COMPORTAMIENTO DE LA CINÉTICA DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN CONCRETO EXPUESTO AL AMBIENTE DE LA CD. DE XALAPA, VER PROYECTO DURACON-

Miguel A. Baltazar Zamora[1], Demetrio Nieves [1], Heidi Hervert[2]Carlos Barrios [3], José Castorena [3], Facundo Almeraya [4], Arturo Ortiz [1]*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 551-556

COMPORTAMIENTO DE LA CINÉTICA DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN CONCRETO EXPUESTO AL AMBIENTE DE LA CD. DE XALAPA, VER PROYECTO DURACON-

Miguel A. Baltazar Zamora[1], Demetrio Nieves [1], Heidi Hervert[2]Carlos Barrios [3], José Castorena [3], Facundo Almeraya [4], Arturo Ortiz [1]*

1: Facultad de Ingeniería Civil-Xalapa, Universidad Veracruzana, Xalapa Ver., México.
2: Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Tamaulipas, México.
3: Facultad de Ingeniería- Los Mochis. Universidad Autónoma de Sinaloa. Los Mochis, Sinaloa, México
4: Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Chihuahua, Chih., México.

** E-mail: mbaltazar@uv.mx*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento de la corrosión del acero de refuerzo en concreto expuesto al ambiente al ambiente de la ciudad de Xalapa, Ver., para caracterizar el efecto en la durabilidad ya que esta depende, no solo de sus características mecánicas sino también del medio ambiente en el que van estar inmersas como se han demostrado investigaciones recientes. Se fabricaron 12 vigas de 15 x15 x 30 cm., 6 con acero de refuerzo y 6 sin acero, Se diseñaron dos tipos de concreto, uno con una relación a/c = 0,65 y otro de relación a/c = 0,45, con un mismo tipo de cemento, varillas de acero al carbono 1018 de 3/8" de diámetro, en tres espesores de recubrimiento, 1.5, 2.0 y 3.0 cm. Las pruebas para evaluar la susceptibilidad a la corrosión del acero de refuerzo, fueron resistencia a la polarización la cual nos indica la velocidad de corrosión del acero de refuerzo y el monitoreo de potenciales de corrosión en base a la norma ASTM C-876. Los resultados obtenidos de los primeros 8 meses de monitoreo nos indican potenciales nobles con valores más positivos que -200 mV lo que representa un 10% de probabilidad de corrosión, la magnitud de la velocidad de corrosión es menor a 0.1 $\mu A/cm^2$, que de acuerdo al manual de la red DURAR se considera despreciable.

Palabras Claves: *Durabilidad, Corrosión, Concreto, Medio Ambiente, Recubrimiento*

Abstract

The present paper evaluates the performance of the corrosion of steel reinforcement in concrete exposed to the enviroment of the Xalapa city, Ver., to characterize the effect on its durability as this depends not only on its mechanical properties but also the environment in which they will be immersed as recent investigations have shown. It was manufactured 12 beams of 15 x 15 x 30 cm., 6 with steel reinforcement and 6 without steel, Two types of concrete were used with w/c ratios of 0.65 and 0.45, with a same type of cement, carbon steel rods of 1018 of 3/8" diameter, in three thicknesses coating, 1.5, 2.0 and 3.0 cm. The tests to evaluate the susceptibility to corrosion of steel reinforcement were resistance to polarization which shows the corrosion rate of the steel reinforcement and monitoring of corrosion potential on the basis of norm ASTM C-876. The results of the first 8 months of monitoring shows potential with noble values more positive than -200 mV which represents 10% chance of corrosion, the magnitude of the corrosion rate is less than 0.1 μ A/cm2, which according to the manual network DURAR is considered negligible.

Keywords*: Durability, Corrosion, Concrete, Environment, Coating*

1. INTRODUCCIÒN

Hasta hace unos años, se pensaba que las estructuras de concreto hidráulico tenían una vida útil ilimitada, y que su durabilidad dependía únicamente de sus características mecánicas, por lo que, durante la etapa de su diseño, no se tomaban en cuenta las condiciones ambientales a las cuales iban ha estar expuestas. Hoy en día, diferentes investigadores han demostrado que, la durabilidad de dichas estructuras dependen, no solo de sus características mecánicas sino también del medio ambiente en el que van a estar inmersas [1]. Uno de los esfuerzos

más recientes para relacionar la durabilidad de las estructuras de concreto con el medio ambiente, es el realizado por el grupo DURACON (Influencia del medio ambiente en la durabilidad del concreto), a través del proyecto del mismo nombre que es auspiciado por el Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Este proyecto está enfocado a estudiar el comportamiento del concreto hidráulico expuesto a diferentes condiciones ambientales de Ibero América. En México se tienen 14 estaciones de monitoreo, una de ellas es la estación que se encuentra en la Cd. de Xalapa, en el estado de Veracruz. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de los primeros ocho meses del monitoreo de la corrosión en las vigas expuestas a un medio ambiente catalogado como urbano.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales para la fabricación de vigas de concreto.

