
Velocidad de corrosión en el sistema acero-concreto: enfoque al método de curado

Ana Laura Estrada Gutiérrez, Abraham Leonel López León, María Concepción Chavarría Gaytán, Zarhelia Carlo Rojas

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

Se analizó el efecto de tres métodos de curado en la velocidad de corrosión de vigas de concreto reforzado expuestas en agua de mar sintética. Las velocidades de corrosión se obtuvieron por las técnicas electroquímicas de cinética (LPR y EIS) y una corroboración mediante termodinámica (Pourbaix). Los métodos de curado que mantienen mayor tiempo el estado húmedo en el concreto tienen un mejor comportamiento en cuanto a resistencia a la corrosión. La velocidad de corrosión indica que método de curado al vapor es el más propenso para el inicio de la corrosión del acero de refuerzo.

Palabras clave: Velocidad de corrosión, curado del concreto, resistencia a la polarización lineal, espectroscopia de impedancia electroquímica.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de curado y duración del curado del concreto reforzado tienen efectos cruciales en la resistencia y durabilidad del concreto (Huo y Wong, 2006), esto aunado a las condiciones ambientales a las cuales estarán sometidas las estructuras de concreto reforzado, mismas que pueden provocar corrosión del acero de refuerzo, éstas son causas de daño o falla a temprana edad de estructuras de concreto reforzado (Sathiyarayanan, 2006), sin embargo estos parámetros regularmente no se toman en cuenta de manera conjunta, creando así la necesidad de otorgar al diseñador de mezclas de concreto, herramientas de diseño que logren obtener estructuras que cumplan el ciclo de vida para el cual fueron diseñadas.

En los 90's autores como Balayssac (1995), hacen hincapié en la importancia del método de curado y de la duración del mismo en la susceptibilidad del concreto a sufrir carbonatación, en esta misma década Castro (1997), reporta la importancia el tiempo de curado en la durabilidad del concreto reforzado en un medio ambiente tropical, a su vez en recientes investigaciones, Huo y Wong (2006), reportaron la importancia del método de curado en el concreto en la reducción de agrietamientos a edad temprana, de aquí la importancia de evaluar de manera conjunta en el concreto reforzado, el método de curado así como el ambiente de exposición.

Los procedimientos de curado que es la parte medular de esta investigación se agrupan en tres categorías, aquellos que previenen o impiden la evaporación por la

interposición de un medio húmedo; aquellos que tratan de impedir o reducen la pérdida de agua por la interposición de un medio impermeable, el cual controla la evaporación y de aquellos que aceleran el desarrollo de la resistencia por aplicación artificial de calor, mientras el concreto es mantenido en condición húmeda, de estas tres categorías y de acuerdo a la importancia que este proceso tiene, se eligieron los métodos más comunes por cada una de ellas, lo cuales son el de inmersión, el de membrana impermeable y curado por vapor a presión normal. En este trabajo se hace una comparativa sobre la velocidad de corrosión de especímenes de concreto reforzado curados bajo tres métodos, elaborados con una relación agua/cemento 0.40, inmersas en agua de mar sintética (ASTM D1141-98), por un periodo de 120 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se elaboraron especímenes de concreto reforzado como se muestra en la figura 1, utilizando cemento portland ordinario CPO-RS (cemento portland ordinario tipo NMX C-414-ONNCCE) y agregados triturados.

El diseño de mezcla de volúmenes absolutos de la ACI (American Concrete Institute, 1992), se eligió para la realización de los especímenes esto fue, debido que al ser un método de diseño empírico-mecanicista donde la mayoría de sus datos son parámetros conocidos, hay una mejor reproducibilidad de la mezcla.

