



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



**NECESIDADES DE NORMATIVA MEXICANA PARA MITIGAR LOS  
DAÑOS POR CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO  
REFORZADO “APARTADO, POTENCIALES DE CORROSIÓN”**

**M. A. Baltazar-Zamora<sup>1</sup>, D. Nieves-Mendoza<sup>1</sup>, P. Castro-Borges<sup>2</sup>,  
H. L. Hervert-Zamora<sup>3</sup>, E. E. Maldonado-Bandala<sup>2</sup>, E. I. Moreno<sup>4</sup>,**

1 Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil – Xalapa, Circ. G. Aguirre Beltrán s/n Xalapa, Veracruz, México.

2 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Mérida. Departamento de Física Aplicada. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73, Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

3 Universidad Politécnica de Altamira, Facultad de Ingeniería Industrial, Boulevard Manuel Cavazos Lerma #406 Local2 Altamira Centro. Altamira Tamaulipas C. P. 89600

4 Universidad Autónoma de Yucatán – Facultad de Ingeniería FI-UADY. Av. Industrias no Contaminantes Apdo. Postal 150. Mérida, Yucatán, México

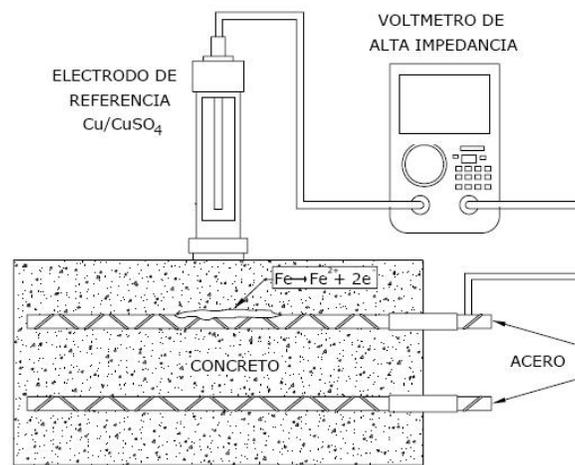
**RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo es hacer un planteamiento sobre la necesidad de contar con normativas mexicanas, para el análisis sobre las medidas de prevención, control, evaluación y mantenimiento que se tiene en México en las estructuras de concreto reforzado (ECR's), relacionado con el fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo. Proponiendo una normativa sobre la medición de potenciales de corrosión de media celda (Ecorr) en las ECR's, ya que a través del Ecorr es posible establecer de manera rápida y sencilla si una estructura presenta o no problemas de corrosión en su sistema de refuerzo. Se realizó un análisis de las normas mexicanas que tienen relación directa o indirecta con la corrosión de acero de refuerzo.

**Palabras claves:** Normatividad, potencial de corrosión, estructuras de concreto reforzado.

### ANTECEDENTES

La medición del potencial de media celda o potencial de corrosión, es la forma más sencilla de evaluar la severidad de la corrosión del acero de refuerzo, ya que es cualitativamente asociada con la velocidad de corrosión ( $i_{corr}$ ) del acero. La diferencia de potencial se puede medir entre un electrodo estándar de referencia (normalmente de cobre/sulfato de cobre ( $Cu/CuSO_4$ )) y un multímetro de alta impedancia, el electrodo de referencia es colocado sobre la superficie del concreto con el acero de refuerzo debajo [1][2]. El electrodo de referencia es conectado al polo positivo del voltímetro y el acero de refuerzo al polo negativo (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema de medición del potencial de corrosión.

Una indicación de la probabilidad relativa de la corrosión actividad, obtenida empíricamente a través de mediciones durante 1970 [3], que establece directrices generales para la evaluación de la corrosión en estructuras de concreto como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Criterio de evaluación de potenciales de corrosión, Norma ASTM C876-94.

Potencial (mV vs $Cu/CuSO_4$ )	Riesgo de Corrosión
$> -200$	10 % de probabilidad de corrosión
$-200$ a $-350$	Incertidumbre de corrosión
$< -350$	90 % de probabilidad de corrosión

### **Factores que influyen en las lecturas de potencial de media celda**

Al interpretar los datos de  $E_{corr}$ , se debe tener en cuenta factores como el oxígeno, la concentración de cloruros, y la resistencia eléctrica del concreto, cada uno de ellos tiene una



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



importante influencia en las lecturas obtenidas. Es importante entender y considerar estos factores durante el estudio de potencial de media celda y complementar la evaluación con otros estudios no destructivos. Una simple comparación de Ecorr con lo establecido en la norma ASTM sobre la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo podría resultar sin sentido. Por ejemplo, una lectura más negativa de potencial en general se considera que indican una mayor probabilidad de la corrosión. Esta "regla" general no podrá ser siempre válida; muchos factores pueden modificar las lecturas de potencial de la media celda, hacia valores más positivos o negativos, pero estos cambios no tienen necesariamente que estar relacionada con la severidad de la corrosión del acero de refuerzo [4][5].