Los especimenes bajo estudio fueron fabricados tomando en cuenta las siguientes especificaciones:

1. Tipo de cemento: Cemento Pórtland Ordinario
2. Agregado Siliceo triturado de 19 mm tamaño máximo, densidad de 2.58
3. Arena cuarzosa, densidad de 2.50
4. Relación a/c: 0.45 (f´c =350 kg/cm2)
5. Relación a/c: 0.65 (f´c =210 kg/ cm2)
6. Adición de plastificante 0.3% por peso de cemento (sikament 190 CR).
7. Revenimiento 10 ±1.0 cm
8. Cimbra metálica.
9. Curado bajo agua por 7 días.

La dosificación de las mezclas se realizo, para dos diferentes relaciones agua/cemento 0.45 y 0.65, y la cantidad de material utilizado se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Dosificación de las mezclas de concreto.

Contenido (Kg/m^3)	*Relación 0.45*	*Relación 0.65*
Cemento	411	285
Agua	185	185
Agregado pétreo	1010	1033
Agregado fino	731	812
Aditivo (plastificante)	4 cc/Kg cemento	

2.2 Preparación y colocación de las vigas

Para cada estación fueron elaboradas 12 vigas de concreto de 15 x 15 x 30 cm., de las cuales 6 son de concreto simple y las otras 6 de concreto reforzado con 6 varillas de acero del # 3 (9.5 mm de diámetro). Las varillas fueron colocadas dentro de las vigas, a 3 diferentes espesores de recubrimiento de concreto: 1.5, 2.0 y 3.0 cm., la figura 1 muestra un croquis de la geometría de las vigas del proyecto. Las vigas fueron colocadas en soportes metálicos, con una cara orientada hacia los vientos predominantes (cara expuesta), y la otra cara hacia los vientos no predominantes (cara resguardada).

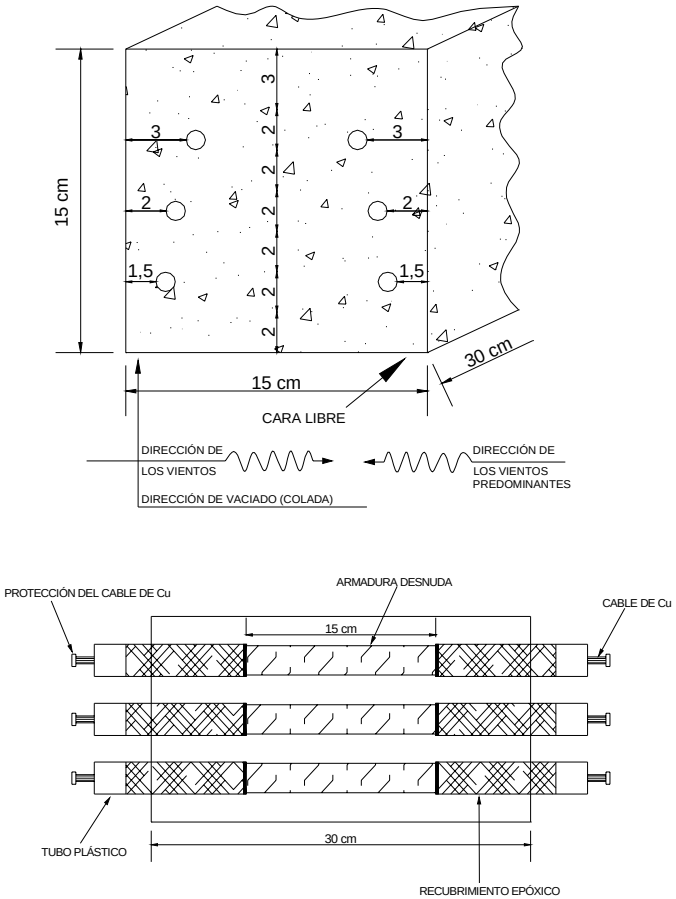


Figura 1. Croquis de la sección transversal y longitudinal de las vigas de concreto reforzado.

