el manual de la Red DURAR

Palabras Clave: Concreto, Corrosión, Etapa de Curado, Acero 1018, Galvanizado

ABSTRACT

This research evaluates the electrochemical behavior of reinforced concrete specimens in curing phase. Were made fourteen specimens of hydraulic concrete for which were designed two different kind of mixtures based on ACI method 211.1 and with a relation a/c=0.45 and two kinds of cement. Were elaborated seven specimens with cement CPC 30R and seven with CPC 30R RS which one of the specimens embedded with two bars, one of steel 1018 another with galvanized, they made the function of auxiliary electrode. Settled in the center was a stainless steel sheet. The curing phase was performed to evaluate according to the standard NMX-C-403-ONNCCE-1999, the evaluation of rust probability was based on ASTM C876-09 and the interpretation of the velocity corrosion that was set on manual Red DURAR.

Key words: Concrete, Corrosion, Curing Phase, Steel 1018, Galvanized.

INTRODUCCIÓN

Los costos económicos a causa del mantenimiento prematuro en estructuras de concreto reforzado debido a la corrosión del acero de refuerzo son cuantiosos para la economía de los países tanto industrializados como emergentes, costos que llegan a ser de miles de millones de dólares en reparaciones de puentes de concreto reforzado en E.E. U.U. sin contar el deterioro de otro tipo de infraestructura civil como son los muelles, los edificios, hospitales, nucleoelectricas, presas entre otras estructuras [1,2,3,4]. Hay suficiente información nacional e internacional que justifican la importancia de seguir indagando en esta problemática de gran importancia para las sociedades del mundo, es por lo anterior que en este trabajo se estudia el comportamiento electroquímico del acero 1018 mundialmente utilizado como refuerzo en las estructuras de concreto y del acero galvanizado, en la etapa de curado, para algunos expertos la etapa más importante de para que el concreto alcance la calidad deseada y requerida para cada estructura.

El curado es el proceso por el cual se busca mantener el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. Este proceso pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia fuera del concreto. Busca, también, evitar la contracción de fraguado hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por esta. Diversas investigaciones han comprobado que la falta de curado del concreto reduce drásticamente su resistencia, de igual forma se ha demostrado que a mayor tiempo de curado, la resistencia alcanzada es mayor, sin embargo la información existente con respecto a la etapa de curado del concreto, se limita a demostrar las propiedades mecánicas de este y de su efecto en su durabilidad ha sido estudiada poco estudiada [5,6]; con esta investigación se busca demostrar que el comportamiento electroquímico evaluado mediante potenciales nos permite identificar el grado de avance del proceso de fraguado y su relación con la futura calidad del concreto elaborado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la presente investigación se elaboraron 14 especímenes de concreto reforzado, difiriendo en el tipo de cemento, utilizando en la elaboración de la mezclas el CPC 30R y el CPC 30R RS, ambas mezclas se diseñaron de acuerdo a lo establecido en el método del ACI 211.1[7] para una resistencia a la compresión a los 28 días $f'c=350$ kg/cm², como refuerzo se emplearon dos tipos de acero: acero al carbono 1018 y acero galvanizado, los cuales se embebieron en el concreto como se describe en los apartados siguientes.

Diseño y proporcionamiento de la Mezcla de Concreto

Como se menciona anteriormente el diseño de las mezclas de concreto, se realizo de acuerdo al método del ACI 211.1; para el cual se debe hacer la caracterización de las propiedades físicas de los agregados a utilizar, dicha caracterización se realizo con base a la Normativa ONNCCE, los resultados de la dosificación para cada material para elaborar 1 m³ de concreto se presentan en la tabla I.

Tabla I. Dosificación de la mezcla de concreto.

Contenido kg/m ³	Relación a/c=0.45
Agua	205
Cemento	456
Agregado fino	772
Agregado grueso	912

Características y Especificaciones de los especímenes de estudio

Cada uno de los 14 especímenes elaborados, tienen las mismas características y dimensiones, en ellos se embebieron dos varillas, una de acero 1018 y otra galvanizada ambas de 3/8" de diámetro, en el centro se colocó una barra de acero inoxidable utilizada como electrodo auxiliar en el arreglo experimental, en la figura 1.