La propuesta de norma mexicana para la medición de potenciales de corrosión en estructuras de concreto reforzado, busca unificar el procedimiento para la correcta medición del Ecorr, que conduzca al operador durante la realización de las mediciones in-situ y/o en laboratorio, obteniendo resultados confiables y de fácil interpretación (con un alto grado de reproducibilidad y repetibilidad). Existe una cantidad grande de información, generada por los diferentes grupos de trabajo nacionales, con datos reales de concretos reforzados en diferentes climas, con los cuales se podría comenzar a trabajar para llegar a términos adecuados.

### **DESARROLLO DE PRE-NORMA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO METODO PARA LA MEDICIÓN DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN**

#### **1. OBJETIVO**

Esta norma mexicana especifica el método de prueba para la medición del potencial de corrosión del acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto, mediante el uso de electrodos de referencia, en el campo y el laboratorio, con el propósito de determinar la actividad de corrosión del acero de refuerzo.

#### **2. CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma mexicana es aplicable a la evaluación de estructuras en servicio y para desarrollo de investigaciones en laboratorio, sin restricción por su tamaño o el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo. Puede utilizarse en cualquier instante de la vida del elemento de concreto. Los resultados obtenidos por el uso de este método de ensayo no deben ser considerados como un medio para estimar el propiedades estructurales del acero o del miembro de concreto reforzado. Los resultados solo indican la probabilidad de que exista o no corrosión del acero de refuerzo en el instante de hacer la medición.

##### **2.1. Responsabilidad**



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México  
Del 12 al 14 de Noviembre



La interpretación de las mediciones de potenciales de corrosión debe ser responsabilidad del ingeniero o técnico especialista con experiencia en el campo de los materiales de concreto y pruebas de corrosión

### 3. REFERENCIAS (a desarrollar)

### 4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES (a desarrollar)

### 5. CLASIFICACIÓN (a desarrollar)

## 6. ESPECIFICACIONES

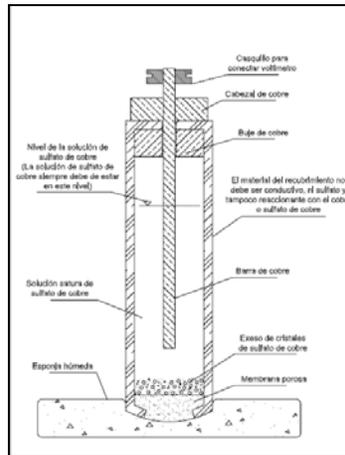
### 6.1 Equipo

Este método de ensayo está limitado por un circuito eléctrico. Un concreto con superficie seca con un comportamiento dieléctrico y las superficies que están cubiertos con un material dieléctrico, (acero con inhibidores, recubrimientos, imprimaciones) no proporcionan un circuito eléctrico aceptable. La configuración básica del circuito eléctrico de este ensayo se muestra en la figura 1.

#### 6.1.1 Media Celda (Electrodo de Referencia)

Una media celda de cobre-sulfato de cobre (Nota 1) se muestra en la figura 2. Se compone de un tubo rígido o compuesto de contenedores un material dieléctrico que no reactivo con cobre o cobre sulfato, un tapón poroso de madera o de plástico que sigue mojado por capilaridad, y una varilla de cobre que está inmerso dentro del tubo en una solución saturada de sulfato de cobre. La solución debe de ser preparados con cristales de sulfato de cobre con grado reactivo disueltos en agua destilada o desionizada. La solución puede ser considera saturada cuando un exceso de cristales no disueltos se encuentra en la parte inferior de la solución. El tubo rígido o contenedor deberá tener un interior de diámetro no inferior a 1" (25 mm), el diámetro del tapón poroso no será inferior a 1 / 2" (13 mm), el diámetro de la varilla de cobre inmerso no será inferior a 1 / 4" (6 mm), y su longitud no será inferior a 2 pulgadas (50 mm).

El presente criterio es sobre la base de la media de celda de la reacción  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{++} + 2\text{e}$  indican que el potencial de la media celda saturada de cobre-sulfato de cobre con referencia al electrodo de hidrógeno es -0,316 V a 72 ° F (22,2 ° C). La celda tiene un coeficiente de temperatura de alrededor de 0.0005 V más negativo por cada ° F en el rango de temperaturas de 32 a 120 ° F (0 a 49 ° C).



