

Evaluación de la corrosión en vigas de concreto reforzado en presencia de agua potable y NaCl al 3.5%

Evaluating of the corrosion in concrete of beams reinforced in the presence drinkable water and with NaCl 3.5%

María Acosta, Ricardo Velásquez*, Citlalli Gaona*, Facundo Almeraya*, Alberto Martínez**

** Centro de Investigación en Material Avanzado S.C.
División de Deterioro de Materiales e Integridad Estructural/ Grupo de Corrosión, MÉXICO
elena.acosta@cimav.edu.mx*

*Fecha de recepción: 04/ 06/ 2003
Fecha de aceptación: 28/ 03/ 2004*

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el comportamiento de corrosión en vigas de concreto reforzado, por medio técnicas electroquímicas como la medición de Potenciales de Corrosión y Resistencia a la Polarización Lineal. Estas vigas son expuestas a ciclos de secado y saturación en agua potable y cloruro de sodio (NaCl) al 3.5%, ya que la técnica de Resistencia a la Polarización es la que actualmente se aplica para la evaluación de estructuras de concreto reforzado así como el efecto en el proceso corrosivo del refuerzo y el mecanismo de deterioro en las estructuras. La evaluación se realizó en vigas de concreto de 6" x 6" x 20", reforzado con varillas de acero de 3/8" y estribos de 1/4" a cada 8" las cuales se dividieron en diferentes zonas protegidas con la finalidad de tener bien definidas las zonas susceptibles a la corrosión. Se realizaron en tres series, de seis vigas por cada tipo de aplicación: concreto simple, preoxidadas y preagrietadas la carga teórica permisible que resiste la sección propuesta se calcula con las fórmulas de la teoría elástica, así como un espécimen testigo, los potenciales de corrosión para la mayoría de las vigas presentaron una incertidumbre del fenómeno de corrosión para el cloruro de sodio (NaCl) de acuerdo con el criterio de evaluación que establece la Norma ASTM C876 y la velocidad de corrosión de las vigas expuestas en cloruro de sodio presentaron un grado de corrosión despreciable.

Palabras Clave: Corrosión, concreto reforzado, potencial de corrosión, resistencia a la polarización lineal, velocidad de corrosión.

Abstract

The aim of this paper is the evaluation of the behavior of corrosion in reinforced concrete beams, by means of electrochemical techniques corrosion potential measurements and Linear Polarization Resistance techniques. These beams are exposed to moisturizing and drying cycles with 3.5 % sodium chloride (NaCl) and drinkable water. Up to now, the Linear Polarization Resistance technique is the only that is applied for evaluating reinforced concrete structures and measuring the effect the reinforcement of corrosion and the deterioration mechanism of structures. The evaluation was affected in concrete of beams of 6" x 6" x 20", reinforced with bars of 3/8" and stirrups of 1/4" to each 8", which were divided in different areas protected with the purpose of having very defined the susceptible areas to suffer corrosion. They were carried out in three series, of six beams for each type of application: plain concrete, preoxidated and preload, the theoretical permissible load that resist the proposal section is calculated with the formulas of the elastic theory, as well as a specimen witness, the corrosion potential, in most of the beams presented an uncertainty of the corrosion phenomenon for the sodium chloride (NaCl) according to the establish to the ASTM C876 standard and the corrosion rate of the beams exposed in sodium chloride presented a moderate corrosion degree.

Keywords: Corrosion, reinforced concrete, corrosion potential, lineal polarization resistance, corrosion rate

1. Introducción

Se tiene el conocimiento que las obras de construcción civil son apropiadas para las cargas y exigencias para las cuales fueron proyectadas y en la actualidad se llega a observar un deterioro por corrosión posterior en estructuras ya reparadas, la contaminación por cloruros es una de las causas principales al formarse macroceldas cuando se aplican las reparaciones, produciendo ánodos en las áreas de las zonas reparadas, provocándose de esta manera la corrosión.

