

Preventive and corrective maintenance of reinforced concrete exposed to chlorides, using an organic corrosion inhibitor

Emilia Anzola, Rosa Malavé, Jorge Herrera, Rafael Suárez, Jesús Arroyo y Miguel Parra

*Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado"
Apdo. 400, Barquisimeto, Venezuela. Telf. 58-51-592113 Fax.58-51-592112
E-mail: e_anzola@hotmail.com, malave@delfos.ucla.edu.ve*

Abstract

The aim of this work is to establish whether an organic corrosion inhibitor admixture (IOC) is effective for preventative maintenance against corrosion in reinforced concrete as well as in mortars for repair in corrective maintenance of structures damaged by corrosion. To carry out the study of the IOC as a preventive method, 3" by 6" cylindrical specimens with reinforcing steel were fabricated in concrete of different water/cement ratios. To study the IOC in repair mortars, 23.6" x 5.9" x 5.9" prisms were used. These were subjected to corrosion and later repaired with a mortar of water/cement ratio of 0.55. All the specimens were exposed to saline mist of 5% sodium chloride in a corrosion chamber. During the exposure period, electrochemical tests were carried out, measuring the potential and the corrosion rate. Finally, the absorption of chlorides was established. During the testing period it was not observed significant differences between the behavior of the samples using inhibitor and the control ones.

Key words: Corrosion, concrete, additive, inhibitor.

Mantenimiento preventivo y correctivo del concreto armado expuesto a cloruros, usando un inhibidor orgánico de corrosión

Resumen

El objetivo del trabajo es comprobar la acción del aditivo inhibidor orgánico de la corrosión (IOC) adicionado al concreto como método preventivo de la corrosión de la armadura y cuando se usa en morteros de reparación de obras dañadas por corrosión. Para realizar el estudio del IOC como medio preventivo, se elaboraron probetas cilíndricas, de 15 cm X 7.5 cm con refuerzo metálico y concreto de diferentes relaciones agua/cemento 0.80,0.70,0.64,0.60,0.52,0.48. Para estudiar el IOC en morteros de reparación, se usaron probetas de 55 cm X 15 cm X 15 cm, a las cuáles se les indujo la corrosión y luego fueron reparadas con un mortero de relación agua/cemento 0.55 Patrón y con IOC. Todas las probetas fueron expuestas a niebla salina al 5% de Cloruro de Sodio en una cámara de corrosión. Durante el tiempo de exposición se efectuó la evaluación electroquímica mediante medición de potenciales y velocidad de corrosión, finalmente se determinó el ingreso de cloruros en el concreto. En el período de evaluación no se observó diferencia en el comportamiento de las mezclas con inhibidor respecto a las patrón.

Palabras clave: Corrosión, concreto, aditivo, inhibidor.

Introducción

Son diversas las definiciones de vida útil del concreto siendo una de ellas la que se define como el lapso durante el cual la estructura conserva todas las características mínimas de funcionalidad, resistencia y aspecto externo exigible [1]. Una de las fallas que afecta las condiciones de servicio de una estructura es la corrosión de la armadura del concreto, originando un alto costo de reparación, debiéndose tener siempre en cuenta el mantenimiento preventivo desde la etapa del proyecto, lo que implica un costo inicial necesario que debe considerarse como una técnica moderna de reducción de costos de operación para evitar el mantenimiento correctivo. En las últimas décadas una importante cantidad de obras civiles reportan deterioros, originándose fallas en el sistema, lo que reduce la vida útil de la estructura y se ha demostrado que se deben a un escaso mantenimiento preventivo o a fallas en el control de calidad de la obra.

El empleo de aditivos inhibidores permite el uso de materiales que presentan una alternativa segura y eficiente, de bajo monto de inversión en el control de la corrosión del acero de refuerzo presentando ventajas significativas en comparación con otros sistemas de protección. Uno de los primeros inhibidores usados en campo ha sido el Nitrito de Calcio comenzándose a usar comercialmente en 1978, éste ha sido estudiado por diversos grupos de investigación [2, 3, 4, 5], su efectividad depende de la concentración de los iones cloruros, quedando la interrogante del tiempo de vida útil que puede tener su acción inhibidora. Otros inhibidores inorgánicos utilizados como aditivos a base de fosfatos, cromatos, benzoatos, metasilicatos, boratos, dicromato de potasio, borato de sodio, óxido de cinc, también han sido estudiados por diversos autores, mostrando en sus publicaciones una eficiencia de inhibición menor a la del Nitrito de Calcio [6, 7, 8, 9]. Más recientemente se han incorporado al mercado inhibidores orgánicos de corrosión, entre ellos un producto fundamentado en una combinación en base acuosa, de complejos orgánicos de ésteres y aminas, adicionado al concreto como cualquier otro aditivo líquido, que actúan por un mecanismo de adsorción, formando una película protectora sobre el acero de refuerzo, por no ser un mecanismo com-

petitivo con iones cloruros, la protección es independiente de la concentración de estos [10]. Estos productos han mostrado no tener efectos negativos en las propiedades reológicas del concreto armado y pueden provocar ligeras alteraciones en las propiedades del concreto endurecido [11, 12].

