



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



**ESTUDIO DEL RIESGO DE CORROSIÓN DE MICROPRESAS DE
FERROCEMENTO**

E. Pérez², T. Caballero¹, V. Jiménez¹, P. Montes¹

¹ Grupo de Materiales y Construcción del CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca. Hornos 1003 Sta. Cruz Xoxocotlán, C.P.71230, Oaxaca, México. ² Instituto Tecnológico de Oaxaca, México

RESUMEN

Las micropresas de ferrocemento generan ventajas económicas e impactos social y ambiental importantes en comunidades áridas de Oaxaca, México. Debido al pequeño espesor de los elementos estructurales y reducido recubrimiento de éstas, el acero de refuerzo puede presentar riesgo de corrosión por agentes agresivos. Se evaluó el riesgo de corrosión de cuatro micropresas de ferrocemento, con edades de 9, 9, 11 y 14 años respectivamente. Se efectuaron pruebas de inspección visual y potenciales de corrosión empleando la media-celda. Durante la inspección visual se observó evidencia física de la existencia de corrosión. El mapeo de potenciales corroboró los resultados obtenidos de la inspección visual. Se concluye que las micropresas estudiadas tienen un alto riesgo de corrosión (mas del 90%), y en algunos casos la corrosión es severa. Este diagnóstico representa el punto de partida para la identificación y caracterización de los factores que promovieron el desarrollo de la corrosión de las estructuras en estudio.

Palabras clave: Durabilidad, micropresas, ferrocemento, media celda

ABSTRACT

Ferrocement small-dams generate economic advantages and important social and environmental impacts in arid communities of Oaxaca, Mexico. Due to their small dimensions of the structural elements and reduced cover depth, the steel reinforcement can present risk of corrosion caused by aggressive agents. The risk of corrosion of four ferrocement small-dams was evaluated. The ages of the structures were 9, 9, 11 and 14 years respectively. Visual inspection and corrosion potentials were carried out by using the half-cell. During the visual inspection, physical evidence of the existence of corrosion was observed. The mapping of potentials corroborated the obtained results of the visual inspection. It was concluded that the studied small-dams have a high risk of corrosion (more than 90%), and in some cases the corrosion is severe. This diagnosis represents the starting point for the identification and characterization of the factors that promoted the development of the corrosion of the structures under study.

Keywords: Durability, small-dams, ferrocement, half-cell



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



INTRODUCCIÓN

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 potenciales¹⁻²⁻³.

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 corrosión⁴.

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 contienen³.

A pesar de los avances logrados en este material⁵⁻⁶, no se han llevado a cabo muchos estudios de durabilidad en estructuras reales de ferrocemento, sólo se tienen algunos antecedentes por estudios realizados en especímenes⁷⁻⁸. 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 durabilidad⁹. 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 corrosión¹⁰.

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 adicionados¹¹.

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.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se evaluaron cuatro micropresas de ferrocemento, por medio de pruebas de inspección visual y de media-celda; 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.

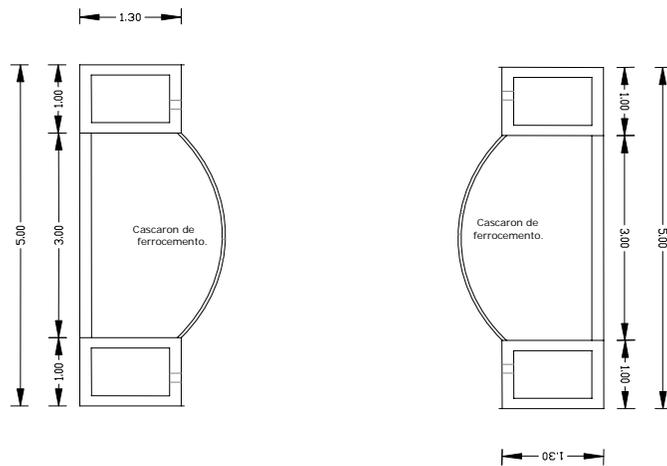


Figura 1. Vista en planta de las micropresas A y B



Figura 2. Micropresa C.



Figura 3. Micropresa D.

Inspección visual

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.).

Pruebas de potenciales de corrosión

Se realizaron lecturas de potenciales de corrosión según lo establecido en la norma ASTM-876-91a cada micropresa. Para las lecturas se empleó una media celda de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4) y un voltímetro digital de alta impedancia marca MCM-Miller modelo LC-4.5

RESULTADOS

Inspección Visual

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 cascarón, figura 4.

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 y como consecuencia tanto el espesor de recubrimiento como el acero de refuerzo han prácticamente desaparecido.

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 6.



Figura 4.- Se observan manchas de herrumbre en todo el refuerzo de la muestra del cascarón.
(Malla electrosoldada, tela de gallinero y metal desplegable)



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.- Desprendimiento del mortero de recubrimiento en la parte superior del arco.

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 agua al momento de rebasar la capacidad del vaso de almacenamiento, los cambios volumétricos debidos a gradientes de temperatura y los ciclos de mojado y secado durante el periodo de lluvias.

