

INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE EN EL COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO DEL HORMIGÓN ARMADO -PROYECTO DURACON-

Influence of the environment in the electrochemical behavior of reinforced concrete – DURACON Project-

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 4 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, Hormigón, 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 evaluate. 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.

MIGUEL BALTAZAR

Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Investigador
FIC-Xalapa UV
mbaltazar@uv.mx

DEMETRIO NIEVES

Ingeniero Civil, Ph.D.
Profesor Investigador
FIANS, UAT
dnieves@uat.mx

ANGEL SÁNCHEZ

P. Ingeniero Civil
FIC-Xalapa UV
angelsanchez10@hotmail.com

RABINDRANARTH ROMERO

Ingeniero Civil, M. Sc.
Profesor Investigador
FIC-Xalapa UV
raromero@uv.mx

MIGUEL GALICIA

QFB, M. Sc.
Técnico Académico
IQ-Xalapa UV
mgalicia@uv.mx

RENÉ ALVAREZ

Ingeniero Civil, M. Sc.
Profesor Investigador
FIC-Xalapa UV
ralvarez@uv.mx

SAÚL CASTILLO

Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Investigador
FIC-Xalapa UV
sacastillo@uv.mx

ANDRES TORRES

Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Investigador
IMT-QRO.
atorres@uv.mx

1. 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 característica mecánicas sino también del medio ambiente en el que van 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 Xalapa, en el estado de Veracruz, México la cual acaba de cumplir 4 meses de estudio. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados preliminares de estos primeros meses de exposición de las vigas expuestas a un medio ambiente catalogado como urbano.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 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 $10 \pm 1.0 \text{ cm}$
8. Cimbra metálica.
9. Curado bajo agua por 7 días.

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	

Tabla 1. Proporcionamiento de las mezclas empleadas.

2.2 Preparación y colocación de las vigas

Para cada estación fueron preparadas 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: 15, 20

y 30 mm. La figura 1 muestra una fotografía de la estación de ensayo natural del Proyecto DURACON en Xalapa, Veracruz, México, la figura 2 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. Fotografía de la estación de ensayo natural, orientada hacia los vientos predominantes.

Las vigas de concreto reforzado son empleadas para realizar la evaluación de parámetros electroquímicos (E_{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].

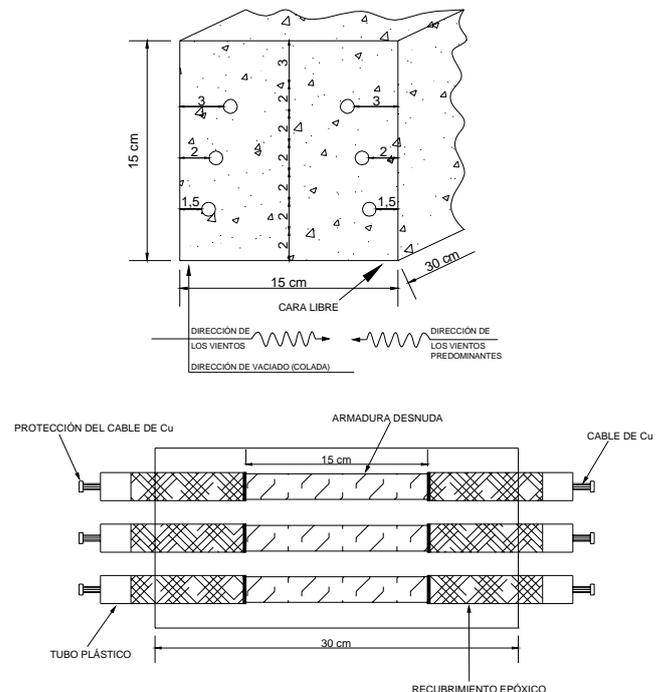


Figura 2. Croquis de la sección transversal y longitudinal

de las vigas de concreto reforzado del proyecto DURACON.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 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.

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}
, %	8.5	11.9

Tabla 2. Propiedades físicas de los concretos empleados.

3.2 Registro de parámetros ambientales

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

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.

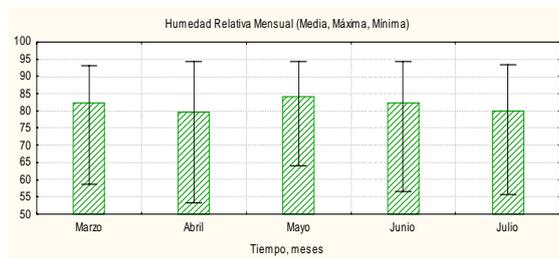


Figura 3. Variación mensual de la humedad relativa

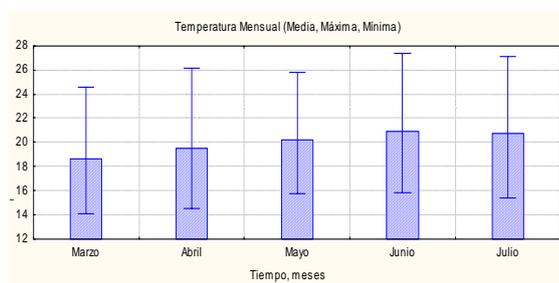


Figura 4. Variación mensual de la temperatura

La temperatura promedio registrada está entre 18 y 21°C (figura 4); y el promedio mayor de precipitación se registró en el mes de junio (figura 5).