Es de suma importancia identificar problemas tanto locales como a nivel nacional en estructuras de concreto reforzado con aplicación de reparación de estructuras o elementos afectados por la corrosión.

Para que un concreto cumpla con el control de calidad requerido se toma en cuenta la proporción de la mezcla del concreto, el contenido de humedad, la temperatura, y el contenido de cemento siendo estas algunas de las variables que pueden afectar la vida útil



del concreto. Hace algunos años se hicieron estudios del costo económico que produce la corrosión en algunos países y se encontró que consume entre el 2 y el 5% del PNB de cada país (Castro Borges, 2001). Entre un 15 y un 25% de este costo se pudo haber evitado si se hubiese aplicado la tecnología existente para contrarrestarla. En México aún no se disponen de cifras que den una idea del problema, sin embargo, en encuestas recientes se ha informado que más del 90% de las industrias presentan algún daño por corrosión (NACE, 1984). En la Figura 1 se presenta una estructura dañada por corrosión lo cual representa que reduce la vida útil para la cual fue diseñada (Informe Club Puerto Azul, 2000).

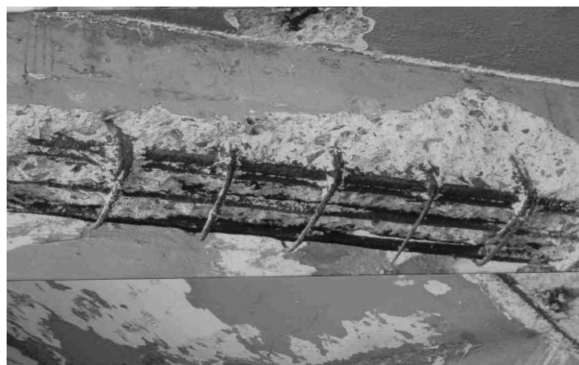


Figura 1. Estructura dañada por corrosión (trabe)

En investigaciones de varios autores que estudian los morteros y concreto en campo y laboratorio no hay información suficiente en relación a la reparación de estructuras o elementos afectados por la corrosión, el principal objetivo de este trabajo es la evaluación del comportamiento de la corrosión en vigas de concreto reforzado en presencia de agua potable y NaCl al 3.5% determinando su nivel de protección, la vida útil de la reparación, y el mecanismo de deterioro en las estructuras, por medio de técnicas electroquímicas (Bastida, 1991). Una vez determinada el nivel de protección y el mecanismo de deterioro en la estructura se procede a la aplicación del mortero como se muestra en la Figura 2.

Para la presente investigación se realizaron tres series de especímenes prismáticos de concreto reforzado de seis vigas por cada tipo de aplicación: concreto simple, preoxidadas y preagrietadas, y una viga testigo. El tiempo de curado fue de 28 días, después del curado fueron sometidas a un ambiente agresivo para observar su comportamiento electroquímico. Posteriormente a las vigas precargadas se aplicó una carga teórica permisible para lograr un ligero agrietamiento del recubrimiento.



Figura 2. Reparación de estructuras con mortero

2. Desarrollo Experimental

Los especímenes a utilizar fueron 6 vigas de concreto simple, 6 vigas preagrietadas, 6 vigas preoxidadas y 1 viga testigo, las dimensiones de las vigas fueron de 6" x 6" x 20", de acuerdo a la Norma (ASTM C-192/C-192M, 1998) En la Figura 3 se muestra detalle del armado con la cimbra para las vigas.



Figura 3. Detalle de protección del acero de refuerzo y armado de cimbra

El concreto utilizado fue elaborado para una resistencia de $f'c = 25 \text{ MPa}$ la relación a/c fue de 0.58, el tamaño máximo de agregado fue de 3/4", el acero de refuerzo fue de 3/8" y estribos de 1/4" a cada 8" y se tuvo un revenimiento de 4".

