



# Revista ALCONPAT

www.revistaalconpat.org

eISSN 2007-6835



Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

## Corrosión en presas de ferrocemento

P. Montes-García<sup>1</sup>, V. Jimenez-Quero<sup>1,2</sup>, T. Caballero-Aquino<sup>1</sup>, A. Fernández-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Materiales y Construcción CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca. Hornos 1003 Sta. Cruz Xoxocotlán, C.P.71230, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>CIMAV S.C., Unidad Chihuahua, Miguel de Cervantes No. 120, Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31109 Chihuahua, México.

### Información del artículo

#### DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i1.4>

Artículo recibido el 1 de Agosto de 2010, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 31 de Octubre de 2010. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores se publicará en el tercer número del año siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2011

## RESUMEN

Muchas comunidades en zonas áridas de Oaxaca México, no pueden retener el agua en época de lluvia y durante la sequía tienen graves problemas por falta del vital líquido. Una opción a este problema es la construcción de pequeñas presas de ferrocemento, tanto por su economía como por la facilidad del sistema empleado al construirlas. Sin embargo, debido al pequeño espesor de los elementos estructurales y reducido recubrimiento de éstas, el acero de refuerzo puede presentar corrosión debido a la acción de agentes agresivos. Para estudiar este fenómeno se evaluó el deterioro por corrosión de presas de ferrocemento. Se efectuaron pruebas de inspección visual, carbonatación y potenciales de corrosión. Durante la inspección visual se observó agrietamiento, delaminación y manchas de herrumbre que son evidencia física de la existencia de corrosión. Esto fue corroborado con los resultados de los potenciales de corrosión y las pruebas de carbonatación. Con base en lo anterior se concluye que las presas estudiadas tienen un alto riesgo de corrosión (más del 90%), y en algunos casos la corrosión es severa.

**Palabras clave:** durabilidad; presas pequeñas; media celda.

© 2011 Alconpat Internacional

## ABSTRACT

Many communities located at the dry areas in Oaxaca, Mexico, are unable to retain the water precipitated during the rainy season; as a result, they face serious water shortages of this vital liquid the dry season. One option to solve the problem is the construction of small ferrocement dams because of their low cost and simple construction method. However, because of the small thickness and the thin cover on the reinforcement, the steel can experience corrosion caused by the action of aggressive agents. This work studied the corrosion risk by means of an experimental program that included tests of visual inspection, carbonation and corrosion potentials. During the visual inspection, cracking, mortar delamination and iron stains were observed; these evidenced the occurrence of corrosion. In turn, this was corroborated by the results of corrosion potentials and the carbonation tests. Based on the results, it is concluded that the studied small dams have a high risk of corrosion (ca. greater than 90%), and in some cases severe corrosion was already occurring.

**Key words:** Durability; small dams; half-cell.

### Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 1, No. 1, Enero - Abril 2011, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de Enero de 2011.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Autor de contacto: Pedro Montes-García ([pmontesgarcia@gmail.com](mailto:pmontesgarcia@gmail.com))

## 1. INTRODUCCION

El ferrocemento es un tipo de concreto reforzado cuyo refuerzo consiste en múltiples capas de malla metálica y varillas de diámetro pequeño, que le proporciona características adecuadas de resistencia, deformación y amplias aplicaciones potenciales, Fernandez (1996), Fernandez (1998), Austriaco (2001).

Oaxaca presenta una orografía muy accidentada que origina la formación de más de treinta grandes cuencas de ríos y múltiples arroyos temporales. Muchas comunidades en zonas áridas, no pueden retener el agua en época de lluvia y durante la sequía tienen graves problemas por falta del vital líquido. Una opción a este problema es la construcción de micropresas de ferrocemento, tanto por su economía como por la facilidad del sistema empleado al construirlas. Sin embargo, este material por sus características, está expuesto a que su acero de refuerzo sufra corrosión, Fontana (1986).