Cuando se va a reparar se debe cuidar la calidad de los morteros empleados en la reparación, de tal manera que se garantice su impermeabilidad y la compatibilidad entre el concreto viejo y el nuevo. Investigaciones realizadas [13] estudiaron cinco sistemas de reparación, llegando a la conclusión de que en las reparaciones localizadas, si la calidad del concreto original no es buena, puede dar origen a otros puntos de corrosión, aumentando el problema o el riesgo de producir otras celdas electroquímicas. En este caso, se deben tomar medidas complementarias, tales como reducción de la agresividad del medio ambiente, realcalinización del concreto o protección catódica. Se encontró también que reparaciones localizadas pueden ser consideradas como soluciones eficientes para corregir problemas de corrosión de armaduras en estructuras de concreto armado de buena calidad [14].

Sobre la base de lo expuesto, el objetivo de este trabajo es comprobar la efectividad del aditivo orgánico antes mencionado al usarse como componente del concreto en el mantenimiento preventivo de la corrosión del acero en estructuras de concreto armado y en morteros para reparaciones localizadas en estructuras dañadas por corrosión, todas expuestas en ambientes tropicales salinos.

Procedimiento Experimental

Para estudiar la efectividad del inhibidor orgánico en mezclas de concreto para el mantenimiento preventivo se realizaron seis diseños de mezclas de concreto con los materiales de construcción más utilizados en la región, arena lavada y piedras de 3/8 pulg, cemento del Estado Lara y agua del abastecimiento municipal, las especificaciones se muestran en la Tabla 1.

Para el estudio del inhibidor en el mortero de reparación localizada, se utilizó una mezcla de buena calidad que cumpliera con las siguientes especificaciones mínimas: 300 Kg de cemento por metro cúbico de concreto y una relación agua-cemento de 0.55 con un buen curado y

Tabla 1
Características de las Mezclas

| Grupo de mezcla | | Nº de probetas | Cantidad de cemento Kg/m ³ | Relación a/c | Dosis de Aditivo IOC L/m ³ |
|-----------------|---------|----------------|---------------------------------------|--------------|---------------------------------------|
| I | Patrón | 9 | 300 | 0.80 | 0 |
| | Con IOC | 9 | 300 | 0.80 | 5 |
| II | Patrón | 9 | 300 | 0.70 | 0 |
| | Con IOC | 9 | 300 | 0.70 | 5 |
| III | Patrón | 9 | 400 | 0.64 | 0 |
| | Con IOC | 9 | 400 | 0.64 | 5 |
| IV | Patrón | 9 | 400 | 0.60 | 0 |
| | Con IOC | 9 | 400 | 0.60 | 5 |
| V | Patrón | 9 | 500 | 0.52 | 0 |
| | Con IOC | 9 | 500 | 0.52 | 5 |
| VI | Patrón | 9 | 500 | 0.48 | 0 |
| | Con IOC | 9 | 500 | 0.48 | 5 |

compactado de los elementos diseñados para el estudio. La reparación localizada se efectuó con un mortero con las mismas condiciones del concreto inicial, uno patrón y otro incorporándole el inhibidor orgánico de la corrosión. Se elaboraron tres elementos o probetas para estudiar cada uno de los morteros de reparación.

El aditivo inhibidor de la corrosión (IOC) es de marca comercial. Su composición química, de acuerdo a los fabricantes, es a base de complejos orgánicos de ésteres y aminas. Se adiciona a la mezcla en una dosis fija de 5 litros por metro cúbico de concreto y actúa directamente sobre la superficie del acero de refuerzo formando una película resistente a la corrosión.

Elaboración de las probetas

Mantenimiento preventivo: Se elaboraron un total de 108 probetas de concreto, 9 por cada diseño de mezcla, 54 de mezclas patrones y 54 de mezclas con el IOC incorporado. Se trabajó con 9 probetas por mezcla por considerarse un buen número de ensayos para el procesamiento de los resultados.