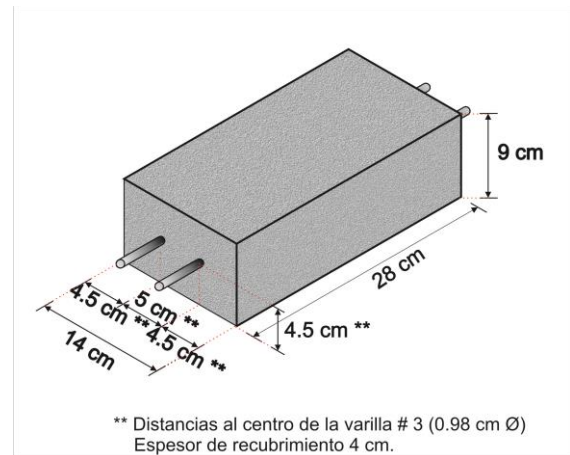


Fig. 1. Dimensiones de los especímenes.

Los parámetros de diseño que se emplearon son los siguientes: revenimiento máximo 75 mm, mínimo 25mm, tamaño máximo del agregado 3/4", relación agua cemento 0.40 para obtener una resistencia a la compresión simple de 40 MPa sin contenido de aire.

Al acero de refuerzo se le dio un tratamiento previo, el cual que consistió en limpieza de la varilla y colocación de tubo termo-contráctil, relleno de la interface entre el tubo y la varilla con sellador elástico de poliuretano no corrosivo, esto con el fin de tener bien delimitada el área de exposición del acero de refuerzo embebido en las vigas de concreto como se muestra en la figura 2.

Una vez coladas las vigas de concreto reforzado se procedió al curado, el cual se realizó de la siguiente manera:

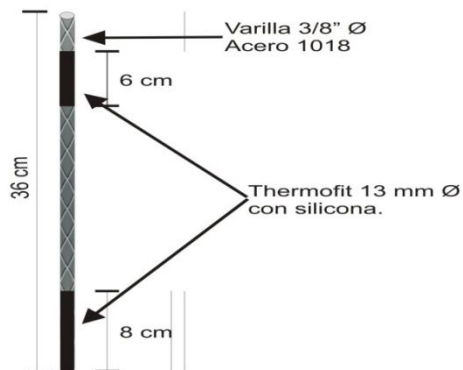


Fig. 2. Acondicionamiento de la varilla para ser embebida en las vigas de concreto, con un área de exposición de 60 cm^2 .

- El método de inmersión se realizó durante un periodo de 28 días, sumergiendo los especímenes de concreto reforzado en agua potable a una temperatura constante de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- El método de membrana consistió en envolver los especímenes de concreto reforzado con una película impermeable de polietileno con un espesor $e = 0.12 \text{ mm}$ por un periodo de 28 días.
- El método de curado al vapor, se realizó inyectando vapor a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por un periodo de 18 horas, siguiendo el procedimiento establecido por el ACI (1981).

Las vigas a la edad de un mes, se sumergieron en agua de mar sintética (ASTM D1141-98) y se comenzó a monitorear su velocidad de corrosión I_{corr} , mismas que se sometieron a ciclos de

secado-inmersión por periodos de 7 días \times 7 días, actividad que tiene la finalidad de acelerar el proceso de corrosión del acero de refuerzo hasta cumplir con los 120 días de exposición.

Métodos electroquímicos

La técnica de resistencia a la polarización lineal (RPL) es de las más utilizadas comercialmente para obtener monitoreo instantáneo de variaciones en la velocidad de corrosión en sistemas acuosos, así como la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE), frecuentemente empleada para dar validez al análisis y confiabilidad de los datos de resistencia a la polarización lineal (L.R. Hilbert, 2006). Para la obtención de las velocidades de corrosión se utilizó un equipo potenciostato - galvanostato ZRA de la marca ACM Instruments - GILL 8AC, la celda electroquímica se formó con el concreto y las dos varillas de acero de refuerzo, donde una de las varillas actuó como WE (electrodo de trabajo) y la varilla adyacente como CE (contra electrodo).