El acero de refuerzo para las vigas preoxidadas se preparó encintando secciones y quedando partes expuestas a oxidación como se muestra en la Figura 4.

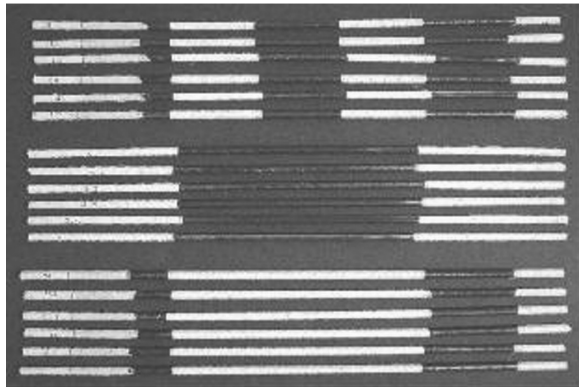


Figura 4. Encintado de secciones del acero de refuerzo



Figura 5. Determinación de Iones cloruro por Titulación Total

Se tomó lectura del pH del concreto en fresco, se realizó Análisis Químico Cualitativo y Cuantitativo por medio del Analizador Elemental Carbono, Nitrógeno, Hidrógeno, Azufre y Oxígeno (CHNS-O) del acero, se determinó la composición del concreto por medio de análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (JEOL JMS-5800LV / EDAX), y se determinó el contenido de Iones Cloruro Solubles contenidos en agua como se muestra en la Figura 5, como lo indica la Norma (ASTM D-1411, 1999) al terminar la etapa de curado.

Las vigas de concreto simple estuvieron inmersas en agua potable durante 120 días después de este tiempo quedaron expuestas en ambiente salino con NaCl al 3.5% hasta completar 365 días como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Ubicación de vigas inmersas en agua potable

Las vigas preagrietadas estuvieron inmersas en agua potable por un periodo de 120 días para posteriormente aplicarle carga en dos puntos centrales y así analizar el comportamiento del agrietamiento al quedar expuestas a un ambiente salino con NaCl al 3.5% hasta completar un periodo de 365 días, la carga teórica permisible que resiste la sección propuesta para las vigas preagrietadas se calculó con las formulas de la teoría elástica (IMT, SCT, 1997), en la cual el acero se carga hasta su límite elástico, o sea, antes de sufrir una deformación permanente. En la Figura 7 se muestra la posición de las cargas sobre la viga.

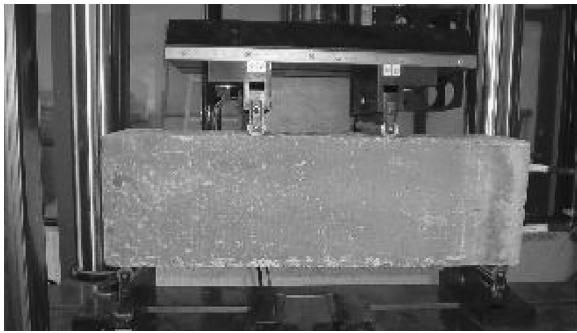


Figura 7. Posición de las cargas sobre las vigas

En la Tabla 1 se muestran los resultados de resistencia a la flexión de cada una de las vigas preagrietadas tomando en cuenta que las vigas de concreto simple y las vigas preoxidadas no llevaron este procedimiento.

Tabla 1. Resistencia a la flexión de vigas preagrietadas

N° de Viga	Carga Máxima (ton)	Deformación máxima (mm)
1	7.453	1.41
2	7.025	1.67
3	6.159	1.23
4	6.659	1.71
5	6.998	1.27
6	7.187	2.48

En el proceso de curado se realizó medición de potenciales a las 19 vigas de concreto con electrodo de referencia de Cu/CuSO_4 (CSE), y un voltímetro digital, utilizando las mismas varillas de refuerzo como electrodo de trabajo, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Medición de potenciales

En la Figura 9 se muestra como se realizaron las pruebas electroquímicas con equipo de corrosión ACM Gill 8 de AC Instruments, utilizando la Técnica Potenciostática (ASTM G 5-94, 1994) y Resistencia a la Polarización (R_p) de acuerdo a la Norma (ASTM G 59-97, 1997), empleando las mismas varillas de refuerzo como electrodo de trabajo.