Se han construido 12 micropresas y la más antigua de ellas ha estado en funcionamiento por un periodo aproximado de 15 años. Los espesores de recubrimiento, las condiciones climáticas y el nulo mantenimiento son elementos que provocan que el acero de refuerzo presente algún tipo de actividad corrosiva a escasos años de haberse construido. Se considera que las estructuras de ferrocemento para obras hidráulicas tienden a deteriorarse por la abrasión de las partículas que transportan los escurrimientos, las temperaturas extremas, los ciclos de humedecimiento y secado así como por el ataque de líquidos naturales o industriales que transportan o contienen, Austriaco (2001).

A pesar de los avances logrados en este material, Nedwell (2006) y Rajamane (2003), no se han llevado a cabo muchos estudios de durabilidad en estructuras reales de ferrocemento, sólo se tienen algunos antecedentes por estudios realizados en especímenes, Mathews (1993) y Caballero (2005). En un estudio se evaluó el daño en el acero de refuerzo mediante el análisis y valoración microscópica de la corrosión causada por cloruros. Los resultados revelaron la importancia de la relación agua/cemento (a/c) para el mejoramiento de su durabilidad, Vickridge (1998). Se ha determinado que el grado de corrosión reduce el porcentaje de esfuerzo a la tensión última, y que el mortero elaborado con humo de sílice tiene una baja permeabilidad, la que evita penetración de cloruros y reduce el daño por corrosión, Vickridge (1998).

Un estudio sobre la carbonatación de morteros hechos con mezclas ternarias de cemento Portland, reveló que el reemplazo parcial del cemento con ceniza de cáscara de arroz y ceniza volante fina, incrementa la profundidad de carbonatación en el mortero en función de la cantidad de materiales suplementarios adicionados, Sumrereng (2006).

La integridad estructural de micropresas de ferrocemento se ha estudiado por medio de modelos tridimensionales empleando el programa basado en el método del elemento finito SAP2000®. Los resultados de estos estudios permiten inferir que estas estructuras tienen un comportamiento estructural adecuado ante cargas de servicio, considerándose estable pues tiene factores de seguridad altos ante volteamiento y deslizamiento, Caballero (2001).

El propósito de este trabajo fue realizar un estudio sobre el riesgo de corrosión de cuatro micropresas de ferrocemento construidas en el estado de Oaxaca. Con los resultados se espera poder estimar su grado de deterioro e identificar las posibles causas.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se evaluaron cuatro micropresas de ferrocemento, por medio de pruebas de inspección visual, carbonatación y potenciales de corrosión de la armadura; las dos primeras micropresas (A y B)

son estructuras subterráneas, de un solo arco y con la misma edad (9 años), la tercera (C) es superficial de un solo arco y con edad de 14 años, cuenta con seis tímpanos y tres nervaduras; finalmente la cuarta micropresa (D), está formada por: cuatro arcos, tres contrafuertes de mampostería, tres nervaduras y tiene 11 años de edad (Figuras 1, 2 y 3).

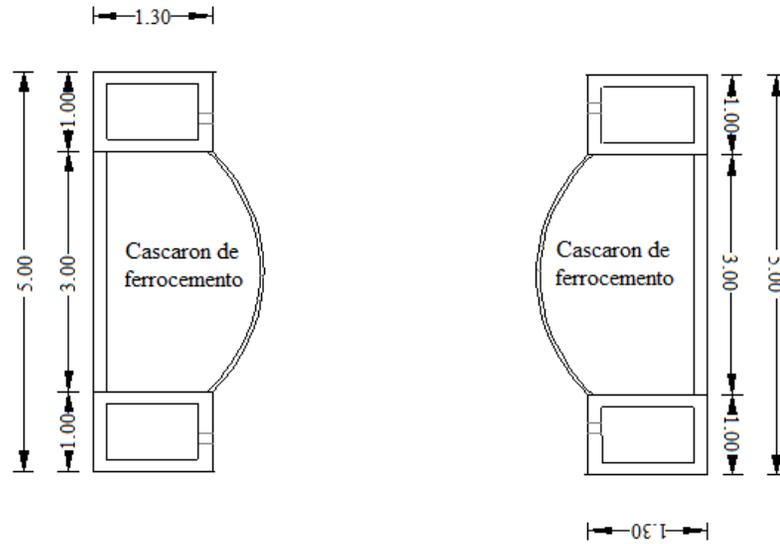


Figura 1. Vista en planta de las micropresas A y B



Figura 2. Micropresa C.