**Figura 2.** Componentes de la media celda cobre-sulfato de cobre (Electrodo de referencia).

### 6.1.2 Dispositivo de contacto eléctrico

Un dispositivo de contacto eléctrico será utilizado para proporcionar una resistencia eléctrica baja en el puente líquido entre la superficie del concreto y la media celda. Este estará compuesto por una esponja o varias esponjas pre-humedecidas con una baja resistencia eléctrica en contacto con la solución. La esponja puede ser colocada alrededor y pegada a la punta de la media celda a fin de que proporcione continuidad eléctrica entre el tapón poroso y la superficie del miembro de concreto.

### 6.1.3 Solución de contacto eléctrico

Con el fin de normalizar la caída de potencial a través de la porción de concreto del circuito, se utiliza una solución para mojar el dispositivo de contacto eléctrico. Esta solución se compone de una mezcla de 95 ml de agente humectante (agente humectante disponible comercialmente) o un detergente de hogar líquido mezclado con 5 galones (19 L) de agua potable. En trabajos con temperaturas menores de 50 ° F (10 ° C), hay que añadir aproximadamente el 15% en volumen ya sea de ether isopropílico o alcohol desnaturalizado para prevenir una perturbación de la solución de contacto, ya que esta podría inhibir la penetración de agua en el concreto para el ensayo.

### 6.1.4 Voltímetro.

El voltímetro debe ser de alta impedancia. La impedancia de entrada no será menos de 10 mV cuando son operados en un máximo de la escala de 100 mV. Las divisiones en la escala utilizada deberá ser tal que una posible diferencia de 0,02 V o menos se puede leer sin interpolación.

### 6.1.5 Los cables eléctricos de conexión.



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



El cable eléctrico deberá llevar ser de tal dimensión que su resistencia eléctrica para la longitud utilizada no perturbe el circuito eléctrico por más de 0.0001 V. Esto se ha logrado mediante el uso de líneas de no más de un total de 150 m (500 ft) de cable de al menos N ° 24 AWG. El alambre deberá estar debidamente revestido con un aislamiento directo (incrustado).

### 6.2 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

#### 6.2.1 Consideraciones a la media celda (Electrodo de Referencia).

El tapón poroso debe estar cubierto cuando no se utilice por periodos largos, esto con el fin de que no se seque hasta el punto de que se convierta en un dieléctrico (al secado, los poros pueden ser obstruidos con el sulfato de cobre cristalino). Si las celdas no producen la reproducibilidad de acuerdo a las celdas que se describen en la Sección X, la limpieza de la varilla de cobre en la media celda podrá rectificar el problema. La varilla puede ser limpiada con una solución diluida de ácido clorhídrico. La solución de sulfato de cobre se renovará ya sea mensual o antes de cada uso, cualquiera que sea el periodo que más largo. En ningún momento será utilizado cualquier material que pudiera contaminar la varilla de cobre o el tubo de la media celda al limpiarla.

### 7. PROCEDIMIENTO

#### 7.1 Espacio entre las mediciones.

Si bien no existe un espacio mínimo predefinido entre las mediciones sobre la superficie del miembro o elemento de concreto, es de escaso valor tomar dos mediciones prácticamente en el mismo punto. Por el contrario, las mediciones realizadas con gran espaciamiento pueden no detectar la actividad de corrosión que esté presente, no resultando adecuado para la acumulación de datos para la evaluación. El espacio estará, por tanto, ser compatible con el miembro o elemento de concreto objeto de la investigación y la intención del uso final de las mediciones.

#### 7.2 Conexión eléctrica del acero:

Hacer una conexión eléctrica directa al acero de refuerzo por medio de una compresión de tipo pinza de tierra, o por abrazaderas o soldando una varilla protuberante. Para garantizar una conexión de baja resistencia eléctrica, raspar la barra o el cepillo de alambre antes de conectar al acero de refuerzo. En algunos casos, esta técnica podrá requerir la remoción de algo de concreto para exponer el refuerzo de acero. Conectar eléctricamente el acero de refuerzo a la terminal positiva de voltímetro. La continuidad eléctrica de componentes de acero con el acero de refuerzo puede ser establecido por la medición de la resistencia entre los componentes de acero ampliamente separados en la cubierta. Donde los ensayos se duplican las mediciones son continua por un periodo largo de tiempo, puntos idénticos de conexión se debe utilizar para una determinada medición.



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



### **7.3 Conexión eléctrica de la media celda.**

Conecte eléctricamente un extremo del alambre de plomo a la media celda y el otro extremo de este mismo cable a la terminal negativa (tierra) del voltímetro.