Figura 9. Equipo de corrosión ACM Gill 8 AC Instruments

Las vigas preoxidadas continuaron en ambiente salino realizándoseles medición de potenciales y las técnicas electroquímicas. Una vez cumpliendo el periodo de 120 días en ambiente salino se realizaron ciclos de secado y saturación.

En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan los potenciales de corrosión de la viga 3 de concreto simple, viga 3 preagrietada y viga 3 preoxidada respectivamente por un periodo de 8 meses mostrando un rango de potencial de -100 mV a -580 mV .

En la técnica de resistencia a la polarización de las Figuras. 13, 14 y 15 la velocidad de barrido es de $10 \text{ mV}/\text{min}$ para las 6 vigas, se muestran para las vigas de concreto simple, preagrietada y preoxidada respectivamente.

Las velocidades de corrosión (ASTM G 102-89, 1989) se determinaron durante el periodo de exposición en salmuera para las 3 series de vigas como se muestra en la Tabla 2.

CONCRETO SIMPLE VIGA 3

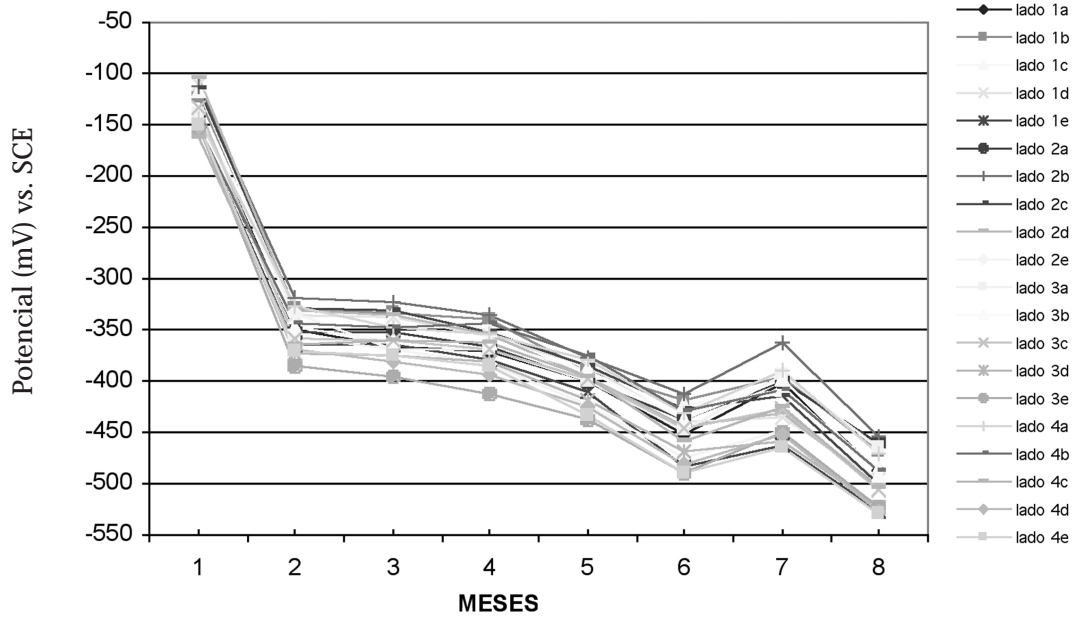


Figura 10. Potenciales de corrosión en viga 3 de concreto simple

PREAGRIETADA VIGA 3

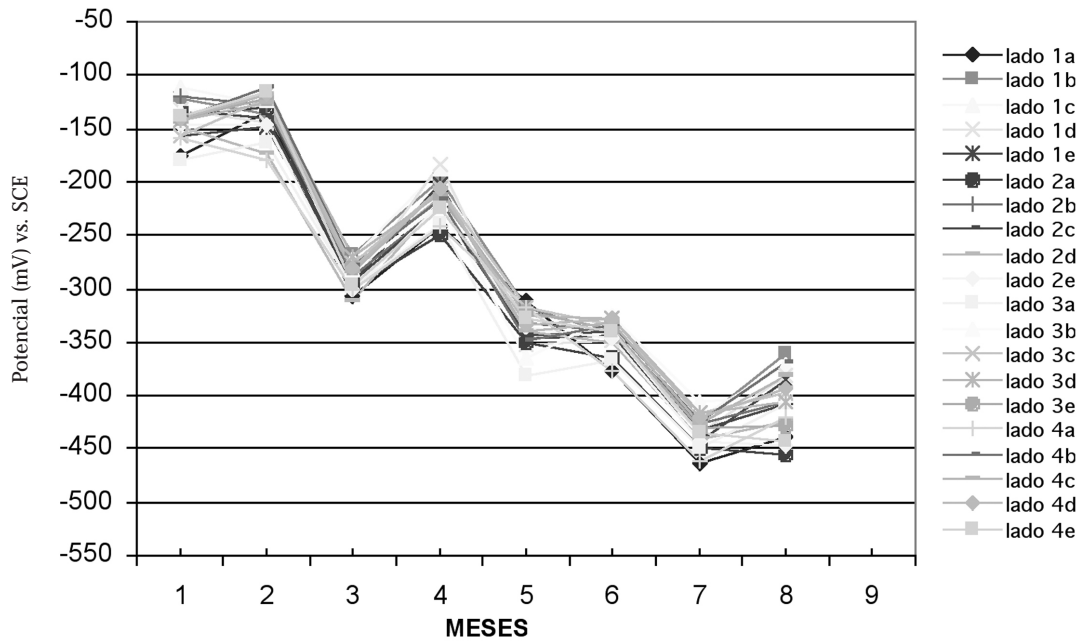


Figura 11. Potenciales de corrosión en viga 3 preagrietada



PREOXIDADA VIGA 3

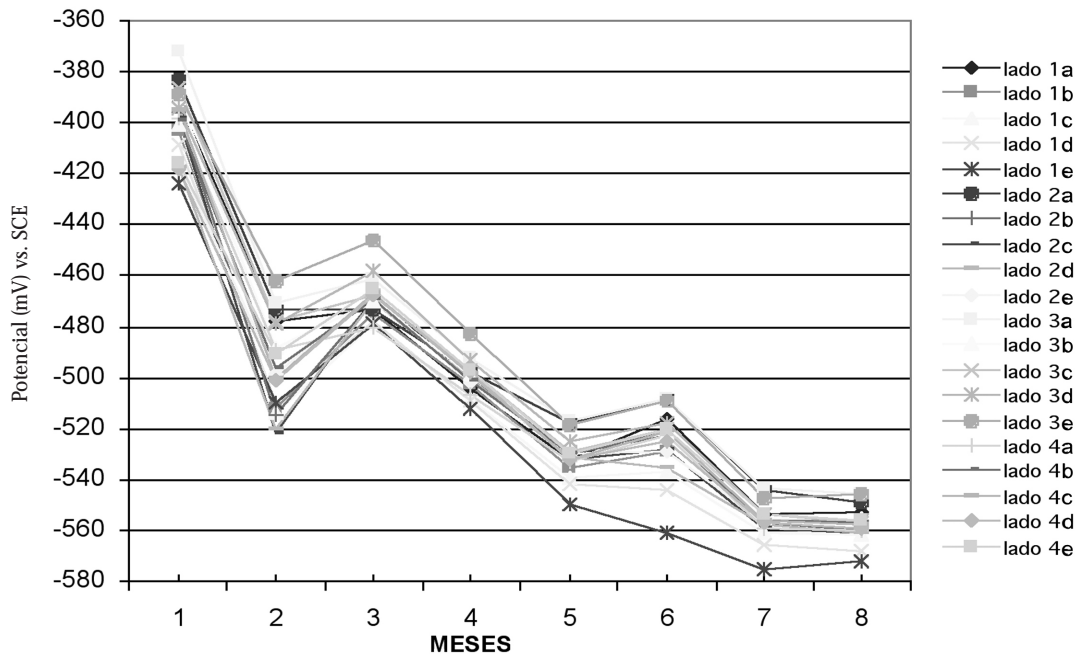


Figura 12. Potenciales de corrosión en viga 3 preoxidada

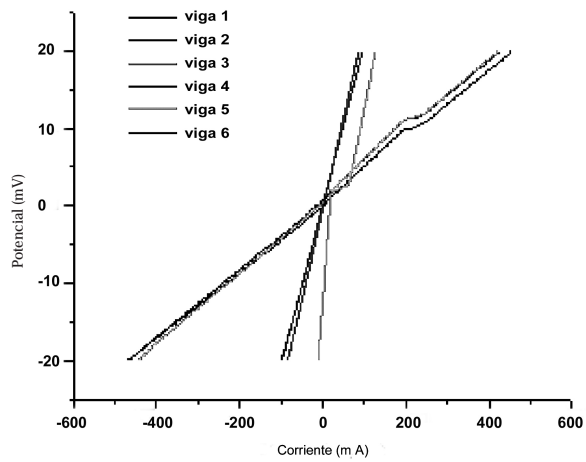


Figura 13. Técnica resistencia a la polarización de las 6 Vigas de concreto simple

