



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



**EFFECTO DE LA RELACIÓN A/C EN EL COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO
DE CONCRETO EXPUESTO AL INTEMPERISMO –Proyecto DURACON-**

M.A. Baltazar^{1*}, D. Nieves¹, R. Romero¹, E. Maldonado¹,
F. Solano¹, M. Galicia¹, A. Ortiz¹, F. Almeraya², Torres. A³

¹ Fac. de Ing. Civil - Xalapa UV. Circ. G. Aguirre Beltrán s/n Xalapa, Ver.

² CIMAV S.C. Miguel de Cervantes 120 Chihuahua, Chih.

³ Instituto Mexicano del Transporte, Km. 12+000 Carr. Querétaro-Galindo Sanfandila

RESUMEN

Como parte del proyecto iberoamericano DURACON, el cual tiene por objetivo caracterizar la durabilidad de hormigones expuestos en condiciones ambientales reinantes en Ibero América. Se evalúan los resultados de 8 meses de exposición de especímenes al ambiente de la ciudad de Xalapa, México. Los especímenes se fabricaron con dos tipos de hormigones, relación agua/cemento 0.45 y 0.65, y además 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 lineal y evaluación de potenciales de corrosión en base a la norma ASTM C-876.

Palabras claves: Durabilidad, Corrosión, Concreto, Medio Ambiente, Recubrimiento.

ABSTRACT

Like part of the Latin American project DURACON, which must by objective characterize the concrete durability exposed in ruling environmental conditions in Ibero America. The results of 4 months of exhibition of specimens to the atmosphere of the city of Xalapa, Mexico are evaluated. The specimens made with two types of concretes, relation water/cement 0,45 and 0,65, and in addition three thicknesses to covering, 1,5, 2,0 and 3,0 cm. The tests to evaluate the susceptibility to the corrosion of the reinforcement steel went resistance to the linear polarization and evaluation of corrosion potentials on the basis to norm ASTM C-876.

KEYWORDS: Durability, Corrosion, Concrete, Environment, Covering.



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



INTRODUCCIÓN

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 a 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 de monitoreo de las vigas expuestas a un medio ambiente catalogado como urbano.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Materiales para la fabricación de vigas de concreto.

Los especímenes bajo estudio fueron fabricados tomando en cuenta las siguientes especificaciones, el proporcionamiento de las mezclas se muestra en la tabla 1.

1. Tipo de cemento: Cemento Pórtland Ordinario
2. Agregado Silíceo triturado de 19 mm tamaño máximo, densidad de 2.58
3. Arena cuarzosa, densidad de 2.50
4. Relación a/c: 0.45 ($f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$)
5. Relación a/c: 0.65 ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)
6. Adición de plastificante 0.3% por peso de cemento (sikament 190 CR).
7. Revenimiento $10 \pm 1.0 \text{ cm}$. cimbra metálica y curado bajo agua por 7 días.

Tabla 1. Proporcionamiento de las mezclas empleadas.

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	4 cc/Kg cemento	

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, la figura 2 muestra una fotografía de la estación de ensayo natural del Proyecto DURACON en la Cd. de Xalapa, Veracruz. 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).