Las vigas de concreto reforzado son empleadas para realizar la evaluación de parámetros electroquímicos (Ecorr, icorr y ρ). La i_{corr} fue medida usando la técnica de Resistencia a la Polarización Lineal (Rp) de acuerdo a FELIU y a la Red DURAR[2] [3]. La figura 2 muestra la estación de ensayo natural del

Proyecto DURACON en la Cd. de Xalapa, Veracruz, ubicada en las instalaciones de la facultad de Ingeniería Civil.



Figura 2. Estación de ensayo natural, orientada hacia los vientos predominantes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Propiedades físicas de Las mezcla de concreto

En la tabla 2 se presentan las propiedades físicas obtenidas de los concretos usados, como son: porosidad efectiva (ρ), coeficiente de absorción capilar (ka), resistencia a la penetración de agua (m) y resistencia a la compresión (f'c) [4], La resistencia a la compresión obtenida fue mayor a la resistencia esperada.

Tabla 2. Propiedades físicas de los concretos empleados.

Parámetro	*Relación 0.45*	*Relación 0.65*
f'c, N/mm^2	51.5	40.0
m, s/m^2	3.48×10^7	3.60×10^7
ka, $Kg/m^2\ s^{1/2}$	1.47×10^{-2}	1.99×10^{-2}
ρ, %	8.5	11.9

3.2 Registro de parámetros ambientales

Se presentan los parámetros de humedad relativa, temperatura y precipitación de los primeros ocho meses de monitoreo de la estación.

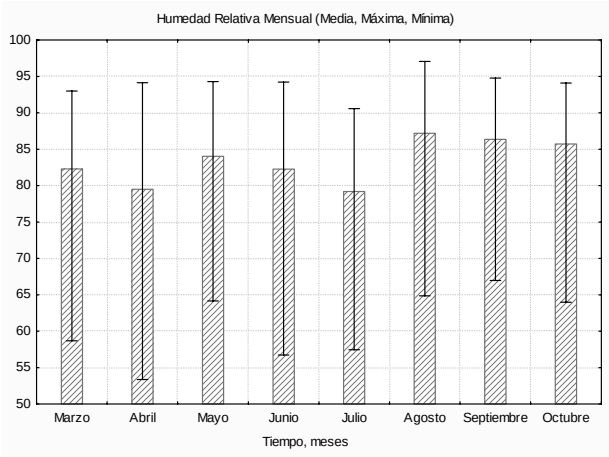


Figura 3. Variación mensual de la humedad relativa

La figura 3 muestra que la humedad relativa promedio oscila entre el 80 y 85% durante está etapa de estudio. La temperatura promedio registrada está entre 18 y 21°C (figura 4); y el promedio mayor de precipitación se registró en el mes de septiembre con una precipitación promedio mensual de 7 mm, registrando en el mes de marzo la mínima como puede observarse en la figura 5.

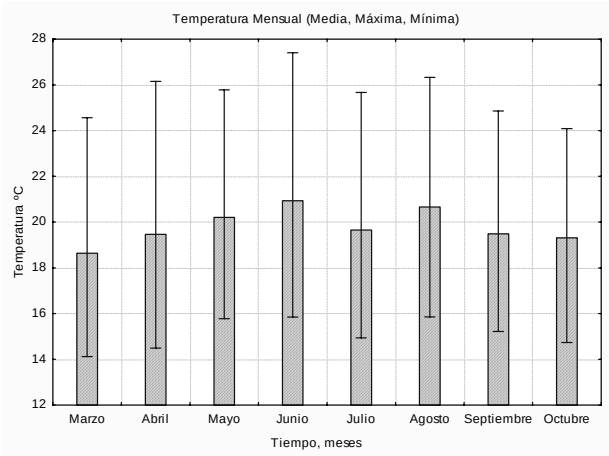


Figura 4. Variación mensual de la temperatura

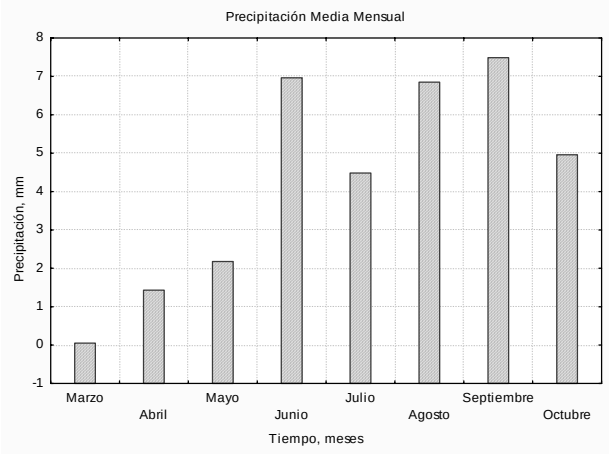


Figura 5. Gráfica de variación mensual de la precipitación pluvial

3.3 Potencial de Corrosión

La interpretación de los valores de los potenciales de corrosión fue de acuerdo a la Norma ASTM C876-91[5], ver tabla 3.