Este diseño de celda obedece a los diseños típicos empleados por Cottis y Turgoose (1999), donde se indica que un CE puede ser del mismo material que el WE, para el monitoreo y evaluación de la velocidad de corrosión del concreto reforzado; figura 3. Los parámetros para la medición de la resistencia a la polarización fueron: polarización de $\pm 25 \text{ mV}$, una velocidad de barrido de 5 mV/min .

Para la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica los parámetros fueron: amplitud de $\pm 10 \text{ mV}$, utilizando frecuencia de 0.01 Hz a $10\,000 \text{ Hz}$.

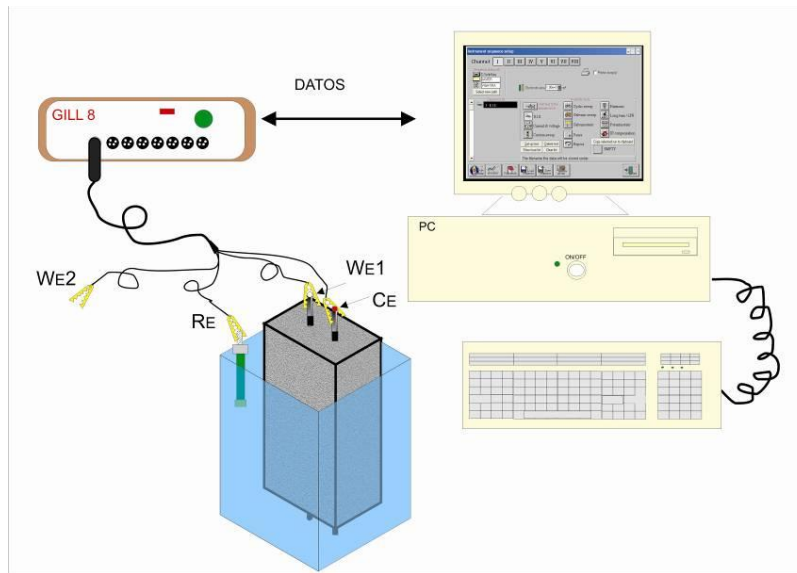


Fig. 3. Diagrama de conexión de celda, para el monitoreo de la velocidad de corrosión por el método de resistencia a la polarización lineal y de espectroscopia de impedancia electroquímica.

En ambas técnicas (resistencia a la polarización lineal y espectroscopia de impedancia electroquímica se utilizó el electrodo de referencia de Cu/CuSO_4 .

Mediante la aplicación del diagrama de potencial-pH (Pourbaix) se obtuvieron datos respecto a la termodinámica entre el metal y las especies asociadas a las condiciones medio ambientales dadas en este caso ambiente marino.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Resistencia a la polarización lineal (RPL)

En la figura 4 se presentan los valores de la velocidad de corrosión (I_{corr}) obtenidos a partir de las mediciones por la técnica de resistencia a polarización (RPL).

Analizando el gráfico de la figura 4 por medio del criterio sugerido por la red temática DURAR (Durabilidad de la armadura, 1997) tabla 1, de la cual se identificaron que las I_{corr} , obtenidas por la técnica de resistencia a la polarización lineal en todos los especímenes mostraron grado de corrosión de despreciable a moderado.

Sin embargo, el tipo de curado al vapor es el que muestra una I_{corr} más elevada durante el periodo de monitoreo, esto es asociado a que el curado al vapor ocasiona que el concreto tenga mayor porosidad; en cuanto a los especímenes curados por el método de membrana y de inmersión, se esperaba que el de membrana tuviera menor I_{corr} , debido a que su proceso de curado tiene un menor contacto con el agua.