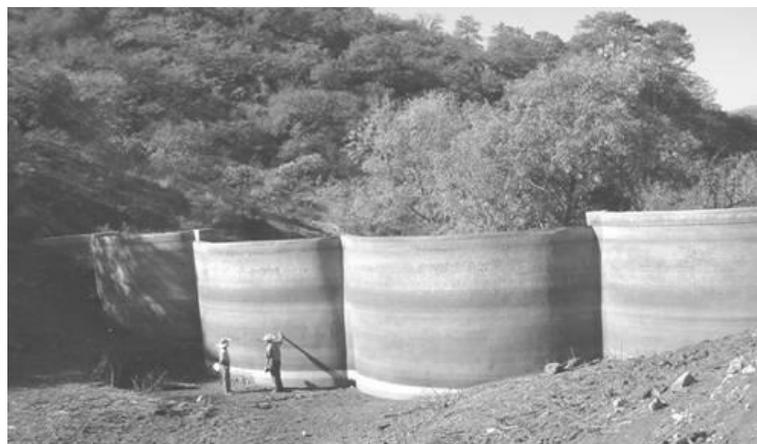


Figura 3. Micropresa D.

### 2.1 Inspección visual y carbonatación.

Este método, por ser directo, es confiable y proporcionó información útil en el desarrollo del estudio de la corrosión del acero de refuerzo. Durante la prueba, se registraron las evidencias de corrosión para cada estructura en estudio (agrietamientos en dirección del acero de refuerzo, manchas de herrumbre, delaminación, eflorescencia, carbonatación, filtraciones etc.).

Para analizar el frente de carbonatación, se desprendió una parte del recubrimiento de mortero con martillo y cincel, y se roció Fenoltaleina al 1% en alcohol etílico sobre la superficie descubierta, según recomienda RILEM (CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth). Sólo en la micropresa A se extrajo un corazón para ser analizado.

### 2.2 Pruebas de potenciales de corrosión

Se realizaron lecturas de potenciales de corrosión según lo establecido en la norma ASTM-876-91 a cada micropresa. Para las lecturas se empleó una media celda de cobre/sulfato de cobre ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) y un voltímetro digital de alta impedancia marca MCM-Miller modelo LC-4.5

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Inspección Visual y pruebas de carbonatación

Micropresas A y B. En ambos cascarones se aprecian superficialmente manchas oscuras ocasionadas principalmente por la cristalización de sales y por sólidos suspendidos en el agua, ya que la estructura en estudio sirve para el almacenamiento del líquido de pozo sin tratar. No se apreció agrietamiento que siguiera un patrón específico causado por corrosión o acciones mecánicas. Lo anterior se corroboró al analizar detalladamente la porción extraída de uno de los cascarones. A esta porción se le realizó la prueba de carbonatación, Figura 4a, 4b, y 4c.

Es importante mencionar que la relación agua cemento, para la elaboración de mortero utilizada en las estructuras, según planos constructivos fue de 0.6, además que el proceso constructivo fue artesanal, es decir el espesor de los elementos se logró por capas y no fueron colados monolíticamente. Lo anterior son factores que muy probablemente favorecieron la carbonatación.

Micropresa C. Esta estructura presenta evidencia clara de corrosión. Durante la inspección se observaron diferentes patrones de agrietamientos sobre la superficie de los tableros, presencia de manchas de herrumbre, desprendimiento de recubrimiento y delaminaciones, Figura 5. En algunas zonas del vertedor, existe corrosión activa lo cual ha causado la delaminación del concreto con pérdida casi total del refuerzo.

La prueba de carbonatación reveló que en la mayoría de tableros se presenta un frente de carbonatación de 5 mm en promedio, lo que representan un 25% del espesor del recubrimiento. (Figura 6).