Tabla 3. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

Potenciales de corrosión	
Norma ASMT C876-91	
Potenciales más positivos que -200 mV	Riesgo de que ocurra corrosión es del 10%;
Si esta entre –200 y –350 mV	se tiene una incertidumbre
Si son más negativos que –350 mV	se tendrá una probabilidad del 90% de que se esté corroyendo el acero

Los resultados de la medición de potenciales de corrosión se pueden observar en las figuras 6 a 8, que corresponde a las seis vigas que se encuentran en estudio, tres de relación a/c=0.45 y tres de 0.65, se presentan los resultados de la cara expuesta a los vientos predominantes.

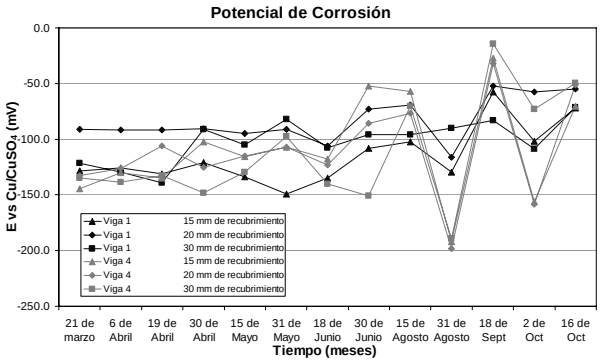


Figura 6.- Comportamiento de potenciales de corrosión. Viga 1 relación a/c = 0.45 y Viga 4 relación a/c=0.65

En la figura 6 se observa en general de acuerdo a la norma ASTM C-876-91 una tendencia de potenciales que nos indica un 10% de probabilidad de corrosión en todas las varillas y sus diferentes recubrimientos así como la calidad de mezclas de concreto. En la viga 1 se observa como la varilla de recubrimiento de 15 mm presenta los valores más negativos, para la viga 4 se observa la influencia del recubrimiento en los últimos dos meses de monitoreo presentando los recubrimientos de 15 y 20 mm los valores más negativos.

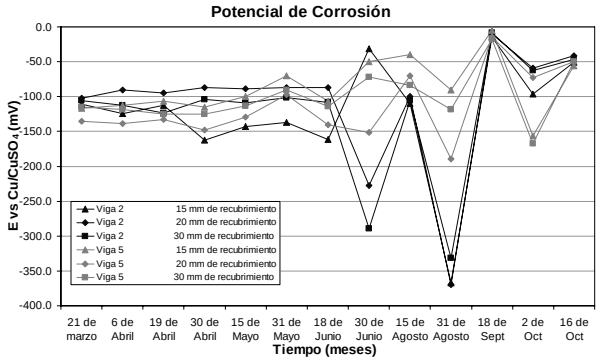


Figura 7.- Comportamiento de potenciales de corrosión. Viga 2 relación a/c = 0.45 y Viga 5 relación a/c=0.65

En la figura 7 se tiene que en los primeros 3 meses un comportamiento homogéneo de potenciales en todos los recubrimientos, así mismo se observa en la viga 2 el recubrimiento con valores más negativos es el de 15 mm, y de la viga 5 el de 20 mm, siendo más resistente el de 30 mm en ambas vigas, la tendencia en general de los valores obtenidos nos indican en base a la norma ASTM C-876-91 10% de probabilidad de corrosión en todas las varillas y sus diferentes recubrimientos así como la calidad de mezclas de concreto. Se presentan dos lecturas (junio y agosto) que nos indican la activación de los

refuerzos de la viga 2, presentando valores que indican una incertidumbre de la presencia de corrosión, sin embargo, en los últimos dos meses dichos refuerzos vuelven a la pasivación presentando valores más positivos que -200 mV.

En la figura 8 muestra potenciales con valores que nos indican un 10% de probabilidad de corrosión, al igual que la figura 6 y 7. Al final de los meses de experimentación se observa la influencia de la relación a/c, ya que la viga 6 (rel. 0.65) presenta valores de potencial que nos indican una incertidumbre de que se este dando la corrosión.

