

CONTROL DE DEGRADACIÓN DEL CONCRETO ARMADO EN AMBIENTE MARINO POR APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS AL ACERO DE REFUERZO



Pedro Castro-Borges

PhD, Investigador Titular

CINVESTAV- Unidad Mérida

Km. 6 Antigua Carretera a Progreso / CP. 97310

Mérida / Yucatán – México

pcastro@mda.cinvestav.mx

RESUMEN

El clima tropical marino del Norte de la Península de Yucatán es uno de los más agresivos en México y ésta es la razón por la cual muchas estructuras de concreto son afectadas por corrosión. Para reducir la influencia de la brisa marina en el acero de refuerzo, muchos de los propietarios de edificios y casas utilizan varios tipos de primarios como método de prevención o de reparación para proteger el acero. Estos primarios locales no están fabricados para ser usados en medios alcalinos. Un programa para evaluar si existe realmente un mecanismo de protección de estos primarios fue puesto en marcha y el objetivo de esta publicación es mostrar algunos resultados de su aplicación como método de reparación en columnas de concreto en edificios localizados enfrente del mar. La reparación consistió en remover el concreto viejo, limpiar la barra con un cepillo de alambre, pintar el refuerzo con el primario, de fabricación nacional; posteriormente se aplicó un agente de adherencia y finalmente se colocó el concreto nuevo. El comportamiento electroquímico de la zona reparada y las adyacentes fue medido por técnicas electroquímicas: resistencia a la polarización, potencial de corrosión y resistividad del concreto. Para las mediciones se empleó un corrosímetro comercial. Los resultados mostraron que el sistema barrera fue el mejor bajo las condiciones de prueba seguido por los sistemas de protección catódica e inhibidor. Parece ser que en un mismo tipo de protección, la calidad del primario es el parámetro más relevante. La aplicación de un primario no únicamente disminuyó la velocidad de corrosión de las zonas reparadas sino también el par galvánico que duró poco tiempo.

Palabras clave: Primarios, Reparación localizada, Par galvánico, Acero de refuerzo, Corrosión.

1. INTRODUCCIÓN

Las reparaciones más rápidas y económicas en las costas de México son las de parcheo. Por diferentes razones, el proceso de parcheo implica a un agente de adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo, la aplicación de un primario o un sistema de pintura al acero de refuerzo, el material de reparación, y frecuentemente una capa de pintura en toda la superficie de concreto. Actualmente, muchas de las reparaciones y construcciones de gobierno en las costas de Yucatán, México utilizan primarios en el acero de refuerzo cuando reparan o construyen. Desafortunadamente, el posible mecanismo de protección no está bien comprendido y hay malas interpretaciones que van desde la preparación de la superficie del acero hasta el curado de la reparación.

Varios investigadores han estudiado las principales preocupaciones de la aplicación de primarios o pinturas al acero de refuerzo en el concreto. Ha sido estudiada la pérdida de adherencia (Maldonado et al, 1992), el par galvánico (SCHIESSEL et al, 1994; NAGATAKI et al, 1996; ALONSO et al, 1995), la influencia de las áreas coplanares y yuxtapuestas en el comportamiento de la reparación (ANDRADE et al, 1992), el efecto de la cantidad y la fuente de los cloruros en el proceso de deterioración (CASTRO et al, 2002), las técnicas de medición de la corrosión y de las corrientes galvánicas (CASTRO et al, 2003), la duración del par galvánico (CASTRO et al, 2003), la relación de áreas catódica/anódica para aumentar la corrosión en las zonas adyacentes (ANDRADE et al, 1992), el mecanismo de protección de los primarios y las pinturas (GÓNZALEZ, 1984), su deterioración en puentes (SAGÜES et al, 1990, SAGÜES & POWERS, 1990) etc.

Muchos de los datos reportados en la literatura provienen de pruebas de laboratorio o bajo situaciones controladas en algunos ambientes (pequeños especímenes en ambientes naturales específicos). Sin embargo, aunque no es fácil pero no imposible obtener resultados de estructuras reales, no han sido reportados datos en la literatura que puedan ratificar o no los resultados obtenidos en laboratorio o en situaciones controladas.

El objetivo de este trabajo es discutir el comportamiento electroquímico de una reparación por parcheo empleando primarios sobre el acero de refuerzo de columnas en edificios frente al mar.

2. METODOLOGÍA

Para verificar los resultados obtenidos en especímenes pequeños expuestos a nivel laboratorio y en condiciones de campo controladas; se realizaron varias reparaciones en columnas de edificios expuestos a varias distancias de la playa, y bajo la influencia de la brisa marina y la influencia de los fenómenos meteorológicos. La Figura 1 muestra una foto del estado típico de una columna antes de la reparación y la Figura 2 un esquema de los lugares específicos de un edificio, donde se aplicaron diferentes tipos de primarios al refuerzo en reparaciones localizadas.