### **7.4 Previa humectación de la superficie del concreto:**

Bajo ciertas condiciones, la superficie de concreto o material sobrepuesto, o ambos, deben ser pre-humedecidos por cualquiera de los dos métodos descritos en 7.5 o 7.6 con la solución descrito en 6.1.3 para disminuir la resistencia eléctrica del circuito.

Una prueba para determinar la necesidad de pre-humectación puede ser como sigue:

Coloque la media celda sobre la superficie de concreto y no la mueva. Observar el voltímetro para uno de las siguientes condiciones:

- a) El valor medido del potencial de media celda no cambia o fluctúa con el tiempo.
- b) El valor medido del potencial de media celda cambia o fluctúa con el tiempo.

Si la condición (a) se observa, la pre-humectación en la superficie del concreto no es necesario. Sin embargo, si la condición (b) es observada, se requiere pre-humectación por un tiempo de tal manera que la lectura del voltaje sea estable por al menos 5 minutos en (+- 0.02 V.). Si con la pre-humectación no se puede obtener la condición (a), ya sea que la resistencia eléctrica del circuito es demasiado grande para obtener mediciones validas de potencial de media celda del acero, o corrientes extraviadas cerca de sistema de tracción de corriente directa o de otro tipo corriente directa fluctuante, tales como la soldadura por arco, están afectando a las lecturas. En cualquiera de los casos, el método de media celda no debe usarse.

### **7.5 Método A para pre-humectaciones en la superficie del concreto**

Método A para esas condiciones donde una cantidad mínima de pre-humectación se requiere para obtener la condición (a), tal como se describe en 7.2. Lograr esto por aspersión o de otro modo humectando la superficie entera del concreto o sólo los puntos de medición tal como se describe en 7.1 con la solución descrita en 6.1.3. La superficie debe permanecer agua entre la red de puntos cuando se inician las mediciones de potencial.

### **7.6 Método B para pre-humectación en la superficie del concreto**

En este método, saturar las esponjas con la solución descrita en 6.1.3 y colocar sobre la superficie de concreto en los lugares descritos en el 7.1. Deje las esponjas en su lugar durante el período de tiempo necesario para obtener la condición (a) se describe anteriormente. No retire las esponjas de la superficie de concreto de que la lectura de potencial de media celda se haya realizado. Al



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México  
Del 12 al 14 de Noviembre



hacer las mediciones de potencial de media celda, coloque el dispositivo de salida eléctrica descrito en el 6.1.2 firmemente en la parte superior de las esponjas en lo que dura la medición.

### 7.7 Mediciones bajo del agua, horizontales, verticales:

Las mediciones de potencial detectan corrosión activa, pero no necesariamente la ubicación de esta. La localización precisa de la corrosión activa requiere del conocimiento de la resistencia eléctrica del material entre la media celda y el acero corroído. Si bien las mediciones bajo de agua son posibles, los resultados en relación con la ubicación de la corrosión deben interpretarse con mucho cuidado. A menudo no es posible localizar con precisión los puntos de corrosión activa bajo del agua en ambientes de agua salada porque las lecturas de potencial a lo largo del elemento o miembro (de concreto) parece uniforme. Sin embargo, la magnitud de las lecturas sirve para indicar si activa o no está ocurriendo corrosión. Cuidar que durante todas las mediciones bajo del no se contamine y que ninguna parte que no sea el tapón poroso de la punta del electrodo de media celda cobre-sulfato de cobre entra en contacto con agua.

Realizar horizontal y verticalmente las mediciones es exactamente hacia arriba como verticalmente hacia abajo tomarlas. Sin embargo, además, debe garantizarse que la solución de cobre-sulfato de cobre de media celda haga contacto eléctrico simultáneo con el tapón poroso y la varilla de cobre en todo momento.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Registro de los valores de potencial de media celda.

Registro de los potenciales eléctricos de media celda con aproximación de 0.01 V ( 10 mV). Reportar todos los potenciales de media celda en Volts y hacer la corrección por temperatura si la temperatura de la media celda se encuentra fuera del rango de  $72 \pm 10$  ° F ( $22,2 \pm 5,5$  ° C). El coeficiente de temperatura la corrección se da en 7.1.1

### 8.2 Presentación de Datos

Prueba de mediciones podrán ser presentadas por uno o ambos métodos. El primero, un mapa de equipotenciales, proporciona un entorno gráfico para la delimitación de las zonas en los miembros donde la corrosión actividad podría estar ocurriendo. El segundo método, diagrama de frecuencias acumuladas, provee e indica la magnitud de zona afectada del miembro de concreto.