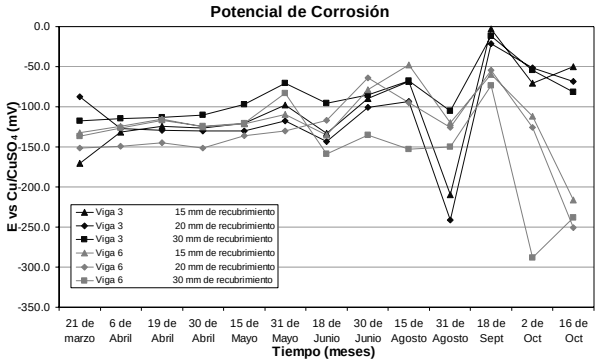


Figura 8.- Comportamiento de potenciales de corrosión. Viga 3 relación a/c = 0.45 y Viga 6 relación a/c=0.65

3.4 Cinética de Corrosión

Para la evaluación de la cinética de corrosión electroquímica del acero de refuerzo, se empleo un corrosímetro comercial que emplea la técnica electroquímica de Resistencia a la Polarización Lineal (Rp), el valor de resistencia obtenido por esta técnica se define como la resistencia de un espécimen a la oxidación durante la aplicación de un potencial externo. El equipo obtiene esta resistencia y con la relación que establece la ecuación de Stern-Geary [12], se obtiene la i_{corr}.

$$i_{corr} = \frac{B}{Rp} \qquad (1)$$

La interpretación de los resultados de la cinètica de corrosión se evaluaron de acuerdo a lo que establece el manual DURAR, ver tabla.

Velocidad de Corrosiòn (i_{corr}) $\mu A/cm^2$	*Nivel de Corrosión*
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderada
0.5 - 1	Elevada
> 1	Muy elevada

Vigas	**Rec. (cm)**	21 /03/ 07 *i corr* ($\mu A/cm^2$)	18/ 06/07 *i corr* ($\mu A/cm^2$)	21/11/07 *i corr* ($\mu A/cm^2$)
	3.0	0.010	0.035	0.033
Viga 1	2.0	0.010	0.087	0.051
Rel. a/c = 0.45	1.5	0.017	0.058	0.030
	3.0	0.019	0.043	0.033
Viga 2	2.0	0.025	0.039	0.051
Rel. a/c = 0.45	1.5	0.016	0.073	0.041
	3.0	0.016	0.013	0.026
Viga 3	2.0	0.024	0.027	0.034
Rel. a/c = 0.45	1.5	0.020	0.053	0.029
	3.0	0.008	0.025	0.016
Viga 4	2.0	0.015	0.032	0.030
Rel. a/c = 0.65	1.5	0.020	0.016	0.022
	3.0	0.037	0.065	0.047
Viga 5	2.0	0.219	0.240	0.121
Rel. a/c = 0.65	1.5	0.025	0.098	0.028
	3.0	0.019	0.063	0.023
Viga 6	2.0	0.014	0.028	0.02
Rel. a/c= 0.65	1.5	0.017	0.025	0.020

La tabla 4 presenta los valores de la cinética de corrosión del acero de refuerzo en $\mu A/cm^2$, y de acuerdo a la literatura dichos valores nos indican una corrosión despreciable.

4. CONCLUSIONES

- Los valores de E_{corr} que se presentan a lo largo de estos 8 meses en los aceros de refuerzo con sus diferentes recubrimientos son en general más positivos que -200 mV, lo que en base a la norma ASTM C 876-91 nos indica un riesgo de corrosión del 10%.
- En las varillas de refuerzo de los especimenes de relación agua/cemento = 0.45 se distingue ligeramente la influencia del recubrimiento, presentando valores mas nobles de E_{corr} las varillas con recubrimiento de 3.0 cm y más negativos los de 1.5 cm. En los especimenes de relación a/c= 0.65 se observa como los valores

de velocidad de corrosión son homogéneos en los tres recubrimientos.

- Hasta esta etapa de monitoreo los valores de la cinética de corrosión reportados por los especimenes indican de acuerdo a la literatura un nivel de corrosión despreciable, concordando perfectamente con los valores de potencial de corrosión obtenidos.

5. 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/103.5/07/2753. con cargo a el "Proyecto de Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo PROMEP".

6. REFERENCIAS

1) P. Castro, R. Castillo, J. J. Carpio, "Corrosión en estructuras de concreto armado", Teoría, Inspección, Diagnostico, Vida Útil y Reparaciones, 1ª edición IMCYC, México 1998.
2) S. Feliu, J. A. González, C. Andrade, V. Feliu; "On site determination of the polarization resistance in a reinforced concrete beam" Corrosion, 44 (10), 761-765, 1988.
3) O. Troconis, Miembros DURAR, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. , 200 p., Durar, Red temática del CYTED ISBN 980-296-541-3, 1997.
4) ASTM Standard C39/C39M-04, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, vol. 4.02
5) American Society for Testing and Materials, (1991), ASTM C 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. ASTM, Philadelpia, USA.