Figura 1 Condições típicas de corrosão em colunas antes de ser reparadas.

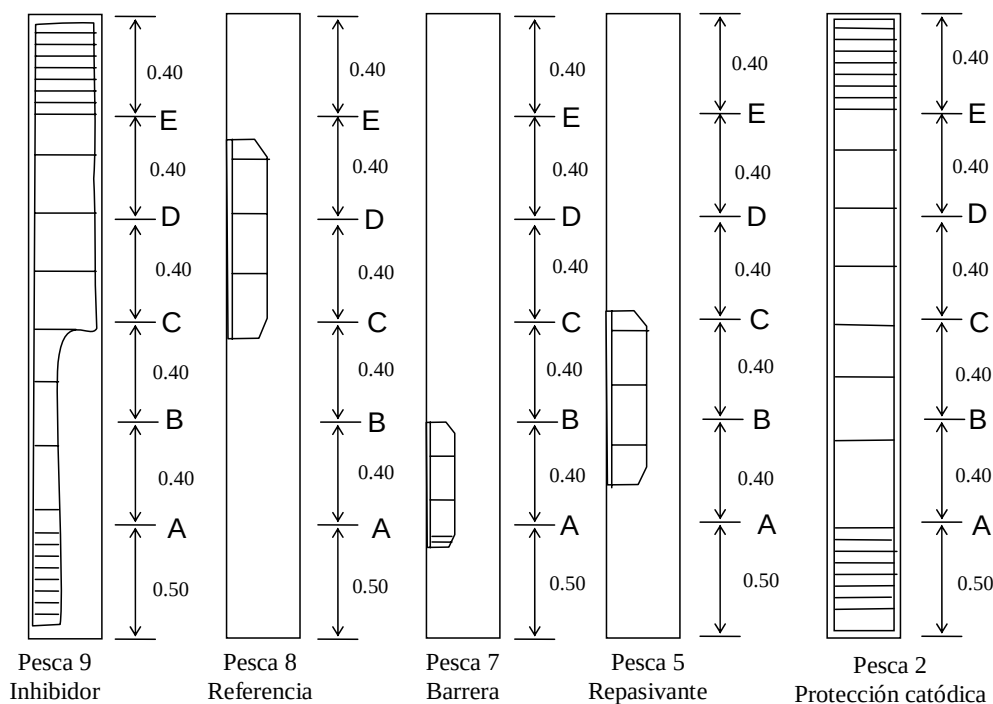


Figura 2 Esquema de danos em um edifício tipo

Se probaron diferentes tipos de primarios en varios edificios. El mecanismo de protección teórico de estos primarios fue: repasivante (lechada de cemento), protección catódica (cromato de zinc), inhibidor (base de plomo) y barrera (epóxico de alquitrán de hulla). Muchos de los resultados reportados previamente en la literatura han mostrado que el sistema barrera se comporta mejor que los otros. Por lo tanto, en este trabajo son analizados principalmente los datos obtenidos en la columna 7 del edificio “pesca” (Figura 3).

La figura 4 muestra la secuencia típica de una reparación que incluyó: a) escarificación, b) limpieza de la barra, c) pintado de la barra (primario), d) curado del pintado de la barra, e) aplicación manual del concreto y pintado del mismo. Las mediciones realizadas fueron: resistencia a la polarización (R_p), potencial de corrosión (E_{corr}) y resistividad superficial del concreto (ρ).

Barra Noreste (NE)

Barra Noroeste (NO)