#### 8.2.1 Mapa de contorno de isopotenciales

En una escala adecuada, el plano de vista de los miembros concretos, la cuadrícula de localización de los valores de potenciales de media celda del acero en concreto y el dibujo del



## **3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**

**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



contorno de potenciales iguales a través de puntos iguales o interpolados de valores iguales. El máximo intervalo de contorno será 0,10 V.

### **8.2.2 Distribución de Frecuencia Acumulada (a desarrollar)**

## **8.3 Interpretación de los resultados**

### **8.3.1 Interpretación de potenciales**

Los potenciales de media celda normalmente se interpretan utilizando una técnica de magnitud numérica o una técnica de diferencia de potencial, o una combinación de ambas.

#### **8.3.1.1 Magnitud numérica de potencial**

La magnitud numérica del potencial por lo general proporciona e indica la presencia o ausencia de corrosión del acero embebido en concreto o mortero de cemento Portland no carbonatado, siempre que el acero no tenga algún recubrimiento metálico, por ejemplo, el galvanizado. Los voltajes que se muestran son referenciados al electrodo de cobre-cobre sulfato, teniendo la siguiente interpretación

- Si los potenciales en una superficie son más positivos de -200 mV vs Cu/CuSO<sub>4</sub>, hay un 10% de probabilidad de que la corrosión del acero de refuerzo esté ocurriendo en el momento de la medición.
- Si los potenciales en un área están en el rango de -200 mV a -350 mV vs Cu/CuSO<sub>4</sub>, la actividad de corrosión del acero de refuerzo en esa zona es de 50%.
- Si potenciales en una superficie son más negativas de -350 mV vs Cu/CuSO<sub>4</sub>, es superior al 90% la probabilidad de que la corrosión del acero de refuerzo este ocurriendo en el momento de la medición.

## **8.4 Factores que influyen en las lecturas de los potenciales de corrosión. (Casos especiales)**

### **8.4.1 La concentración de oxígeno (a desarrollar)**

### **8.4.2 Carbonatación (a desarrollar)**

### **8.4.3 Concentración del Ion cloruro (a desarrollar)**

### **8.4.4 El uso de Inhibidores de Corrosión (a desarrollar)**

### **8.4.5 Cubierta Epòxica y Barras Galvanizadas (a desarrollar)**

### **8.4.6 Cubierta densa de concreto (a desarrollar)**

### **8.4.7 La Resistencia del concreto (a desarrollar)**

### **8.4.8 Capas orgánicas y Selladores (a desarrollar)**

### **8.4.9 La reparación del parche de concreto (a desarrollar)**

### **8.4.10 Los Sistemas de Protecciones Catódicas y perdida de Corriente (a desarrollar)**

## **9. REPORTE (a desarrollar)**



**3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008**  
**Chihuahua; Chih. México**  
**Del 12 al 14 de Noviembre**



**9.1 Margen de error en las lecturas. (a desarrollar)**

**CONCLUSIONES**

Se ha presentado el contenido posible de una prenorma mexicana para la evaluación de potenciales de corrosión en concreto reforzado, con el fin de uniformizar criterios para la evaluación de estructuras de concreto hidráulico dañada o deteriorada.

El contenido incluyó aspectos desarrollados y por desarrollar. El contenido de la pre-norma incluye puntos importantes para la realidad mexicana y que no se detectan fácilmente en la literatura

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo parcial de CONACYT mediante los proyectos: Ciencia Básica 57420 y CIAM 54826. D. Nieves, E. Maldonado y M. Baltazar agradecen el apoyo de CONACYT dentro de estos proyectos para estancias posdoctorales. Los autores agradecen a M Balalancán su apoyo en la obtención de información necesaria para algunas partes del trabajo.

**REFERENCIAS**

- 1) ASTM C876-91, "Standard Test for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete", Annual Book of ASTM Standars, Vol. 04.02, Philadelphia (1992).
- 2) NMX-C-403-ONNCCE-1999 "Concreto Hidráulico para su uso Estructural" Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México D.F. (1999).
- 3) Stratfull, R.F., "Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete," Highway Research Record 433, 1973.
- 4) Ping Gu, J.J. Beaudoin, "Obtaining Effective Half-Cell Potential Measurements in Reinforced Concrete Structures", Construction Technology Update No. 18, National Research Council of Canada, July 1998, ISSN 1206-1220.
- 5) J.P. Broomfield, "Assessing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures", in Corrosion and Corrosion Protection on Steel in Concrete. Proceedings of International Conference, University of Sheffield, U.K., Edited by R.N. Swamy, 1994, Vol. 1. pp. 1-25