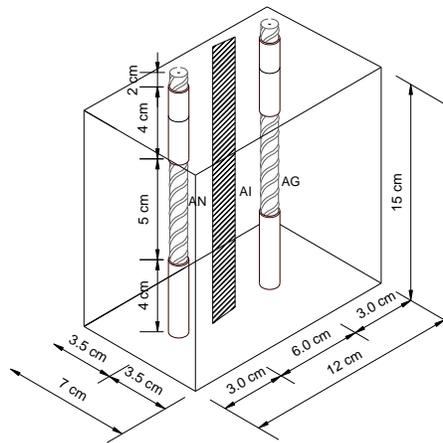


Figura 1. Dimensiones de los especímenes y el arreglo de las barras embebidas en ellos.

Cada una de las varillas embebidas en el concreto, fueron previamente limpiadas para retirar cualquier impureza que en ella estuviese presente, posteriormente se delimitó el área a evaluar y el resto se cubrió con una pintura anticorrosiva, figura 2.



Figura 2. Preparación del acero utilizado como refuerzo.

Después del proporcionamiento, 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, figura 3.



Figura 3. Elaboración de especímenes de concreto.

Los especímenes se descimbraron 24 horas después de ser elaborados, para someterlos a curado en inmersión de acuerdo a la norma NMX-C-403-ONNCCE-1999, la cual indica que el curado debe comenzar lo más pronto posible después del acabado, ver figura 4.



Figura 4. Descimbrado y etapa de curado de especímenes de prueba.

Para llevar un correcto control de la presente investigación asigno una nomenclatura a cada espécimen, en función de sus variables, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla II. Nomenclatura de especímenes de prueba.

Nomenclatura empleada	Significado
AGALR	Acero galvanizado embebido en concreto con cemento CPC 30R
A1018R	Acero normal embebido en concreto con cemento CPC 30R
AGALRS	Acero galvanizado embebido en concreto con cemento CPC 30RS
A1018RS	Acero normal embebido en concreto con cemento CPC 30RS

RESULTADOS

Potencial de Corrosión

El monitoreo de potencial de corrosión de los especímenes de prueba así como su interpretación se realizó de acuerdo a la Norma ASTM C876-09[8], agregando un rango más de acuerdo a la literatura [9], ver tabla III.

Tabla III. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

Potenciales de corrosión Norma ASMT C876-09	
Potenciales más positivos que -200 mV	10% de probabilidad de corrosión
Si está entre -200 y -350 mV	50% de probabilidad de corrosión
Si son más negativos que -350 mV	90 % de probabilidad de corrosión
< - 500	Corrosión Severa

Los resultados de la medición de potenciales de corrosión de los especímenes de concreto reforzado, se pueden observar en las figuras 5 a 7, que corresponden a las graficas del promedio de los especímenes con las mismas características.

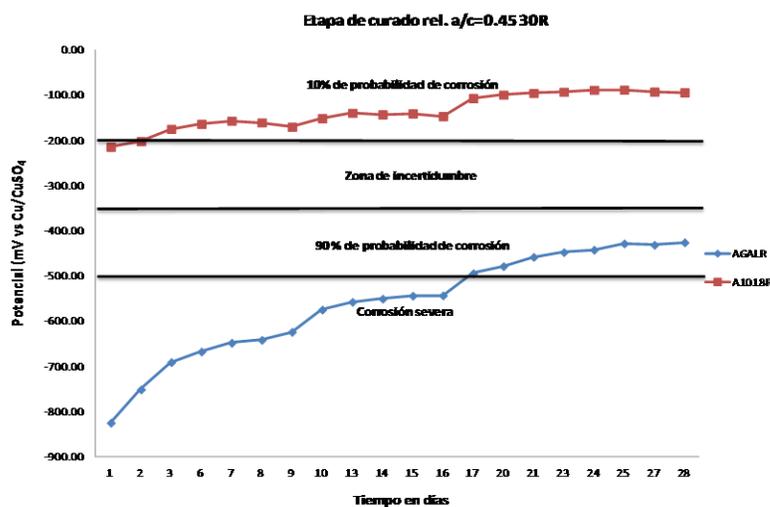


Figura 5. Especímenes con cemento CPC 30R, acero 1018 y galvanizado en etapa de curado.