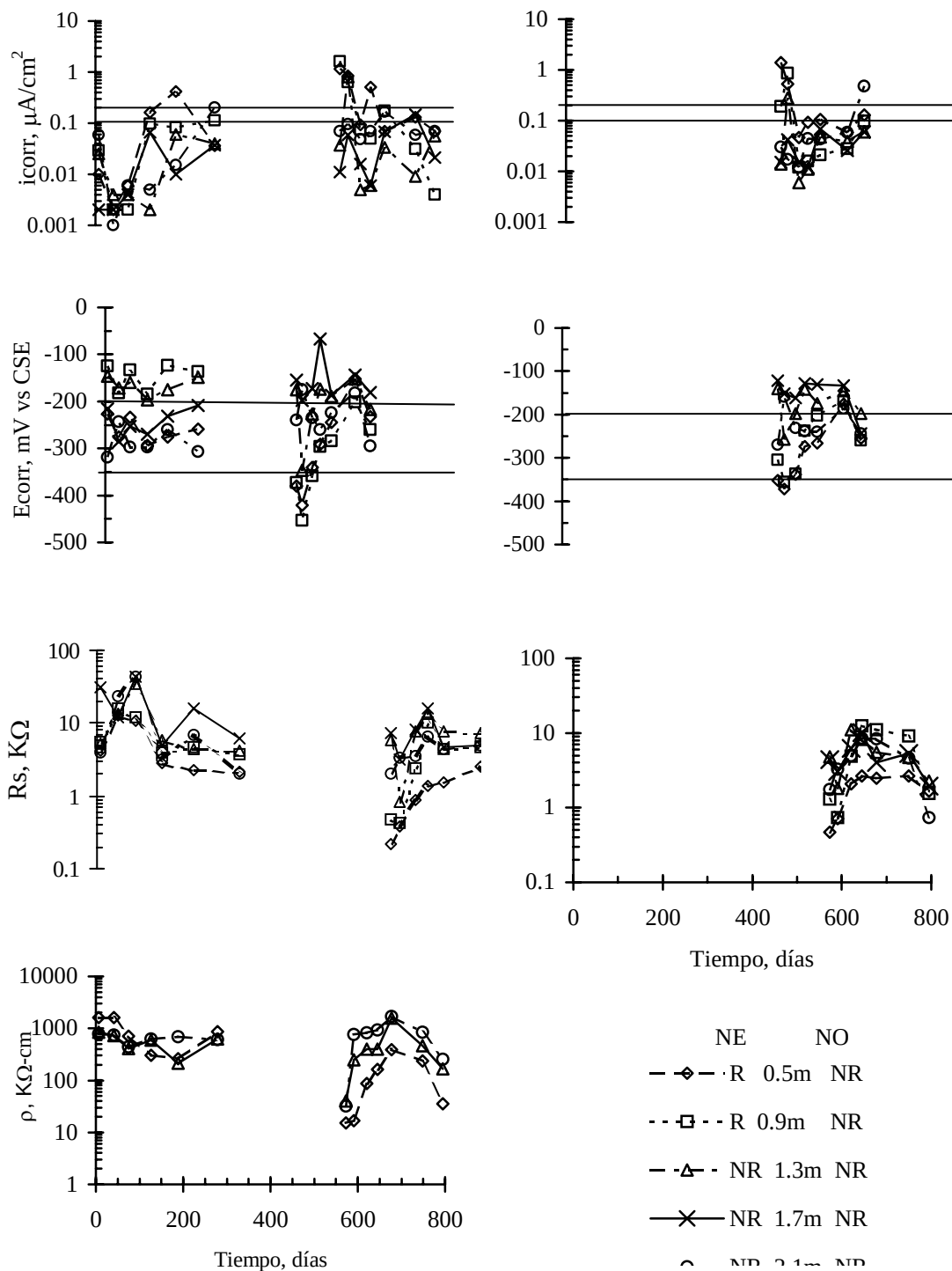


Figura 3 Datos de mediciones en Edificio pesca, column 7, protección tipo barrera..

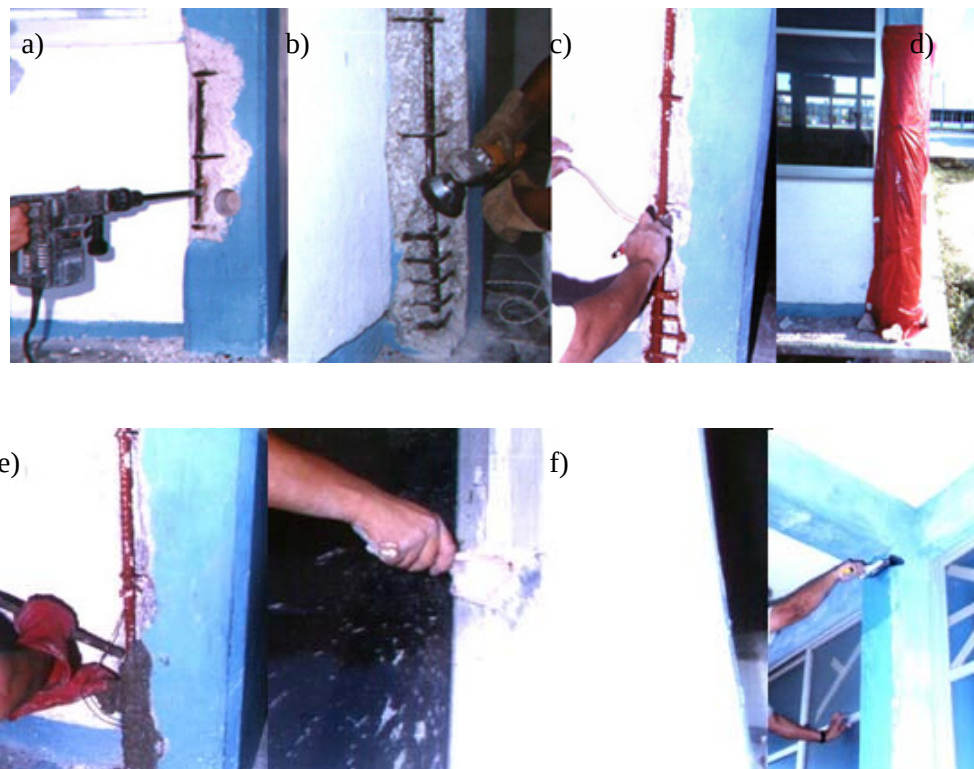


Figura 4 Secuencia típica de una reparación localizada cuando se usan primarios en el refuerzo.