Las probetas diseñadas fueron cilindros de concreto de 15 cm de longitud por 7.5 cm de diámetro, con una cabilla de 3/8 pulg. (0.95 cm) de diámetro en su interior, siendo éste el electrodo

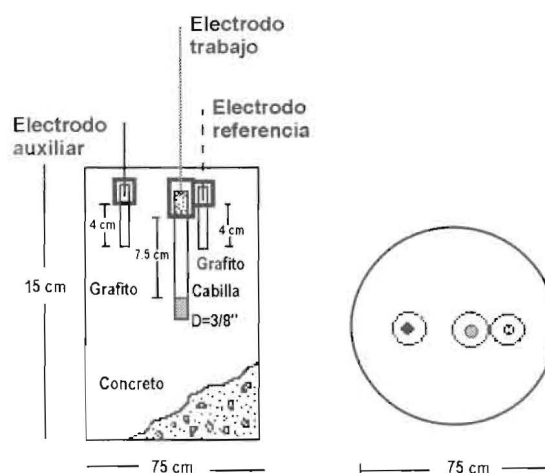


Figura 1. Diseño de las probetas.

de trabajo al cual se le revistió los extremos con pintura a base de minio, para definir el área de exposición a 22.4 cm² (7.5 cm) con la finalidad de conocerla, para el ensayo electroquímico de resistencia a la polarización (RP) y dos electrodos de grafito, uno de referencia colocado lo más cercano posible al electrodo de trabajo para disminuir la caída IR en las medidas de RP y otro auxiliar, utilizado para las mediciones del ensayo de RP, según procedimiento utilizado en el Centro de Estudios de Corrosión de LUZ [6] (Figura 1).

Una vez fraguado el concreto, las probetas fueron sometidas a 28 días de curado y luego expuestas a una cámara de niebla salina al 5% de Cloruro de Sodio según Norma ASTM B-117-90, con ciclos intermitentes de exposición en sal por 18 h en niebla, 6 h en la cámara salina saturado mientras enfriaba y luego se sacaban al aire por 24 h a temperatura ambiente y se efectuaban las mediciones de potencial y resistencia a la polarización, este ciclo se repitió hasta completar 1200 h de exposición en la niebla (300 días). Se determinó el contenido de cloruros al principio y al final de la exposición.

Mantenimiento correctivo: Se elaboraron un total de seis probetas, 3 para ser reparadas con el mortero Patrón y 3 con el mortero con IOC incorporado, en este caso se trabajó con 3 probetas por ser de dimensión mayor que los cilindros y permiten hacer 6 mediciones en cada probeta. Las probetas fueron vigas de concreto armado de 55 cm x 15 cm x 15 cm, con acero de refuerzo de 3/8 pulg (0.95cm) de diámetro. El acero se sometió a limpieza química antes del vaciado de la viga, y se colocaron además electrodos de grafito conectados al acero para las mediciones de resistencia a la polarización (Figura 2).

Una vez fraguado el concreto, las probetas fueron sometidas a 28 días de curado y luego preagrietadas a flexión, utilizando un 30% de la carga de diseño. En el momento que se presentaron las grietas, se colocaron laminillas plásticas en las mismas para prevenir que se cerraran al cesar la carga. Esto permitió la entrada del oxígeno y del ion cloruro al inducir el proceso de corro-

sión exponiéndolas en una cámara de niebla salina al 5% de Cloruro de Sodio, con ciclos intermitentes de exposición en sal y aireado, hasta obtener potenciales activos de -350 mV vs Cu/CuSO₄. En este momento se realizó la reparación de las vigas siguiendo las recomendaciones de otros investigadores [13, 15] para la reparación de estructuras de concreto que coincide con el siguiente procedimiento:

- Quitar el concreto hasta al menos 1 cm por detrás de la armadura corroída con el fin de permitir un buen acceso para la limpieza del óxido superficial de estas y posteriormente colocación del material de reparación.
- Descubrir la armadura 2 cm más, longitudinalmente, a cada lado desde la zona corroída.
- Efectuar una limpieza de la armadura con cepillo de alambre y lavado con agua, para evitar que queden cloruros adheridos en la capa de óxidos y para asegurar la adherencia del nuevo material.

Una vez efectuada la reparación se sometieron a 700 horas de exposición por 180 días. Durante este tiempo fueron evaluadas electroquímicamente efectuándose mediciones de potenciales y de velocidades de corrosión. Se determinó el contenido de cloruros al principio y al final de la exposición.

Evaluación electroquímica

Se efectuaron mediciones electroquímicas, tanto en las probetas cilíndricas estudiadas para

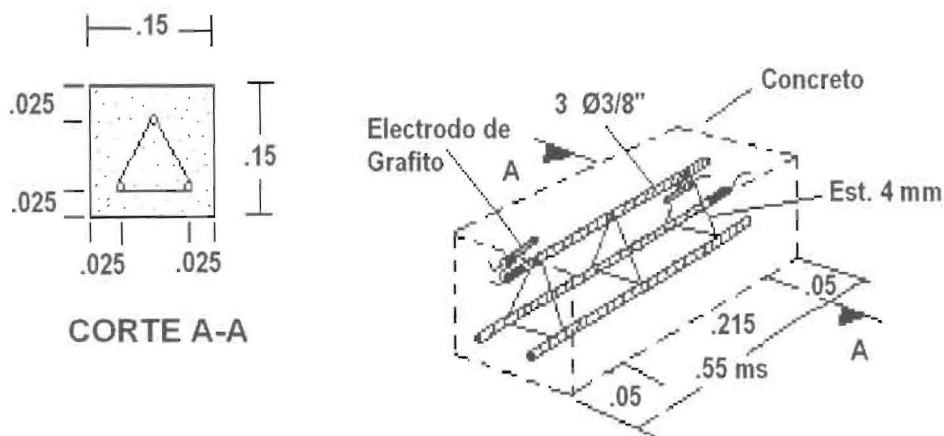


Figura 2. Viga de prueba.

el mantenimiento preventivo como en las vigas después de reparadas, presentándose los valores promedios como resultado, en cada ensayo.