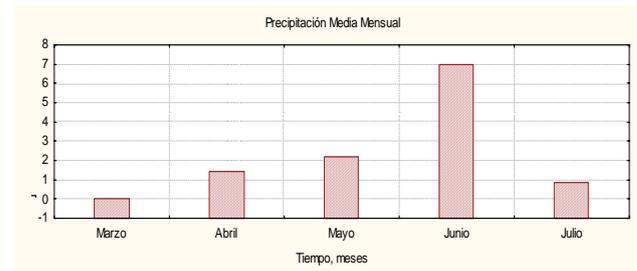


Figura 5. Gráfica de variación mensual de la precipitación pluvial

3.3 Potencial de Corrosión

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

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

Tabla 3. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

Los resultados de la medición de potenciales de corrosión se pueden observar en las figuras 6 a 9, que corresponde al promedio de tres vigas con relación a/c 0.45 y 0.65 respectivamente, para cada recubrimiento evaluado y ambas caras expuesta y resguardada.

De acuerdo al criterio establecido en la Norma ASTM C-876, en las figuras 6 a 9 se observa que la probabilidad de riesgo de corrosión es de 10% en todas las varillas de refuerzo.

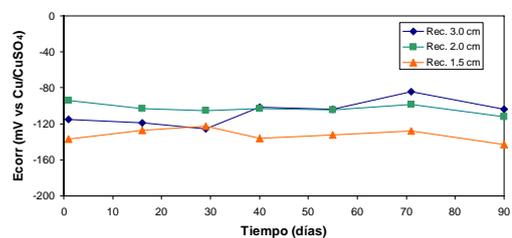


Figura 6. Comportamiento de Ecorr en vigas con relación a/c 0.45 recubrimientos 1.5, 2.0 y 3.0 cm de concreto en la cara orientada al viento predominante. Cada valor mostrado es el promedio de tres vigas.

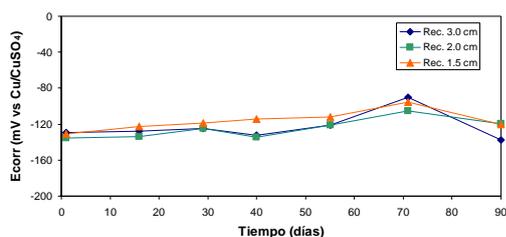


Figura 7. Comportamiento de Ecorr en vigas con relación a/c 0.65 recubrimientos 1.5, 2.0 y 3.0 cm de concreto en la cara orientada al viento predominante. Cada valor mostrado es el promedio de tres vigas.

Se observa comparando la figura 6 y 7, una influencia en el comportamiento de la relación agua/cemento de la mezcla, presentando un comportamiento muy homogéneo los tres recubrimientos de los especímenes de relación 0.65, a diferencia con los de relación 0.45 en los cuales se identifica que el recubrimiento de 1.5 cm. presenta los valores más negativos y el de 3.0 cm. los más nobles o positivos.

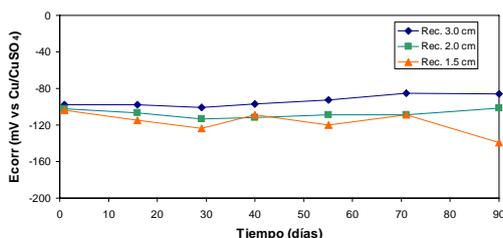


Figura 8. Comportamiento de Ecorr en vigas con relación a/c 0.45 recubrimientos 1.5, 2.0 y 3.0 cm de concreto en la cara resguardada. Cada valor mostrado es el promedio de tres vigas

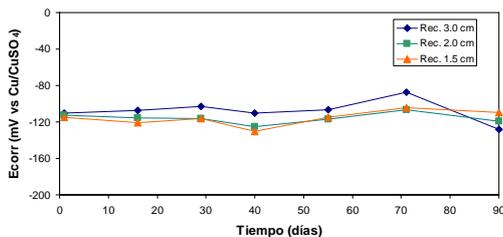


Figura 9. Comportamiento de Ecorr en vigas con relación a/c 0.65 recubrimientos 1.5, 2.0 y 3.0 cm de concreto en la cara resguardada. Cada valor mostrado es el promedio de tres vigas

Para las varillas de refuerzo de la cara resguardada, ver figura 8 y 9, se tiene un comportamiento similar al de las varillas de la cara expuesta, valores de Ecorr que indican una posibilidad de corrosión despreciable. Se observa al igual que en la figura 6 y 7 un comportamiento homogéneo en las vigas de relación 0.65 en contraste con las varillas de relación 0.45 en donde se distingue ligeramente la influencia del recubrimiento.

4. CONCLUSIONES

Todas las varillas presentan valores de Ecorr 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 Ecorr las varillas con recubrimiento de 3.0 cm y más negativos los de 1.5 cm.

Para las varillas de los especímenes de relación 0.65 se presenta en los tres recubrimientos, 1.5, 2.0, 3.0 cm un comportamiento muy homogéneo.

Hasta esta etapa de monitoreo no se observa una influencia con respecto a las caras expuesta y resguardada, presentando un comportamiento semejante las varillas de refuerzo de ambas caras.

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.