Micropresa D. Los cuatro arcos que forman esta estructura no presentan daños severos, sólo uno de ellos, en la parte superior, ha sufrido el desprendimiento del recubrimiento de mortero dejando al descubierto parte del acero de refuerzo como se aprecia en la Figura 7.

La prueba de carbonatación permitió comprobar que la carbonatación en los arcos de la micropresa es menor (4 mm) a la que se presenta en los contrafuertes (7 mm). Figura 8.

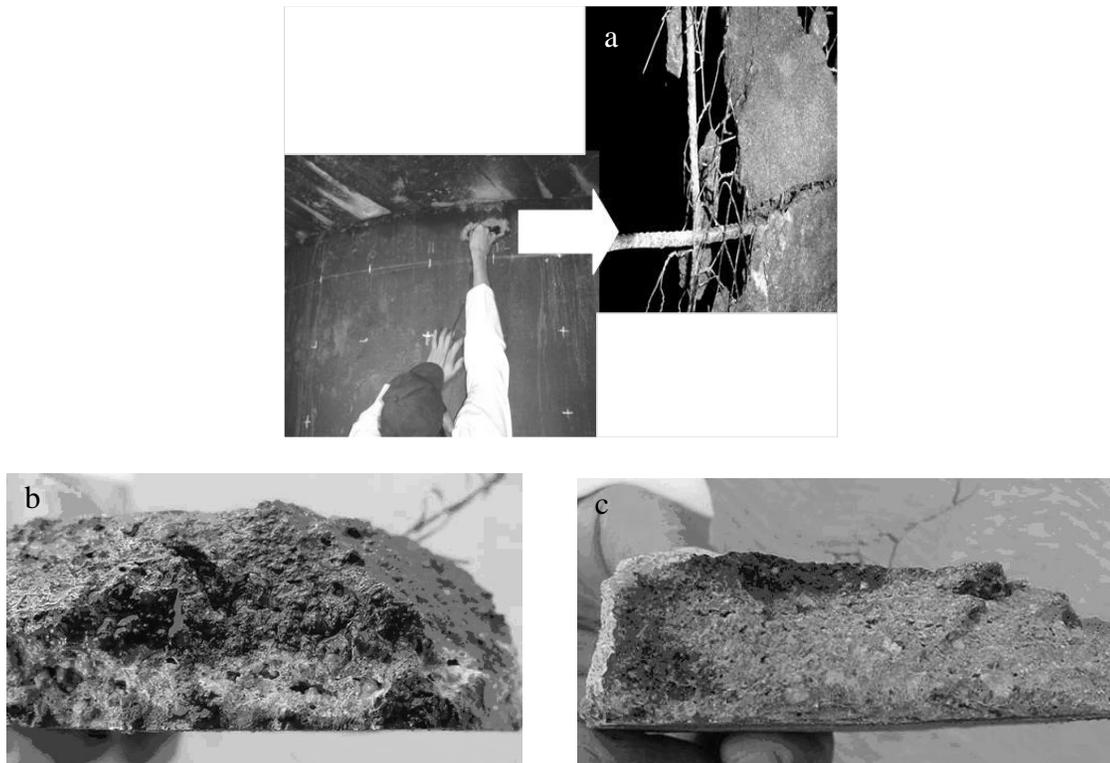



Figura 4. a) Manchas de herrumbre y corrosión en acero de refuerzo de micropresa A. b) Carbonatción por defectos constructivos. c) Carbonatción por mala calidad del mortero.