Medición de potenciales: Estas medidas se realizaron según norma ASTM C876-87, usando un multímetro digital con electrodo de referencia de Cu/CuSO₄ saturado. La frecuencia de esta medición fue de cuatro días.

Velocidad de corrosión: Esta variable se determinó usando la técnica de la Resistencia a la Polarización, la cual se fundamenta en la medida de la resistencia aparente de una celda de ensayo cuando el electrodo se polariza anódica o catódicamente a valores de sobrepotencial entre 10-20 mV. La resistencia aparente se determina midiendo la corriente eléctrica drenada y el potencial aplicado externamente y la misma es inversamente proporcional a la densidad de corriente o velocidad de corrosión [16].

$$R_p = \Delta E / \Delta V \quad (1)$$

Esta expresión es relacionada con la velocidad instantánea de corrosión a través de los valores de las pendientes de Tafel (β_a , β_c) mediante la relación:

$$i_{corr} = B / r_p \quad (2)$$

donde:

$$B = (\beta_a * \beta_c) / (2.3 * (\beta_a + \beta_c)) \text{ (mV)} \quad (3)$$

Para el ensayo se utilizó una velocidad de barrido de 0.28 mV/s, siendo esta velocidad suficiente para permitir la formación de películas pa-

sivas y estudiar su integridad, en aceros embebidos en concreto [17]. Se realiza en los cilindros cuando se observan variaciones en los potenciales, durante el período de exposición, y en las vigas cada 100 h de exposición después de reparadas.

Determinación de cloruros

Se determinó cuantitativamente por análisis volumétrico, el contenido de cloruro por peso de cemento, para esto se rompió la probeta en seco, con la ayuda de una prensa universal, y se tomó la muestra a tres centímetros de profundidad (a nivel de la cabilla) en tres probetas diferentes, al principio y al final de la exposición. Se siguió el método de determinación de cloruros solubles según Norma ASTM D1411. Se efectuaron tres ensayos por cada muestra tomada. Se realizó de forma similar en los dos casos de estudio, cilindros y vigas.

Resultados

Mantenimiento preventivo

Medidas de potenciales: En las mezclas de alta relación agua-cemento la de 0.80 (Figura 3a) y la de 0.70 (Figura 3b), se observa una tendencia a descender los potenciales a valores activos inferiores a -350 mV Vs Cu/CuSO₄. En las mezclas con inhibidor orgánico (IOC) se observan potenciales menos negativos para la mezcla de a/c 0.70.

En las mezclas de relación agua-cemento medias de 0.64 y 0.60, se observa un comportamiento diferente. Las mezclas de a/c 0.64 (Figu-

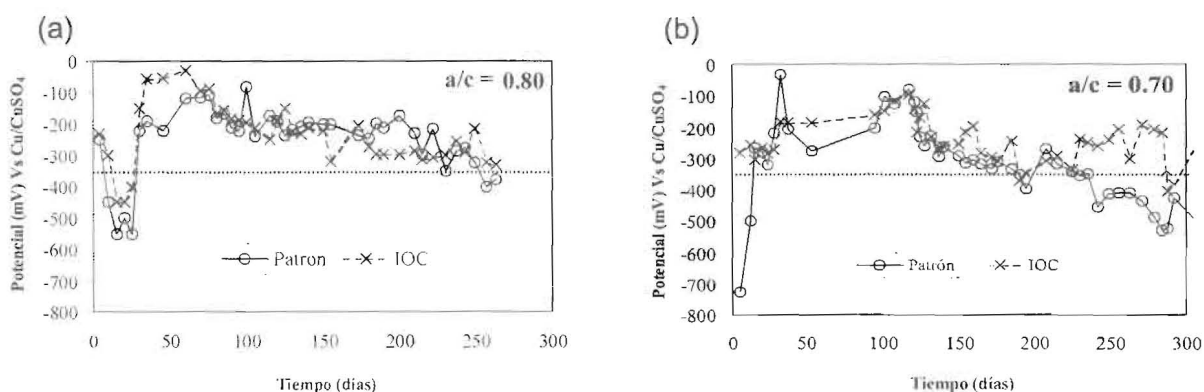


Figura 3. Comportamiento de potenciales para las mezclas de: (a) a/c 0.80, (b) a/c 0.70.