En la figura 5 se puede observar que ambos aceros al inicio de la etapa de curado presentan valores de potenciales de corrosión más elevados que al final de la etapa de curado; conforme el tiempo pasa los potenciales empiezan a disminuir, así para el final de la etapa de curado, el acero normal embebido en concreto con cemento CPC 30R presenta una probabilidad del 10% de

corrosión y el acero galvanizado igualmente embebido en concreto con elaborado con cemento CPC 30R se ubica en la zona de 90 % de probabilidad de corrosión.

La figura 6 muestra el comportamiento del acero 1018 y acero galvanizado embebidos en concreto elaborado con cemento CPC 30R RS, de la misma forma que en la figura 5 se puede observar la tendencia de los potenciales a valores menos negativos en función del tiempo.

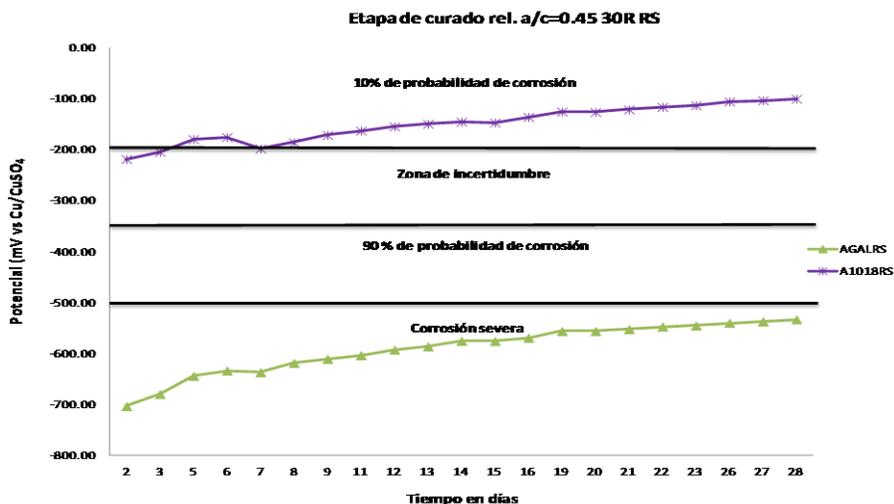


Figura 6. Especímenes con cemento CPC 30R RS, acero 1018 y galvanizado en etapa de curado.

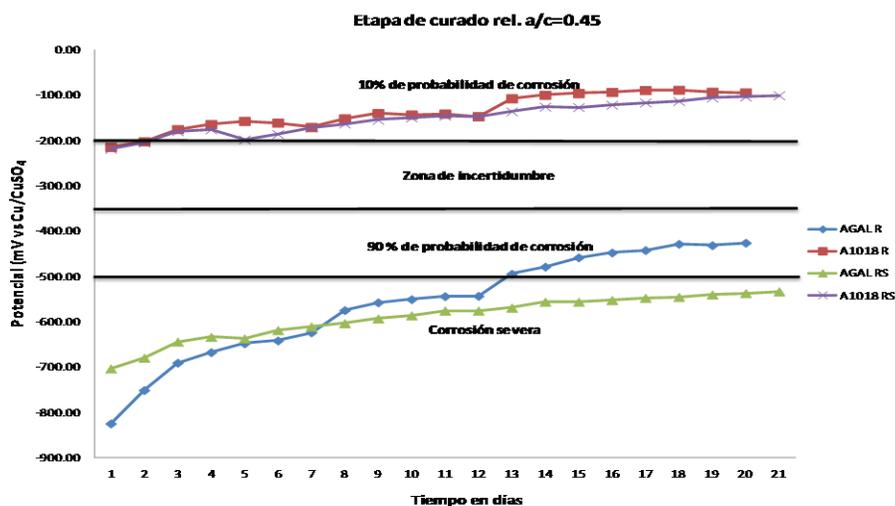


Figura 7. Comparación de acero de refuerzo en cemento CPC 30R y CPC 30R RS

En la figura 7 se muestra la comparativa de las graficas 5 y 6, esta grafica nos muestra la influencia del tipo de cemento usado en las mezclas, donde se puede observar que los aceros embebidos en concreto elaborado con CPC 30R RS potenciales menos nobles que los especímenes con CPC 30R.