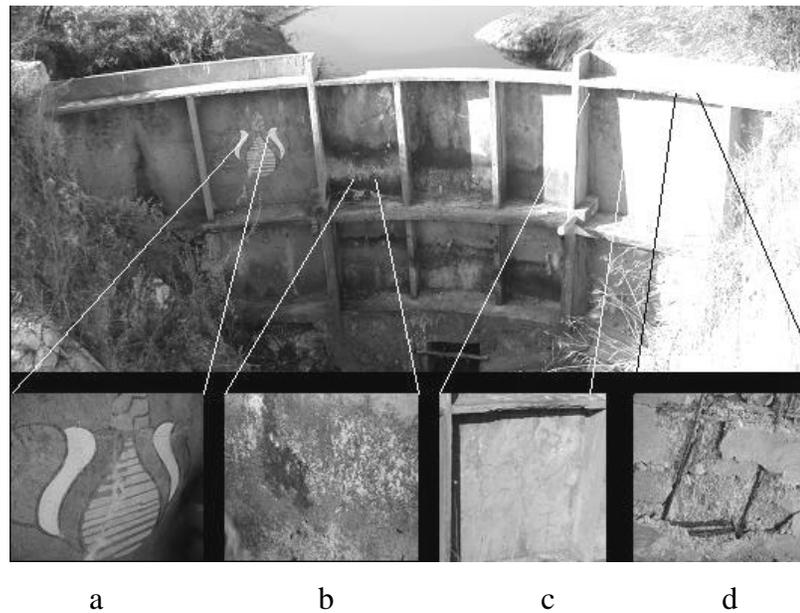


Figura 5. Evidencia de deterioro por corrosión. a).- grietas, b).- manchas de herrumbre c).- desprendimiento de recubrimiento y d).- delaminación y acero corroído.

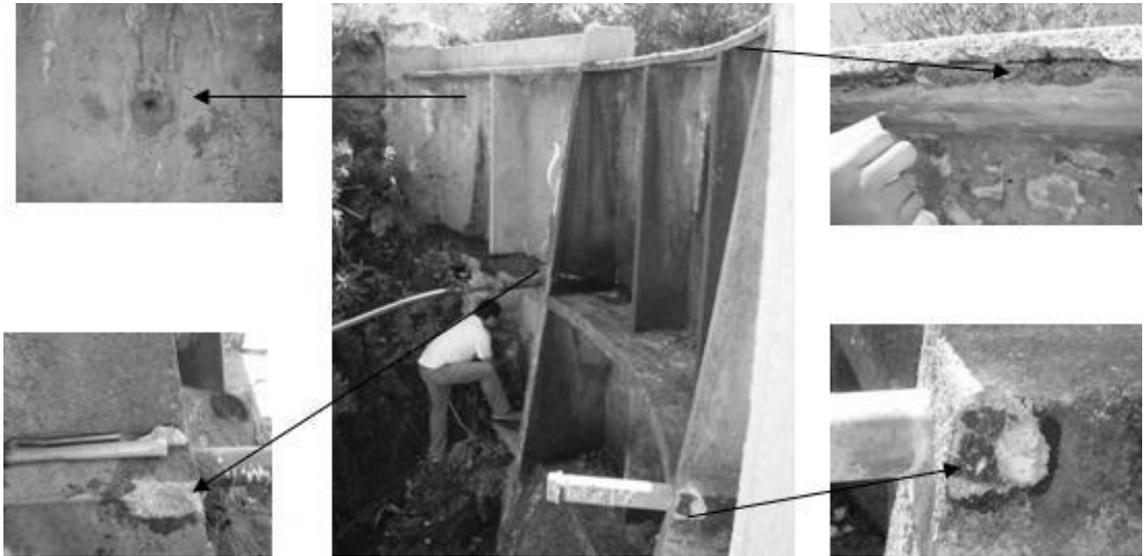


Figura 6. Prueba de carbonatación en diferentes puntos de la micropresa C



Figura 7. Desprendimiento del mortero de recubrimiento en la parte superior del arco.



Figura 8. Prueba de carbonatación en diferentes puntos de la micropresa D

La pérdida de recubrimiento en la zona del vertedor de la micropresa D, se debió al pequeño espesor de recubrimiento utilizado, la abrasión ocasionada por el movimiento del agua al momento de rebasar la capacidad del vaso de almacenamiento (en época de lluvia el agua y las partículas suspendidas en ella provocan la abrasión en el vertedor), los cambios volumétricos debidos a gradientes de temperatura y los ciclos de mojado y secado durante el periodo de lluvias.

### 3.2 Potenciales de corrosión

El mapeo de potenciales obtenidos por el método de media-celda se presenta a través de las gráficas de isolíneas, con las lecturas tomadas en cada micropresa.