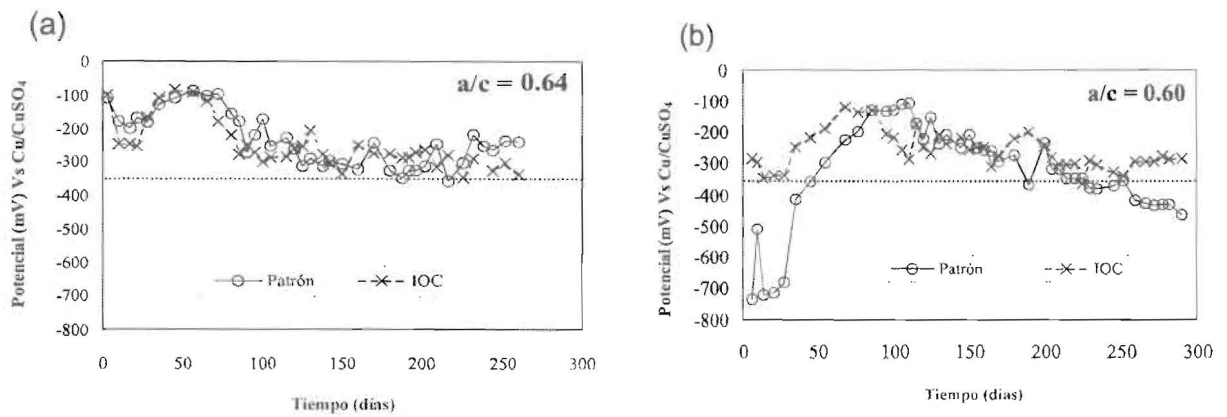


Figura 4. Comportamiento de potenciales para las mezclas de: (a) a/c 0.64, (b) a/c 0.60.

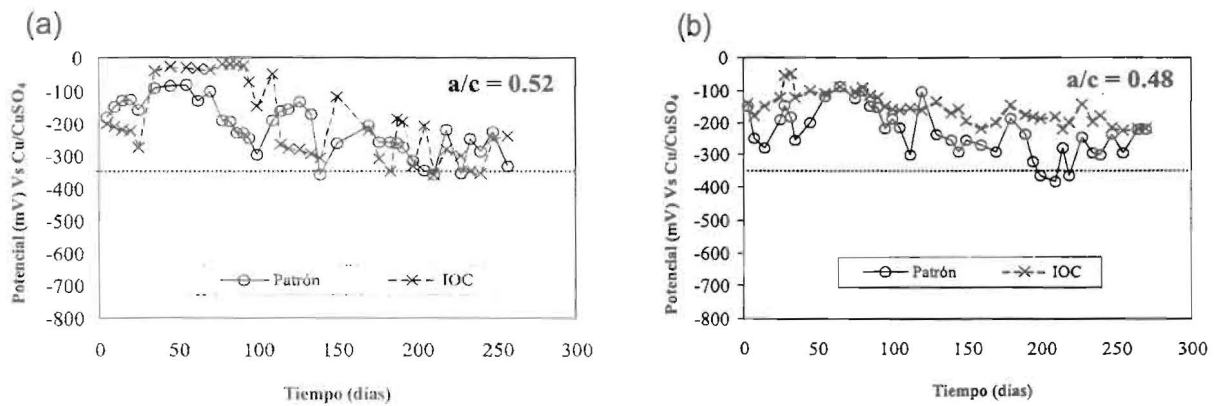


Figura 5. Comportamiento de potenciales para las mezclas de: (a) a/c 0.52, (b) a/c 0.48.

ra 4a) presentan potenciales entre -200 y -350 mV tanto la mezcla patrón como la que tiene IOC, indicando incertidumbre acerca de la existencia de corrosión en el acero.

En las mezclas con relación a / c de 0.60 (Figura 4b) se muestra un comportamiento estable en la mezcla con IOC, en tanto que en la mezcla patrón bajan los potenciales de -350 mV, después de 200 días de exposición, indicando una mayor actividad en el acero.

Las mezclas con relación agua-cemento bajas de 0.52 y 0.48 (Figuras 5a y 5b) respectivamente, presentan valores de potenciales superiores a -350mV, dando indicios de pasividad tanto en las mezclas patrones como las que tienen inhibidor de la corrosión. Se observó mucha fluctuación en los potenciales medidos durante la evaluación.