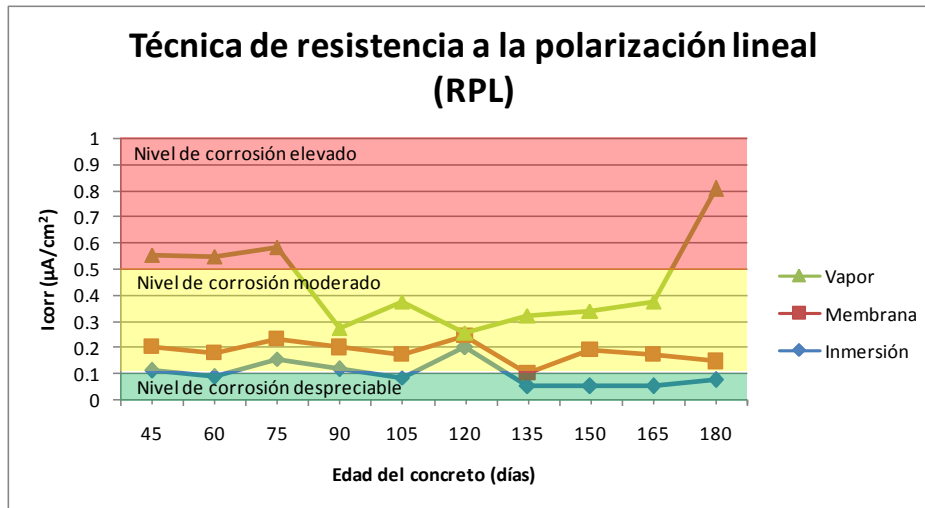


Fig. 4. I_{corr} (μA/cm²) obtenidos a las diferentes edades de los especímenes, por la técnica de resistencia a la polarización lineal comparados con el criterio DURAR (1997).

Tabla 1. Clasificación de los valores de I_{corr}, en términos de vida útil (DURAR, 1997).

I _{corr} (μA/cm ²)	Grado de corrosión
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderado
0.5 – 1	Elevada
> 1	Muy elevada

Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIE)

Analizando los diagramas de Nyquist para los distintos métodos de curado al final del periodo del monitoreo,

por el criterio de la Strategic Highway Research Program (SHRP, 1994), se apreció que el diagrama tiene un comportamiento típico de un concreto cuyo acero de refuerzo aun no está bajo un proceso activo de corrosión, pero aún con mayor tendencia a activarse que a permanecer pasivo, esto debido al rango de frecuencias al que se formó el semicírculo, esto puede explicar la baja respuesta del sistema a edad temprana. En cuanto a las I_{corr} de la figura 5, podemos apreciar un comportamiento similar al obtenido por la técnica de resistencia a la polarización lineal, donde el concreto reforzado curado con vapor sigue mostrando una tendencia a la activación en un futuro.

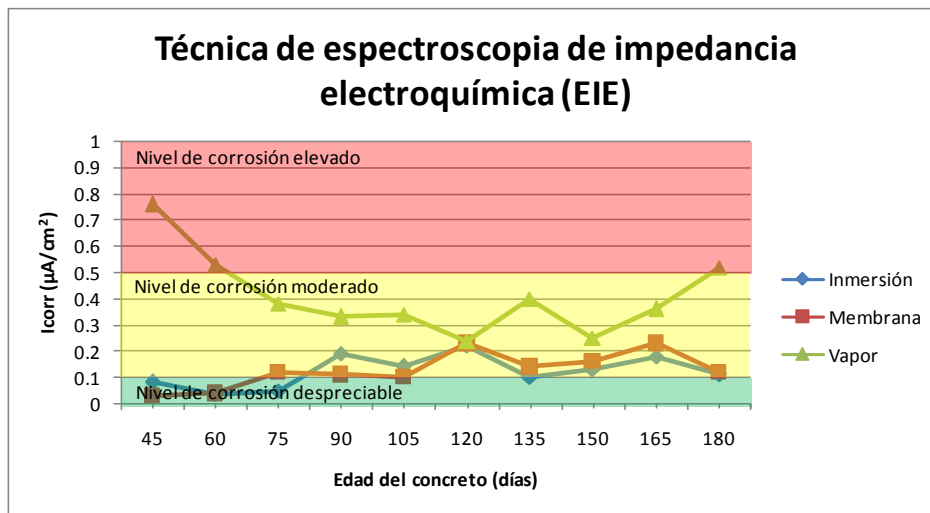


Fig. 5. I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) obtenidos a las diferentes edades de los especímenes, por la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica, comparados con el criterio DURAR.