Micropresa A. Al graficar los valores de las lecturas hechas a esta estructura se aprecia que en la parte inferior se presentan potenciales de corrosión más negativos que  $-500$  mV y en la parte superior potenciales menos negativos que  $-500$  mV y más negativos que  $-350$  mV, figura 9. Con base en lo anterior se puede indicar que existe un riesgo, de alto a severo, de que la armadura se esté corroyendo.

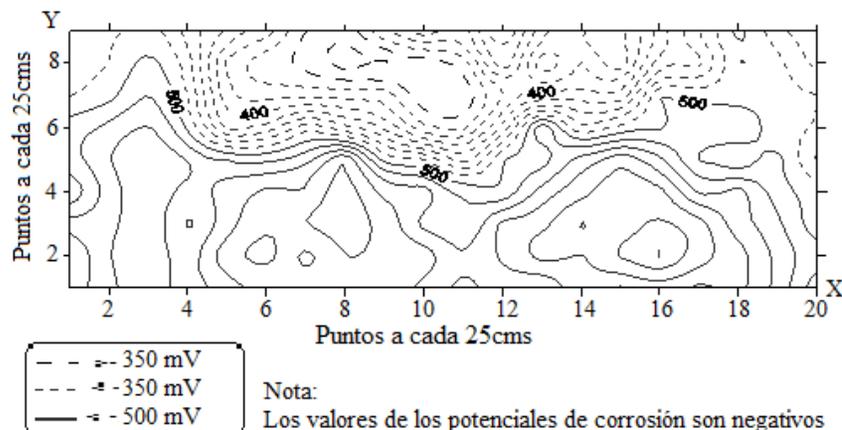


Figura 9. Mapeo de potenciales de la micropresa A

**Micropresa B.** En esta estructura, las isóneas revelan que en el extremo izquierdo y derecho se presentan potenciales de corrosión muy negativos con valores que van desde -350 mV hasta -500 mV, los que indican corrosión severa. En la parte superior derecha del mismo, se presentaron potenciales más negativos que -350 mV pero menos negativos que -500 mV, valores que se encuentran en un rango de alta probabilidad de corrosión a corrosión severa (Figura 10).

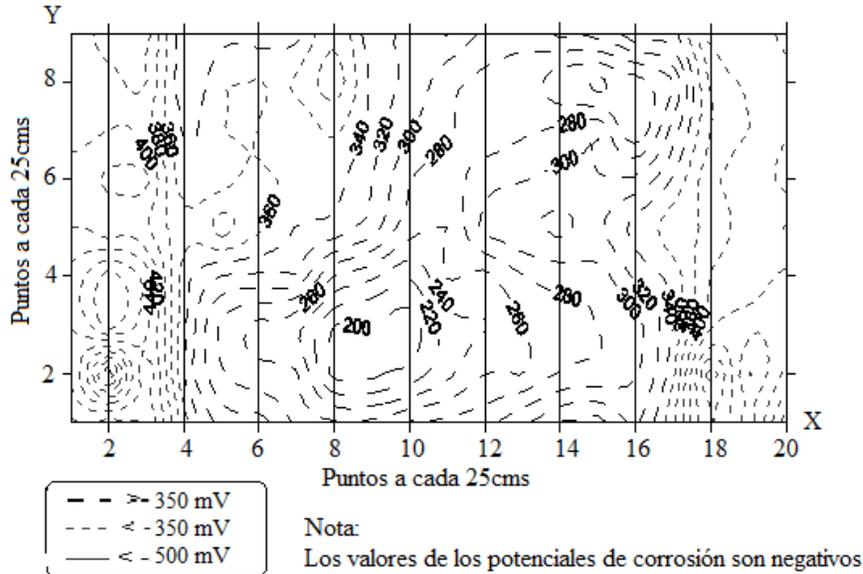


Figura 10. Mapeo de potenciales de la micropresa B

**Micropresa C.** Para realizar las lecturas de potenciales de corrosión en esta estructura, ésta se dividió en tableros y para cada uno de ellos se realizó el mapeo de potenciales; en algunos se refleja baja actividad corrosiva, teniendo potenciales que van desde los -8 mV y en las zonas con potenciales más altos se registraron hasta los -500 mV. En la Figura 11 se presenta el mapeo de la estructura completa. En la parte inferior izquierda del tablero se observan potenciales de corrosión más negativos que -350 mV y en el resto del muro existen potenciales menos negativos que -350 mV pero más negativos que -200 mV lo cual sugiere que la probabilidad de corrosión es de intermedia a severa.