Velocidad de corrosión: Para el análisis de este parámetro se toma como referencia el valor

de $0.1 - 0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ que indica que por debajo de estos la armadura del concreto está pasiva, valores superiores permiten graduar el tiempo que se pueda tardar en alcanzar determinados grados de corrosión [1]. El análisis se realizó tomando como referencia $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ debido a que los valores medidos desde un principio estuvieron cercanos a $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

En la Tabla 2, se observa que las velocidades de corrosión se encuentran por encima de $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, en su mayoría, a partir de los 215 días para las mezclas de relación agua/cemento superiores a 0.64. Por debajo de esta relación agua/cemento el acero en las diferentes mezclas presenta velocidades de corrosión igual o menor a $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ durante todo el tiempo de evaluación. En la mayoría de las mezclas se observan valores de velocidad de corrosión un poco menor para las que contienen inhibidor, comparada con las patrones, al igual que los potenciales. Sin em-

Tabla 2
Velocidad de corrosión

| a/c | Mezcla | icorr $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ | | | | | |
|------|-----------|---------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0 días | 50 días | 100 días | 150 días | 215 días | 300 días |
| 0.80 | Patrón | 0.10 | 0.03 | 0.09 | 0.14 | 0.79 | 2.00 |
| | Inhibidor | 0.10 | 0.02 | 0.08 | 0.08 | 0.15 | 0.7 |
| 0.70 | Patrón | 0.10 | 0.10 | 0.17 | 0.25 | 0.45 | 0.82 |
| | Inhibidor | 0.15 | 0.18 | 0.36 | 0.23 | 0.40 | 0.78 |
| 0.64 | Patrón | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 0.20 | 0.30 |
| | Inhibidor | 0.15 | 0.10 | 0.21 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 0.60 | Patrón | 0.10 | 0.15 | 0.06 | 0.06 | 0.10 | 0.15 |
| | Inhibidor | 0.15 | 0.10 | 0.18 | 0.06 | 0.08 | 0.18 |
| 0.52 | Patrón | 0.15 | 0.06 | 0.15 | 0.19 | 0.18 | 0.20 |
| | Inhibidor | 0.18 | 0.05 | 0.23 | 0.14 | 0.16 | 0.15 |
| 0.48 | Patrón | 0.05 | 0.10 | 0.09 | 0.05 | 0.10 | 0.12 |
| | Inhibidor | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.12 | 0.12 |

bargo son diferencias insignificantes que no podría decirse con propiedad que se deba a la presencia del inhibidor.

Analizando los resultados obtenidos de las velocidades de corrosión las cuales concuerdan en su mayoría con las medidas de potencial, se ven dos aportes importantes: por una parte se evidencia que el inhibidor no hace ningún efecto cuando la mezcla tiene relaciones agua/cemento superiores a 0.64 y para las relaciones agua/cemento igual o inferior a 0.60 el comportamiento electroquímico observado, se diferencian muy poco las mezclas patrón de las que contienen IOC, por lo que se infiere que fundamentalmente la acción inhibidora se debe al alto contenido de cemento en las mezclas. Se plantea entonces la incógnita si el inhibidor actuaría a largo plazo aumentando la vida útil de las armaduras.

Penetración del ion cloruro

El criterio de valoración utilizado es el más recientemente publicado [18] que propone un umbral entre 0.39% - 1.10% de cloruros con relación al peso de cemento, como suficiente para despasivar el acero. Según estos criterios puede observarse en la Tabla 3 que las mezclas de relaciones agua/cemento 0.48, 0.52 y 0.60 presen-

tan valores inferiores a 0.39% lo cual indica que estas mezclas no tienen cloruros suficientes para despasivar el acero de refuerzo y se observa la importancia del contenido de cemento ya que a menor relación de agua/cemento hay menor penetración de los iones cloruros y por otra parte se observa que la presencia del inhibidor no modifica el comportamiento ya que los porcentajes de avances de cloruros son muy parecidos, en las mezclas patrones y con inhibidor. Las mezclas de relaciones agua/cemento de 0.64, 0.70 y 0.80 presentan a los 300 días contenidos de cloruros entre 0.39% y 1.10% excepto la de relación a/c de 0.64 con IOC, puede observarse que a mayor relación de a/c tiene mayor contenido de cloruros, repitiéndose el resultado de las otras mezclas que a mayor contenido de cemento menos penetración de cloruros. En estas mezclas hay una pequeña diferencia en las que contienen el inhibidor, hay menor avance de cloruros, lo cual hace pensar que es por la presencia del inhibidor ya que se repite este resultado en las mezclas de 0.64, 0.70 y 0.80. Podría pensarse en una disminución de la porosidad en la mezcla por efecto de la presencia de las moléculas orgánicas de IOC, sin embargo investigaciones realizadas reportan modificaciones insignificantes [19].