Velocidad de corrosión

Las figuras 8 a 10 muestran el comportamiento de la velocidad de corrosión del acero 1018 y galvanizado, embebidos en concretos elaborados con cemento CPC 30R Y CPC 30R RS, durante la etapa de curado. La interpretación de los valores de i_{corr} se realizó con base a los rangos establecidos en el manual de la red DURRAR, tabla IV.

Tabla IV. Valores de i_{corr} para la determinación de la velocidad de corrosión.

i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Nivel de Corrosión
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderado
0.5 – 1	Elevada
>1	Muy elevada

La figura 8 muestra el comportamiento de la velocidad de corrosión de los dos aceros utilizados como refuerzo en concreto elaborado con cemento CPC 30R, ambos aceros al inicio de la etapa de curado muestra una velocidad considerada muy elevada, con el paso del tiempo tanto el acero 1018 como el galvanizado tienden a disminuir la velocidad de corrosión, tal es el caso que al final de la etapa de curado el acero normal se ubica en corrosión moderada y el acero 1018 en corrosión elevada.

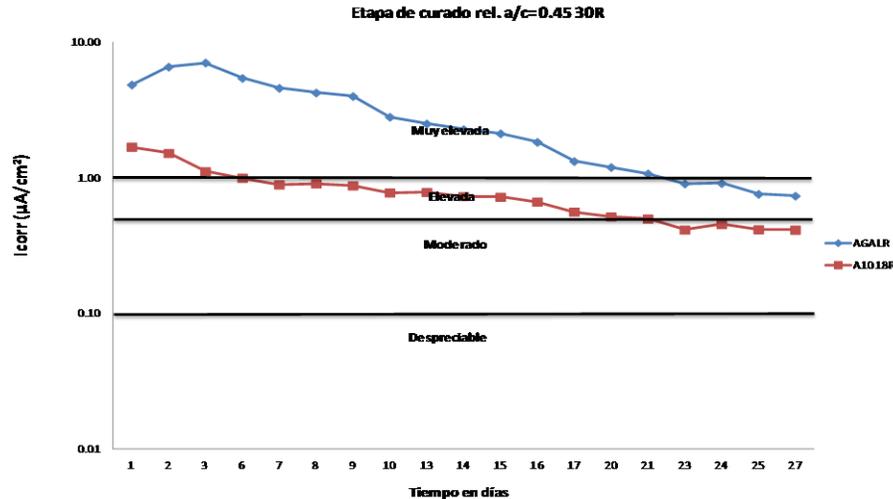


Figura 8. Especímenes con cemento CPC 30R, acero 1018 y galvanizado en etapa de curado.

En la figura 9 se puede observar el comportamiento de los aceros de refuerzo embebidos en concreto elaborado con cemento CPC 30R RS, ambos aceros presentan un comportamiento homogéneo, presentándose el acero galvanizado al inicio en una velocidad de corrosión muy elevada y al final de la etapa de curado se encuentra en el mismo rango pero con tendencia hacia la zona elevada. El acero 1018 presenta corrosión muy elevada, sin embargo conforme el tiempo

transcurre la velocidad disminuye, presentándose al final de los 28 días en velocidad de corrosión moderada.

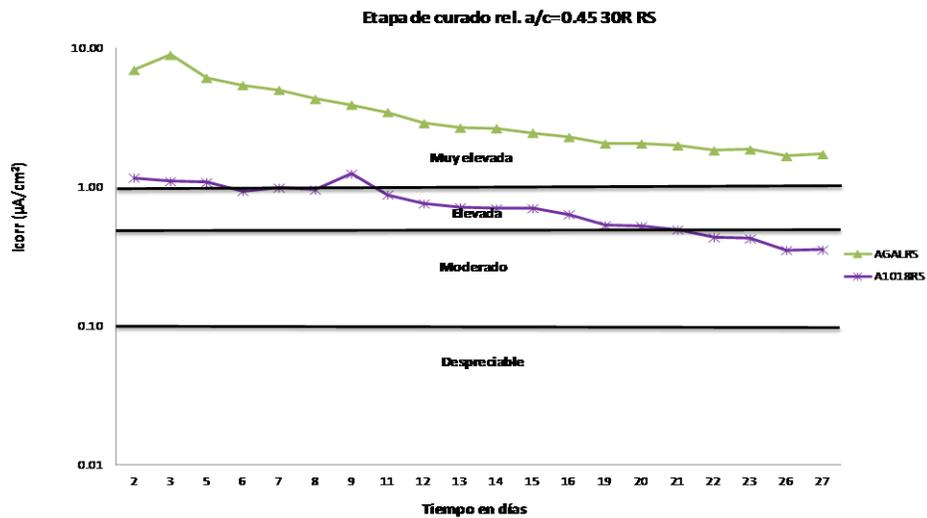


Figura 9. Especímenes con cemento CPC 30R RS, acero 1018 y galvanizado en etapa de curado.