**Micropresa de San Felipe Tejalapan**

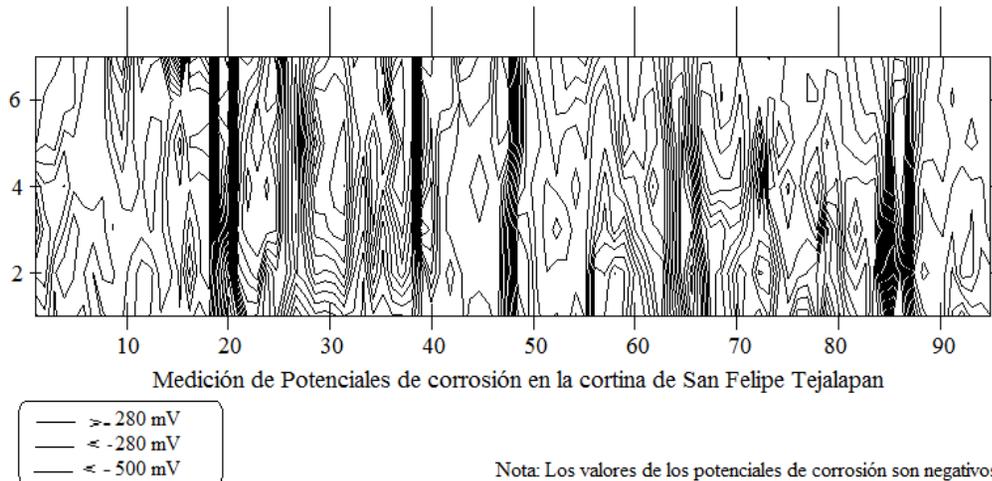


Figura 11. Mapeo de potenciales de la micropresa B

Micropresa D. Lo tanto los potenciales de corrosión registrados en esta estructura fueron positivos, solamente se observó corrosión localizada en algunas zonas. Es importante indicar que al momento de realizar la prueba la superficie de la estructura se encontraba seca y la temperatura ambiente era elevada, lo cual pudo afectar las medidas.

#### **4. DISCUSIÓN**

Con base en los resultados obtenidos, se infiere que el agente principal de la corrosión y deterioro de las micropresas fue el CO<sub>2</sub> del ambiente. El CO<sub>2</sub> provocó la carbonatación del mortero cemento-arena. La relación agua-cemento, la elección del agregado fino, el mezclado, colocado y curado, son algunos parámetros que determinan la porosidad del mortero. Es muy probable que la relación agua-cemento (0.60) de proyecto no se respetara o que se haya descuidado tanto la aplicación correcta de las capas de mortero como el curado, pues en la edificación de las micropresas externas, participaron campesinos y personas que no cuentan con conocimientos suficientes de construcción. El agrietamiento de las micropresas se atribuye a la porosidad de la matriz de ferrocemento, la expansión debida a gradientes térmicos, los esfuerzos mecánicos y los ciclos de humedecimiento y secado.

El éxito del ferrocemento como material de construcción para estructuras hidráulicas depende de la resistencia y durabilidad bajo cualquier condición ambiental, pues la matriz de él tiene 95 % o más influencia en el comportamiento final del producto, Al-Rifaie (2001). La porosidad del mortero puede ser reducida disminuyendo la relación agua-cemento con la correspondiente adición de un superplastificante para mantener su trabajabilidad. El uso de ceniza volante, escoria de alto horno y humo de sílice mejoran las propiedades de mortero y concreto, Vickridge (1998), Kumar (2002) y Aïtcin (2003). Lo anterior se tomará en cuenta para proyectos futuros.