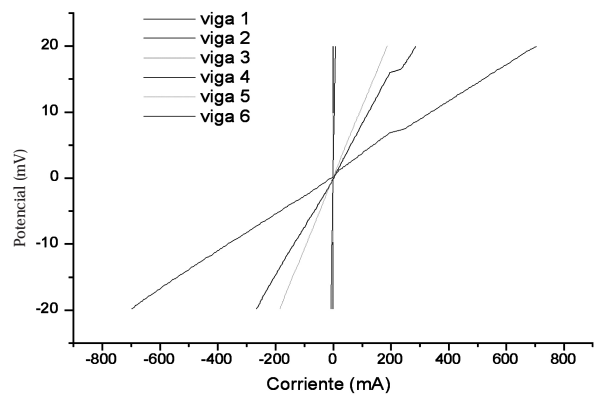


Figura 14.- Técnica resistencia a la polarización de las 6 Vigas precargadas

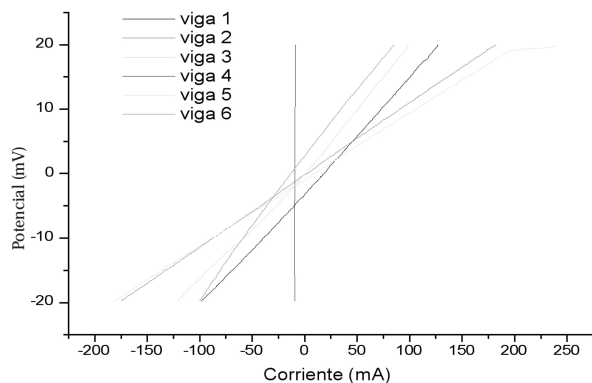


Figura 15. - Técnica resistencia a la polarización de las 6 Vigas preoxidadas

3. Resultados

Los datos obtenidos del pH del concreto en fresco oscilan al rededor de 11, el Análisis Químico Cualitativo y Cuantitativo para el Acero al carbono arrojó los siguientes resultados: $C\% = 0.1688$, $Mn\% = 1.0758$, $P\% = N.D.$, $S\% = 0.0211$, $Si\% = 0.1452$. También se realizó un análisis corroborando su composición elemental por medio de Microscopía Electrónica de Barrido. El resultado para la determinación de iones cloruro fue de 0.04314 % C.