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 mas negativos que -500 mV y en la parte superior potenciales menos negativos que -500 mV y más negativos que -350 mV, figura 7. Con base en lo anterior se puede decir existe desde alto riesgo de corrosión a corrosión severa.

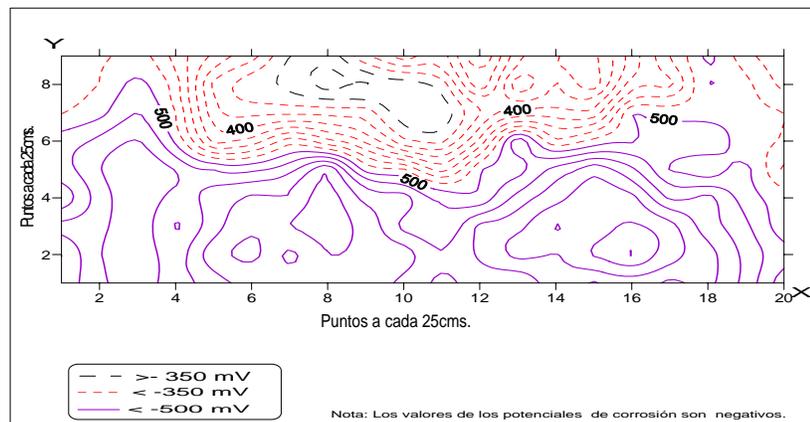


Figura 7.- Mapeo de potenciales de la micropresa A

Micropresa B. En esta estructura, las isolíneas revelan que en el extremo izquierdo y derecho se presentan potenciales de corrosión altos con valores que van desde -350 mV hasta -500mV, por lo que indican corrosión severa. En la parte superior derecha del mismo, se presentaron potenciales más negativos que -350 mV pero menos negativos que -500mV, valores que se encuentran en un rango de alta probabilidad de corrosión a corrosión severa figura 8.

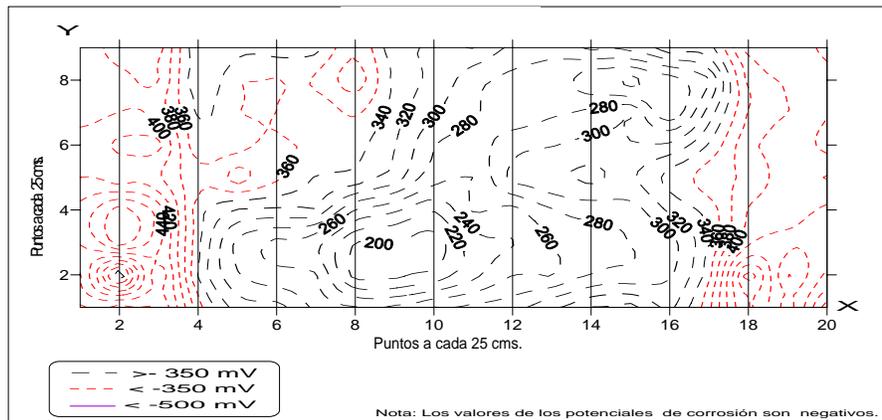


Figura 8.- Mapeo de potenciales de la micropresa B

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 9 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.