#### **5. CONCLUSIONES**

La carbonatación del ferrocemento fue el principal mecanismo de corrosión del acero de refuerzo de las micropresas. La carbonatación originó corrosión uniforme y esto provocó la formación de grietas, la eflorescencia y las delaminaciones.

Con base en los resultados de las pruebas de inspección visual y potenciales de corrosión se concluye que en las micropresas de ferrocemento, consideradas en este estudio, existe un riesgo alto de corrosión.

#### **6. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, el apoyo económico otorgado al proyecto de investigación: Aspectos de durabilidad y seguridad estructural para el mejoramiento de micropresas de ferrocemento (SIP 20080209 y SIP 20090592), del cual derivó el presente trabajo.

#### **7. REFERENCIAS**

- Aïtcin, P.C., (2003) The durability characteristics of high performance concrete: a review, *Cement and concrete composites* 25 (4-5) 409-420.
- Al-Rifaie, W. N. and Al-Shukur, A.H.K(2001) Effects of Wetting and Drying Cycles in Fresh Water on the Flexural Strength of Ferrocement, *Journal of Ferrocement*, 31 (2) 101-108.
- Austriaco, L.R. (2001) Evolution of Ferrocement”, *Journal of ferrocement* 31 (4).

- Caballero, T. (2005) Ciclos de saturación en agua salada y secado en horno para definir el armado de elementos precolados de mortero cemento-arena para viviendas, Poster, Ecomateriales, Santa Clara, Cuba.
- Caballero, T., Jimenez, T., Ortiz M. y Morales, V. (2001) Pantallas de ferrocemento para la captación de agua de lluvia, IPN SIBEJ, 92 p. Oaxaca-Mexico
- Fernandez, A. (1996) Ferrocement research and development in Oaxaca, México, Journal of Ferrocement 31 (2).
- Fernandez, A. (1998) Regional Progress Report-Mexico, in Antoine E. Naaman (Ed), Six International Symposium on Ferrocement, 589-592, University of Michigan., Ann Arbor.
- Fontana, M. Corrosion Engineering (1986), Mc Graw Hill, U.S.A.
- Kumar, P.R. Seshu, D.R. and Rao, C.B.K (2002) Studies on High Performance Mortar Mixes Part 1, Strength and Flow Characteristics and Part 2 Shrinkage and Sorbtivity Characteristics, Journal of Ferrocement, 32(3), 205-231.
- Mathews, M. S. (1993) Durability studies on ferrocement”, Journal of ferrocement 23 (1).
- Nedwell, P. and Nicol, R. (2006) The Use of X-Rays in the Investigation of Ferrocement” in P. Nimityongskul (Ed), Eighth International Symposium and Workshop on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, 571-583, Bangkok, Thailand.
- Rajamane, N.P., (2003) Application of Ferrocemnet and Polymeric Materials for Repair of Corrosion Damaged Hiperboloid Overhead Water Tank Structure”, Journal of ferrocement 33(1).
- Sumrerng, R. (2006) Strength and Carbonation of Ternary Blended Portland Rice Husk Ash and Fly Ash cement mortar, in P. Nimityongskul (Ed), Eighth International Symposium and Workshop on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, 525-533, Bangkok, Thailand.
- Vickridge, I.G., Nakassa, A. S. and Turner, H. (1998) High durability Ferrocement, in A. E. Naaman (Ed), Sixth International Symposium on Ferrocement. Universidad of Michigan, 297-312, Ann Arbor, U.S.A.
- Vickridge, I. G. and Ranjbar, M. M. (1998a) The combined effect of crack, load and aggressive environment on the corrosion rate of ferrocement reinforcement, in A. E. Naaman (Ed), Six International Symposium on Ferrocement, p.329-343, University of Michigan, Ann Arbor, U.S.A.
- Vickridge, I. G. and Ranjbar, M. M. (1998b) The effect of an aggressive environment on the flexural performance of ferrocement, in A. E. Naaman (Ed), Six International Symposium on Ferrocement, p.213-328, University of Michigan, Ann Arbor, U.S.A.