Diagramas potencial-pH

Los diagramas de Pourbaix (figuras 6,7) muestran un comportamiento semejante durante el tiempo de exposición de las muestras, la superposición de los

potenciales sobre el diagrama indican pasividad del sistema en todos los casos, teniendo el cambio más significativo en el $\text{pH}=7$ para los especímenes expuestos a agua destilada y $\text{pH}=8$ en los expuestos en agua de mar sintética.

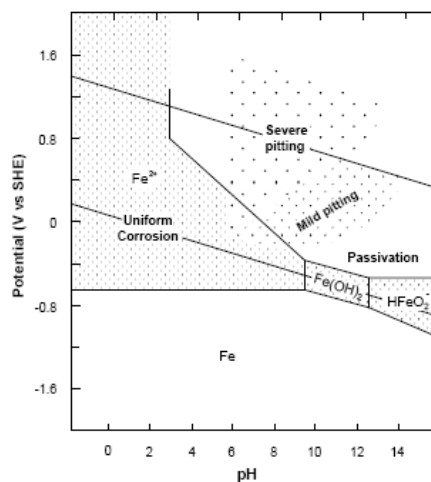
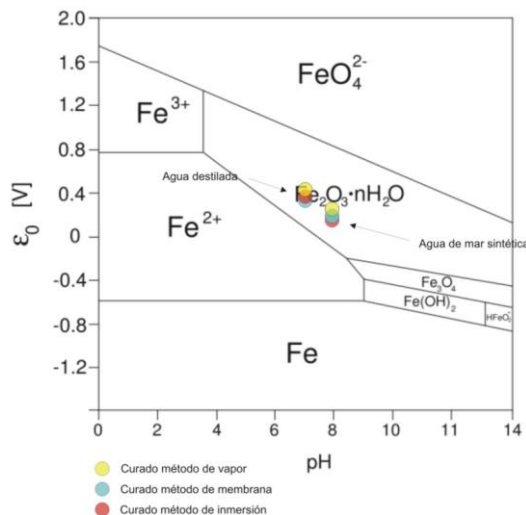


Fig. 6. Diagrama de Pourbaix para el Fe a 25°C para los especímenes a los 15 días de exposición.