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

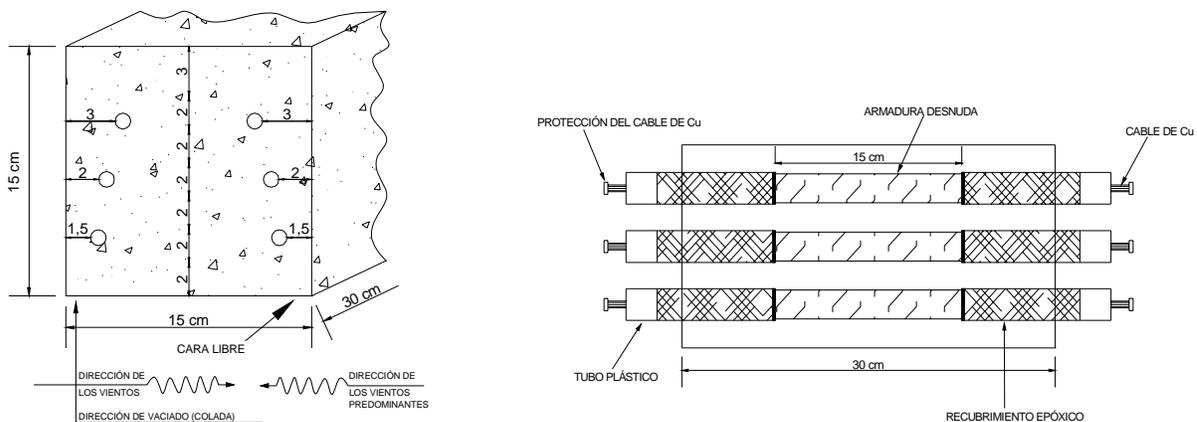


Figura 1. Croquis de la sección transversal y longitudinal de las vigas de concreto reforzado del proyecto DURACON.



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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas de los concretos

En la tabla 2 se presentan las propiedades físicas obtenidas de los concretos usados, como son: porosidad efectiva (ρ), coeficiente de absorción capilar (k_a), 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
$k_a, Kg/m^2 s^{1/2}$	1.47×10^{-2}	1.99×10^{-2}
$\rho, \%$	8.5	11.9

Registro de parámetros ambientales

Las figuras 3 a 5 muestran el comportamiento de los parámetros ambientales (humedad relativa, temperatura y precipitación) durante los primeros 8 meses de exposición.



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

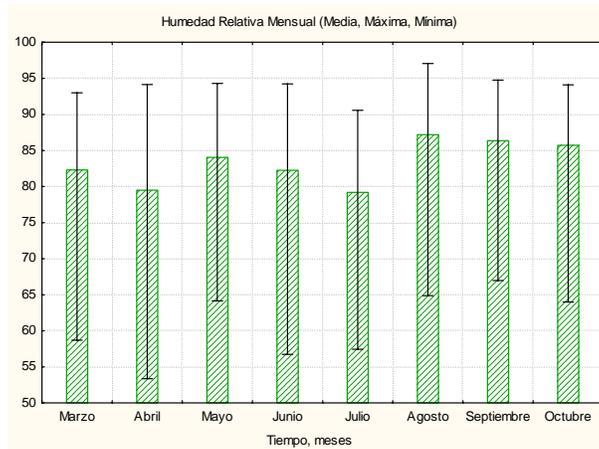


Figura 3. Variación mensual de la humedad relativa

La gráfica de barras de la figura 3 muestra que la humedad relativa promedio oscila entre el 80 y 85% durante esta etapa de estudio.

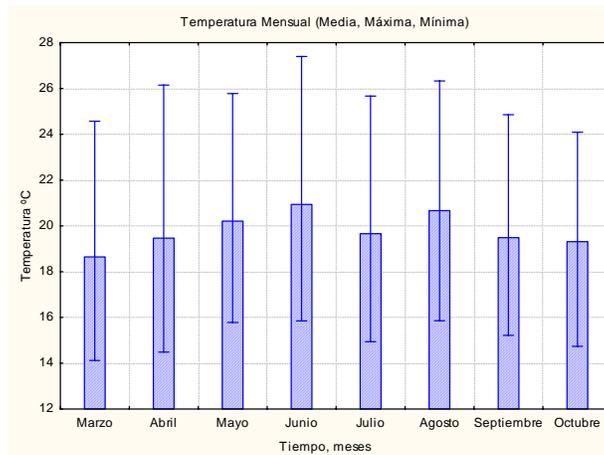


Figura 4. Variación mensual de la temperatura

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 (figura 5).



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

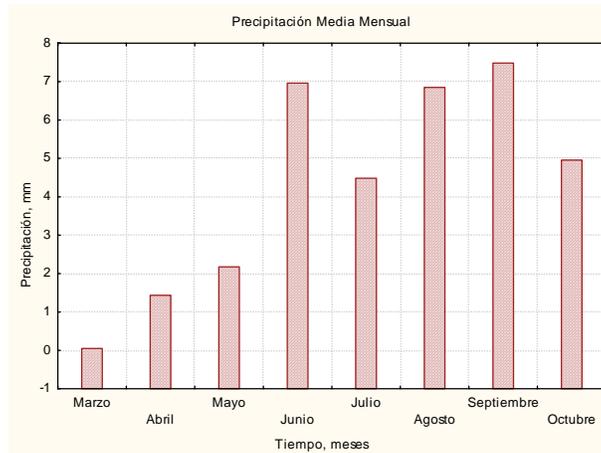


Figura 5. Gráfica de variación mensual de la precipitación pluvial

Potencial de Corrosión

La interpretación de los valores de los potenciales de corrosión fue en base 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	50% de probabilidad
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.