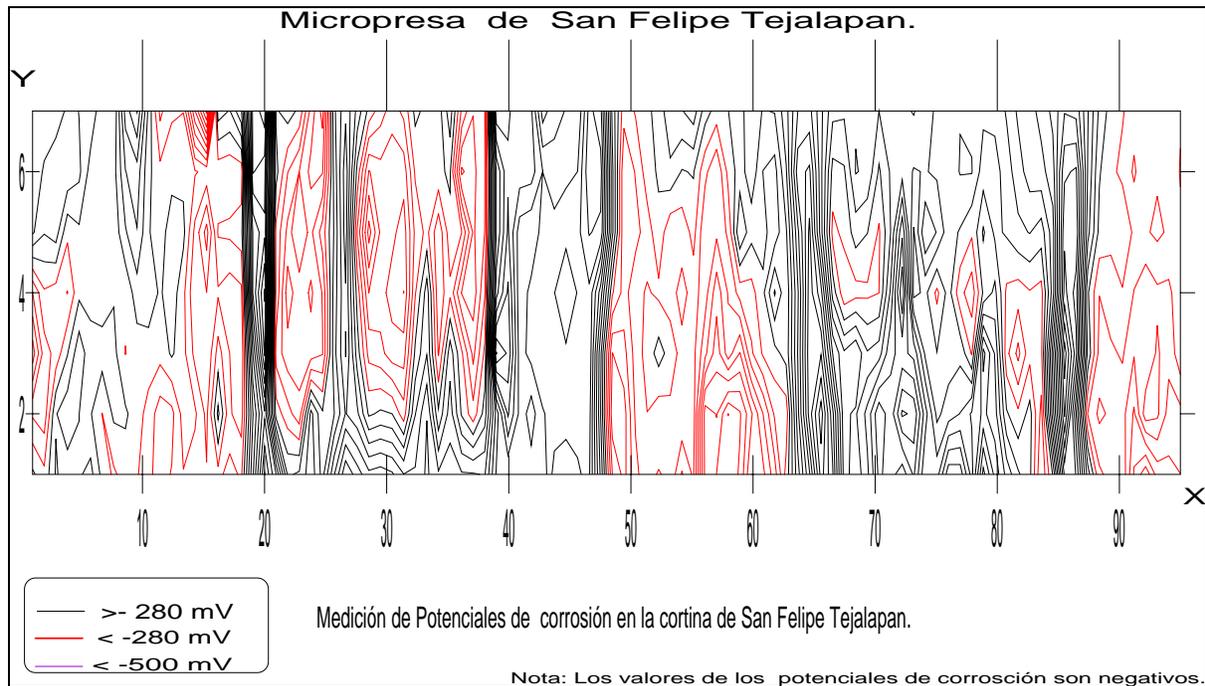


Figura 9.- Mapeo de potenciales de la micropresa B

Micropresa D. El daño observado fue de tipo localizado, por lo tanto los potenciales de corrosión registrados en la estructura fueron positivos, esto aunado a que al momento de realizar la prueba la superficie de la estructura se encontraba seca y la temperatura ambiente era elevada

Discusión

Con base en los resultados obtenidos, se infiere que el agente principal de la corrosión y deterioro de las micropresas fue el CO_2 del ambiente. El CO_2 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 uno de ellos se haya descuidado, 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 de bajo cualquier condición ambiental, pues la matriz de él tiene 95 % o más influencia en el comportamiento final del producto¹². 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 concreto¹³⁻¹⁴⁻¹⁵. Debe tenerse



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



presente que, aunque el uso de cemento mezclado con ceniza volante y ceniza de cáscara de arroz mejora la resistencia a la penetración de cloruros y al ataque de sulfatos, su uso normalmente incrementa la carbonatación y por lo tanto incrementa el riesgo de deterioro de estructuras construidas con materiales basados en cemento.

Conclusión

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

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, el apoyo económico otorgado a los proyectos de investigación: Aspectos de durabilidad y seguridad estructural para el mejoramiento de micropresas de ferrocemento (SIP 20070385) y Análisis de la condición en el acero y de la matriz del concreto en el dominio tiempo-frecuencia (SIP 20080554), de los cuales derivó el presente trabajo.

Referencias

- 1.- A. Fernandez, "Ferrocement research and development in Oaxaca, México", Journal of ferrocement **31,2** (1996).
- 2.- A. Fernandez, "Regional Progress Report-Mexico" in Antoine E. Naaman (Ed), Six International Symposium on Ferrocement University of Michigan (1998): p.589, Ann Arbor.
- 3.- L.R. Austriaco, "Evolution of Ferrocement", Journal of ferrocement **31,4** (2001).
- 4.- M. Fontana, Corrosion Engineering (U.S.A., Mc Graw Hill, 1986).
- 5.-P. Nedwell and R. Nicol, "The Use of X-Rays in the Investigación of Ferrocement" in P. Nimityongskul (Ed), Eighth International Symposium and Workshop on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites. Bangkok (2006): p.571, Thailand.
- 6.- N.P. Rajamane, "Application of Ferrocement and Polymeric Materials for Repair of Corrosion Damaged Hiperboloid Overhead Water Tank Structure", Journal of ferrocement **33,1** (2003).
- 7.- M. S. Mathews, "Durability studies on ferrocement", Journal of ferrocement **23,1** (1993).
- 8.- T. Caballero, "Ciclos de saturación en agua salada y secado en horno pra definir el armado de elementos precolados de mortero cemento-arena para viviendas", Poster, Ecomateriales, (2005), Santa Clara, Cuba.
9. - R. Vickridge, "The effect of an aggressive environment on the flexural performance of ferrocement" in A. E. Naaman (Ed), Six International Symposium on Ferrocement University of Michigan (1998): p.227, Ann Arbor.
10. - R. Vickridge, "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 University of Michigan (1998): p.329, Ann Arbor.
- 11.- R. Sumrerng, "Strengt and Carbonatation 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. Bangkok (2006): p.525, Thailand.



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



- 12.-W. N. Al-Rifaie, “Effects of Wetting and Drying Cicles in Fresh Water on the Flexural Strength of Ferrocement”, Journal of ferrocement, 31,2 (2001).
- 13.- I.G. Vickridge, “High durability Ferrocement”, in A. E. Naaman (Ed), Sixth International Symposium on Ferrocement. Universidad of Michigan (1998): p.297, Ann Arbor.
- 14.- P.R. Kumar, “Studies on High Performance Mortar Mixes (Part 1 and 2)”, Journal of ferrocement, 32,3 (2002).
- 15.- P.C. Aitcin,”The durability characteristics of high performance concrete: a revie”. Cement and concrete composites, 25, (2003).