Tabla 3
Porcentaje de cloruros en base al contenido de cemento

| a/c | Mezcla | % de cloruros (3 cm de profundidad) | | |
|------|-----------|-------------------------------------|----------|-------------|
| | | 100 días | 300 días | % de avance |
| 0,80 | Patrón | 0,056 | 1,108 | 1,052 |
| | Inhibidor | 0,117 | 0,840 | 0,723 |
| 0,70 | Patrón | 0,104 | 1,048 | 0,944 |
| | Inhibidor | 0,095 | 0,831 | 0,736 |
| 0,64 | Patrón | 0,072 | 0,436 | 0,364 |
| | Inhibidor | 0,059 | 0,202 | 0,143 |
| 0,60 | Patrón | 0,049 | 0,338 | 0,289 |
| | Inhibidor | 0,052 | 0,341 | 0,289 |
| 0,52 | Patrón | 0,036 | 0,263 | 0,227 |
| | Inhibidor | 0,029 | 0,234 | 0,205 |
| 0,48 | Patrón | 0,058 | 0,185 | 0,125 |
| | Inhibidor | 0,036 | 0,190 | 0,154 |

Mantenimiento correctivo

Medición de potenciales: En la Figura 6 se muestran los potenciales en las vigas reparadas, en el mortero patrón, puede observarse valores de potencial cercanos a -500 mV indicando claramente la despasivación del acero.

Las vigas reparadas con el mortero con IOC añadido presentan potenciales que varían entre -350 mV y -400 mV, mostrando un mejor comportamiento que el mortero patrón, pero no llegando a ser lo suficientemente bueno su comportamiento ya que la probabilidad de corrosión es alta, mayor del 95%, según Norma ASTM C876-87.

Velocidad de corrosión: Las vigas reparadas con mortero Patrón + IOC presentan prácticamente el mismo comportamiento durante todo el periodo de exposición y de acuerdo al criterio de evaluación mencionado, la corrosión en el acero de refuerzo es despreciable, entre 0.1 y $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (Figura 7). En cuanto al mortero patrón éste también mantiene un comportamiento continuo presentando una corrosión entre baja a moderada, esto coincide con lo expresado en los potenciales donde se indica una alta probabilidad de despasivación del acero.

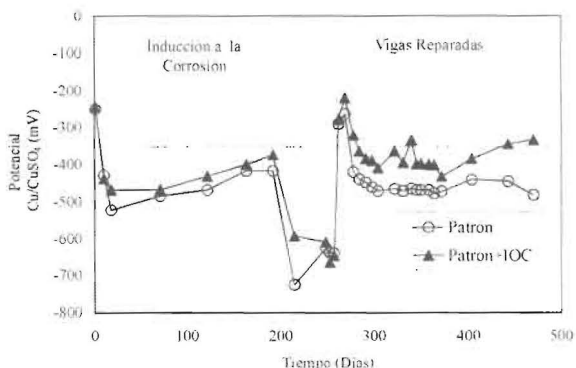


Figura 6. Medición de potenciales.

Penetración del ion cloruro

Siguiendo el criterio de valoración señalado anteriormente tanto el mortero patrón como el que contiene inhibidor presentan valores muy por debajo de 0.39% de cloruros, no siendo suficiente para despasivar el acero, esto no coincide con los resultados electroquímicos donde se observan valores de velocidad de corrosión y potenciales que indican corrosión del acero de las vigas reparadas con el mortero patrón y en menor cuantía con el inhibidor. Esto posiblemente se deba a la formación de celdas localizadas después de la reparación. Se repite el resultado de

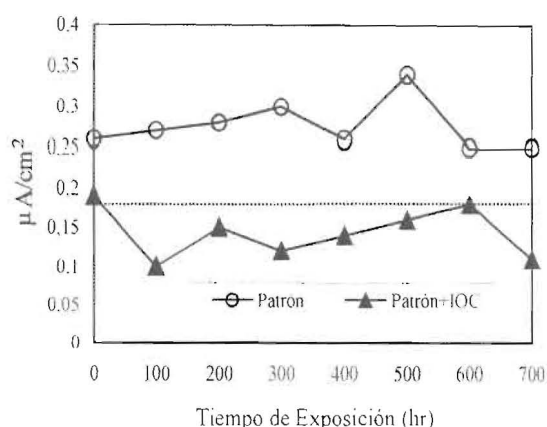


Figura 7. Velocidad de corrosión.

Tabla 4

% de cloruros en base a peso de cemento

| Mortero | Antes de la Exp. | Después de 700 h Exp. | % de Ingreso |
|--------------|------------------|-----------------------|--------------|
| Patrón | 0.070 | 0.259 | 0.189 |
| Patrón + IOC | 0.011 | 0.048 | 0.037 |

las mezclas de concreto anteriormente analizadas en cuanto al ingreso de cloruros siendo un poco menor para la mezcla que contiene IOC, en este caso la relación agua/cemento es de 0.55 (Tabla 4).

Conclusiones

Durante el tiempo de exposición evaluado se demostró que el uso del IOC en el mantenimiento preventivo para las mezclas estudiadas, no ejerce ningún efecto en las mezclas de relación agua/cemento igual o superior a 0.64. Para las mezclas con relaciones agua/cemento igual o inferiores a 0.60 puede pensarse que la acción la ejerce la cantidad de cemento presente, quedando la interrogante de que el inhibidor actúe aumentando el tiempo de vida útil. En los morteros de reparación, se observa mejor comportamiento en el mortero con IOC, que en el patrón.