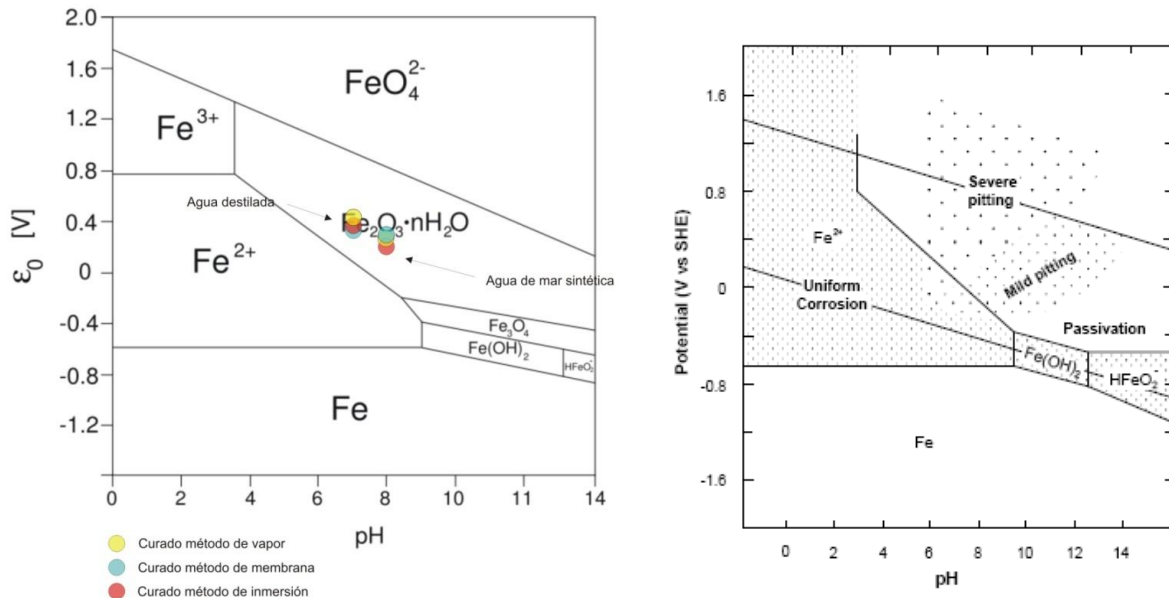


Fig. 7. Diagrama de Pourbaix para el Fe a 25⁰ C para los especímenes a los 120 días de exposición.

CONCLUSIONES

De la comparativa de las velocidades de corrosión por las distintas técnicas de experimentación, se aprecia que el sistema acero-concreto, curado por el método de vapor a presión atmosférica, es el que más susceptibilidad podría presentar a ser un sistema activo de corrosión en su acero de refuerzo.

Así mismo podemos apreciar que los rangos de I_{corr} que presentan las dos técnicas son indicadores que el concreto elaborado con relación agua/cemento 0.40, expuesto a condiciones marinas, con un espesor de recubrimiento de 4 cm, tendrá una pérdida en la sección de la armadura despreciable.

Los diagramas de Pourbaix muestran que los experimentos se encuentran en una zona de corrosión localizada, lo que indica que inicio el proceso de corrosión pero

logró pasivarse rápidamente, ya que en los potenciales de corrosión no existió un cambio entre ellos mayor a 0.1 V, motivo por el cual no salieron de la zona termodinámicamente estable.

Los métodos de curado que mantienen mayor tiempo el estado húmedo en el concreto tienen un mejor comportamiento en cuanto a resistencia a la corrosión.

REFERENCIAS

ACI. (1981). ACI 308-81: *Standard Practice for Curing Concrete*. ACI report, American Concrete Institute.

ASTM. (1991). ASTM C192-98: *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. American Society for Testing and Materials, USA.

ASTM. (1998). ASTM D1141-98: *Standard Practice for the Preparation of Substitute*

Ocean Water. American Society for Testing and Materials, USA.

Balayssac J. P., Détriché Ch. H. and Grandet J. (1995). *Effects of curing upon carbonation of concrete*. Construction and Building Materials Vol. 9 pp. 91-95.

Castro P., Veleza L. y Balancan M. (1997). *Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and accelerated tests*. Construction and Building Materials Vol. 11 pp. 75-91.

Cottis R., Turgoose S. (1999). *Electrochemical Impedance and Noise*. NACE Internacional, United States of America.

L.R. Hilbert. (2006). *Monitoring corrosion rates and localized corrosion in low conductivity water*. Corrosion Science Vol. 48 article in press.

Macdonald DD., El-Tantawy Y. A., Rocha-Filho R.C., Urquidi-Macdonald M. (1994). *Evaluation of electrochemical impedance techniques*

for detecting corrosion on rebar in reinforced concrete. Strategic Highway Research Program, Washington, DC. SHRP-ID/UFR-91-524,.

Red temática DURAR, (1997). *Manual del inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de concreto armado*, CYTED.

Huo, X. S., & Wong, L. U. (2006). *Experimental study of early-age behavior of high performance concrete deck slabs under different curing methods*. Construction and Building Materials, 20(10), 1049-1056.

Sathiyarayanan S., Natarajan P., Saravanan K, Srinivasan S., Venkatachari G.: (2006). *Corrosion monitoring of steel in concrete by galvanostatic pulse technique*. Cement and Concrete Composites Vol. 28 pp. 630-637.

Steven H. y William C. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México.