4. Conclusiones

Teniendo en cuenta que si los potenciales medidos, con respecto al electrodo de referencia $Cu/CuSO_4$ (CSE) son más positivos que -200 mV, el riesgo de que ocurra corrosión es del 10%, si están entre -200 mV y -350 mV, se tiene una incertidumbre y si son más negativos que -350 mV, se tiene una probabilidad del 90% de que se esté corroyendo el acero.

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene que las vigas de concreto simple, así como las preoxidadas no desarrollaron problemas de corrosión, como era de esperarse ya que resultaron más positivos que -200 mV; después de este proceso en la vigas precargadas la tendencia a la corrosión es más baja, en tanto en las vigas naturales la tendencia es con incertidumbre. En cambio en las vigas preoxidadas la tendencia a corroerse es mayor.

En la técnica a la polarización se observa que hubo una tendencia lineal vertical, esto es que el material

Tabla 2. Relación de velocidad de corrosión

VIGA	Velocidad de corrosión mm/año		
	Concreto simple	Preoxidada	Preagrietada
1	$3.352e^{-3}$	$3.364e^{-3}$	$4.408e^{-3}$
2	$2.227e^{-3}$	$4.396e^{-3}$	$7.458e^{-3}$
3	$2.296e^{-3}$	$6.472e^{-3}$	$6.264e^{-3}$
4	$2.679e^{-3}$	$6.136e^{-3}$	$3.665e^{-3}$
5	$2.099e^{-3}$	$6.670e^{-3}$	$4.825e^{-3}$
6	$1.380e^{-3}$	$4.779e^{-3}$	$3.851e^{-3}$
Testigo	$0.174e^{-3}$		

se degradó más rápido, en este caso la intensidad de corriente vario de 0.0020 a 0.0080 mA. Y en la velocidad de corrosión en la viga 3 preoxidada presenta mayor velocidad y en la viga 2 preagrietada es la que presenta mayor velocidad de corrosión en las vigas de concreto simple es menor la velocidad de corrosión a diferencia de la viga testigo que se mantuvo en agua dulce.

5. Bibliografía

- CLUB PUERTO AZUL (2000), Informe "Revisión e informe de Refuerzo de todas las estructuras"
- IMT, SCT (1997) "Manual de Pruebas de Laboratorio para Concreto Hidráulico" 1997, México.
- CASTRO BORGES, P. (2001), "Infraestructura de concreto armado: deterioro y opciones de preservación" IMCYC, México, D.F. Primera edición.
- ASTM C 192/ C 192M- 98 (1998), "Standard Test Method for Production and Cured Specimens of Test Concretes in the Laboratory"
- ASTM D 1411 - 99 (1999), "Standard Test Methods for Water-Soluble Chlorides Present as Admixtures in Graded Aggregate Road Mixes 1" ASTM. U.S.A.
- ASTM G 5-94 (1994), "Standard Reference Test Method for making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic polarization Measurements". ASTM. U.S.A.
- ASTM G 59-97 (1997), "Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance



Measurements". ASTM. U.S.A.
ASTM G 102-89 (1989), "Standard Practice for Calculation of Corrosion rates and Related Information from Electrochemical Measurements". ASTM. U.S.A
NACE (1984), Journal "Corrosion Basics An Introduction", National Association of Corrosion (NACE), U.S.A.
Bastida, J.,M. (1991), "Técnicas Electroquímicas de Estudio de la Corrosión", en U.E.I. de Corrosión y Protección del C.S.I.C., Retrospectivas de los Estudios de Corrosión en España en el periodo de 1960-1990, España.