La presencia del IOC, tanto en los concretos de relaciones agua/cemento de 0.64, 0.70 y 0.80, como en el mortero de reparación, retrasa el avance de la penetración de los iones cloruros a través de la matriz del concreto.

Agradecimiento

Se agradece el apoyo brindado para ejecutar el desarrollo experimental de esta investigación al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico y al Laboratorio de Química de los Materiales de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" y al Centro de Estudios de Corrosión de la Universidad del Zulia.

Referencias Bibliográficas

1. Andrade C.: "Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras". Instituto Eduardo Torroja. España, 1988.
2. González J. y Andrade C.: "La corrosión en estructuras de hormigón armado. Formas de evaluarlas y prevenirlas". Revista Iberoamericana de la Corrosión. Vol XI, Num 3, (1980) 27 - 36.
3. Gaiddis J. y Rosenberg A.: "The inhibition of chloride induced corrosion in reinforced concrete by calcium nitrite". Cement, Concrete and Aggregates, Vol 9, Num 1 (1987) 30-33.
4. Troconis O.: "Uso de los inhibidores para el control de la corrosión del acero de refuerzo del concreto". VIII Reunión Latinoamericana de electroquímica y corrosión. Argentina Oct - Nov, 1998.
5. Berke N., Dellaire M. y Hicks M.: "Effect of Calcium Nitrite on the corrosion fatigue of steel reinforcing in cracked concrete". Corrosión 91, Publicación N° 550, Cincinnati Ohio, EEUU, (1991).
6. Pérez O., Morón O., García O. y Rincón O.: "Evaluación electroquímica del $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ como inhibidor de corrosión del acero del concreto". Memorias del Primer Congreso de corrosión NACE - Región Latinoamericana y Primer Congreso Venezolano de Corrosión, Maracaibo - Venezuela, (1994). Publicación N° 94104
7. Troconis O., Perez O., Longa I. y Ludovic J.: "An evaluation of ZnO and $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ as corrosion inhibitors in reinforced concrete contaminated with chlorides". CORROSION'93, Publicación N° 339, New Orleans, USA, (1993).

8. Ramírez C.: "Corrosión de las armaduras embebidas en hormigón en ambientes de extrema agresividad. Posibilidades de protección mediante inhibidores". Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas. Madrid. España, 1994.
9. Sastri V.: "Corrosion inhibitors. Principles and applications". J. Wiley, England, (1998) 689.
10. Nmai C.: "Organic-Based corrosión inhibiting admixture for reinforced concrete structures in warm climates". *Concrete International*, Vol 14, Num 4 (1992) 45-54
11. Zoltanetzky P.: "New developments in corrosion inhibiting admixture systems for reinforced concrete". *Int. Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete*, ed R Swamy, AC Press Sheffield, Vol 2, Sheffield (1994) 825 - 834.
12. Heren Z.; Oelmez H.: "New organic inhibitor of concrete". *Cement and Concrete Research*, Vol 26 (1996) 701 -708.
13. Helene P.: "Reparos localizados poden ser considerados solucoes eficientes para correcao de problemas de corrosao de armaduras em estruturas de concreto armado". *Memoria II Congreso de patologia de la construcción*, Voll. II, (1993) 80- 89.
14. Alvarez M, Malavé R, Anzola E. " Comparación de la efectividad de cuatro morteros de reparación en elementos estructurales de concreto armado afectado por problemas de corrosión". *Memorias IV Congreso de Patología de la Construcción*. Vol 2, (1997), 33 - 39.
15. Rios S.: "Métodos tradicionales de reparación". *Consideraciones teóricas XIII curso de estudio mayores de la construcción (CEMCO 95)*. Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. Madrid España, 1995.
16. Trocónis O. y Sanchez M.: "Técnicas utilizadas para el monitoreo de corrosión en estructuras de concreto reforzado con acero". I Simposio sobre estructuras de concreto armado, control de la corrosión y rehabilitación. 1992.
17. Locke C. y Rincón O.: "A study of corrosion electrochemistry of steel in chloride contaminated concrete using a rapid scan polarization technique". *Corrosion 87, NACE, Paper N° 128*, San Francisco, 1987.
18. Alonso C., Andrade C., Castellote M. y Castro P.: "Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar". *Cement and Concrete Research*, Vol 30 (2000) 1047 - 1055.
19. Anzola E. "Efectividad de un inhibidor de la corrosión para concreto y morteros de reparación". Trabajo de Grado para optar al Título de Magister en Mantenimiento Industrial. UNEXPO. Barquisimeto - Venezuela, 1996.

Recibido el 14 de Febrero de 2000

En forma revisada el 27 de Julio de 2000