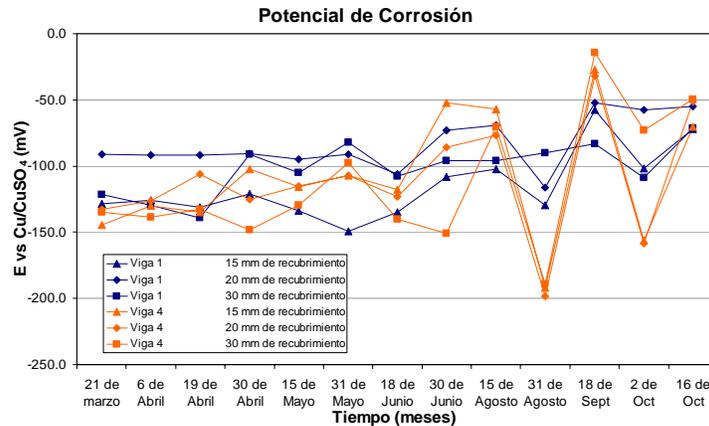


Figura 6.- Comportamiento de potenciales de corrosión
Viga 1 relación a/c = 0.45 y Viga 4 relación a/c=0.65

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.

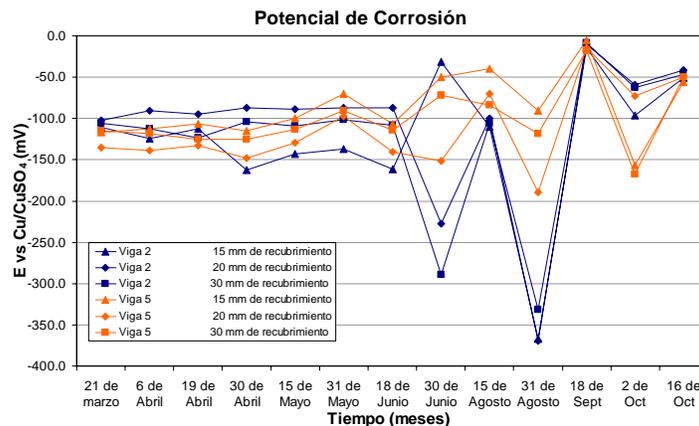


Figura 7.- Comportamiento de potenciales de corrosión
Viga 2 relación a/c = 0.45 y Viga 5 relación a/c=0.65

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



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



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.

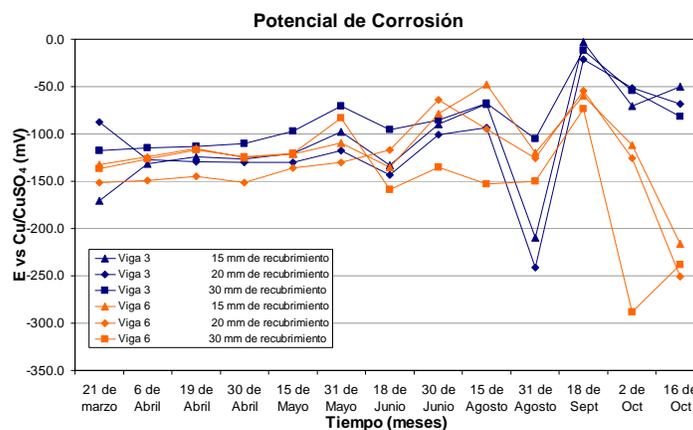


Figura 8.- Comportamiento de potenciales de corrosión
Viga 3 relación a/c = 0.45 y Viga 6 relación a/c=0.65

Cinética de Corrosión

Tabla 4. Valores de i_{corr} de los primeros 8 meses de exposición, cara expuesta.



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



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

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 en lo general son 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 especímenes de relación agua/cemento = 0.45 se distingue ligeramente la influencia del recubrimiento, presentando valores más nobles de E_{corr} las varillas con recubrimiento de 3.0 cm y más negativos los de 1.5 cm. En los especímenes 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 especímenes indican de acuerdo a la literatura un nivel de corrosión despreciable, concordando perfectamente con los valores de potencial de corrosión monitoreados.

AGRADECIMIENTOS



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



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”.

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, Philadelphia, USA.