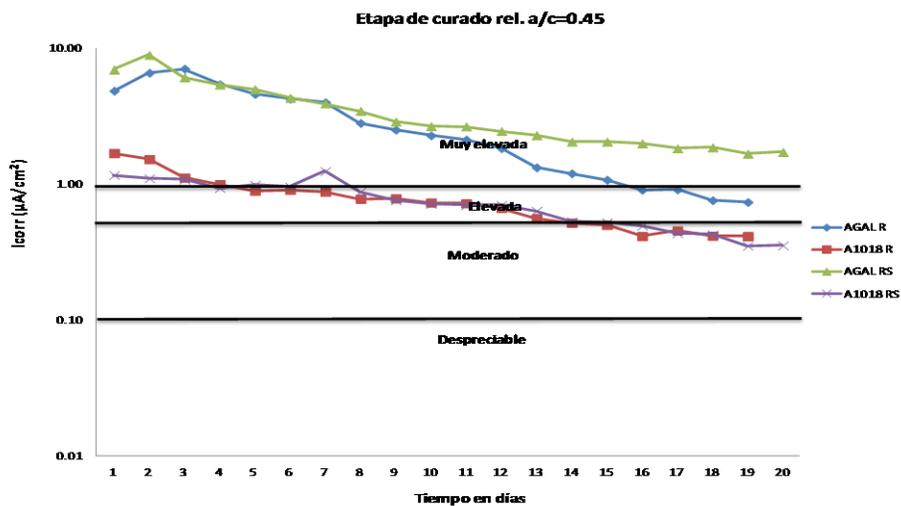


Figura 10. Comparación de acero de refuerzo en cemento CPC 30R y CPC 30R RS en la etapa de curado.

La comparativa de los dos tipos de acero y los dos tipos de cemento utilizados en la elaboración del concreto reforzado, se muestran en la figura 10. El comportamiento del acero galvanizado embebido en cemento CPC 30R y CPC 30R RS, presentan un comportamiento similar, sin embargo tanto el acero galvanizado como el 1018 embebidos en cemento CPC 30R

presentan un comportamiento más favorable en comparación de los embebidos en cemento CPC 30R RS.

CONCLUSIONES

El comportamiento de los potenciales de corrosión de los aceros 1018 y galvanizado presentaron un comportamiento homogéneo en su tendencia de ir del inicio de la etapa de curado al final de ella en el día 28 a valores más positivos, formación de la capa pasiva. Así también los resultados de icor nos indican una pasivación de los refuerzos 1018 y galvanizado conforme el avance de la etapa de curado, con tendencias a niveles de corrosión más despreciables, se pueden distinguir las tres etapas principales del proceso de fraguado en la etapa de curado y la variación que se presente dependiendo el tipo de cemento, teniendo un mejor fraguado el concreto elaborado con el tipo CPC 30R.

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, Pag. 1825–1832. (2007)
2. Dimitri V. Val y et al. “Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments” *Structural Safety*, Vol. 25, Pag. 343–362. (2003)
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, (2012).
4. C.P. Barrios Durstewitz y et al. “Cement Based Anode in the Electrochemical Realkalisation of Carbonated Concrete”, *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.7, Pág. 3178-3190, (2012).
5. 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, (2011).
6. M. A. Baltazar-Zamora y et al. “Efecto del tipo curado en la probabilidad de corrosión de concreto con acelerante expuesto a un medio urbano y marino”. CONGRESO ALCONPAT 2010, Xalapa, Ver; México. (2010).
7. ACI. *Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo* ACI 211.1, p. 29. Ed. IMCYC, México (2004).
8. *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete*, ASTM C 876-09, ASTM Volume 03.02, (2009).
9. H. Won-Song and V. Saraswathy, “Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures – A Review” *International Journal of Electrochemical Science*, Vol.2, Pág. 1-28, (2007).