1. LA FIGURA 3 MUESTRA LOS DATOS DE LA COLUMNA 7 DEL EDIFICIO DE PESCA LA CUAL FUE REPARADA CON UN PRIMARIO DE EFECTO BARRERA APLICADO SOBRE EL REFUERZO. EL BARRA DE REFUERZO NORESTE (NE) FUE REPARADA (R) A LAS ALTURAS DE 0.5 Y 0.9 M PERO LA BARRA NOROESTE (NO) NO FUE REPARADA (NR). LOS DATOS DE LA IZQUIERDA SE OBTUVIERON EN EL PERÍODO DE TIEMPO EN EL QUE LA COLUMNA ESTUVO EN SERVICIO ANTES DE TENER UN GRADO DE CORROSIÓN INACEPTABLE (FIGURA 1). LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN NO FUE MEDIDA DURANTE UN AÑO UNA VEZ QUE EL NIVEL DE CORROSIÓN FUE INACEPTABLE (PARTE MEDIA DE LA GRÁFICA EN LA FIGURA 3). DESPUÉS DE REALIZAR LA REPARACIÓN CON LA SECUENCIA DE LA FIGURA 4, SE REINICIARON LAS MEDICIONES Y ÉSTAS SE MUESTRAN EN LA PARTE DERECHA DE LAS GRÁFICAS DE LA FIGURA 3. ESTA NUEVA ETAPA DE MEDICIONES INCLUYÓ AL REFUERZO NO LA CUAL FUE NR CONSIDERANDO QUE ESTUVO EXPUESTA AL MISMO AMBIENTE PRO CON MENOR INTENSIDAD QUE EL REFUERZO NE.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de la reparación hubo una tendencia en los valores que no representaron problemas en términos de corrosión. Esta tendencia permaneció durante el último período de mediciones en ambas barras (NE y NO). No se observó influencia de la barra reparada (NE) sobre la barra no reparada (NO). En forma similar, si los datos de la barra NE son analizados, se observa una diferencia entre las partes reparadas y las no reparadas pero esta dura pocos días después de la reparación. Los valores de

las partes R y NR se mezclaron después de algunos días de la reparación y se mantuvieron en la zona de pasivación de la barra. Basándose en las mediciones de la velocidad de corrosión, se puede decir que no existe un efecto galvánico importante en las zonas reparadas y las zonas no reparadas de la barra NE y la barra NO. El incremento de la velocidad de corrosión al final del período de las mediciones en la barra NO está más relacionado con la activación de las micro-celdas (fuerte contaminación por cloruros) que por el efecto de la reparación. Gráficas similares a la Figura 3 fueron construidas para cada columna y sistema de primario del edificio de pesca y de los otros edificios, pero estos no son mostrados aquí. Sin embargo, sus resultados fueron incluidos en la Tabla 1 los cuales se discuten a continuación.

Una forma de extraer información importante fue la obtención del área bajo la curva de las mediciones de las velocidades de corrosión a una altura de 0.9 m de altura en todas las columnas reparadas de todos los edificios probados. La altura de 0.9 m fue elegida por que muchas de las columnas fueron reparadas a ésta altura. El área bajo la curva sirvió para obtener la velocidad de corrosión media (i_{corr} media). Esta i_{corr} media representa el valor promedio al cual la zona medida permaneció durante cada día de todo el período de mediciones (ALONSO et al, 2000). Por lo tanto, este es un indicador de la efectividad de la reparación de acuerdo al sistema de primario usado. La Tabla 1 muestra esta información. Los primarios que se comportaron mejor que la referencia pueden ser usados con buenos resultados. Los primarios que se comportaron peor que la referencia deben ser evitados bajo cualquier circunstancia. Es necesario tener en cuenta, que cuando se tienen primarios del mismo tipo de protección pero de diferentes fabricantes se obtienen diferentes comportamientos entre ellos. Las nomenclaturas de cada uno de los primarios se indican en la Tabla 1.

Tabla 1- Velocidad de corrosión media (med i_{corr}) de las columnas reparadas a una altura de 0.9 m

Columna	Tipo de protección	Área bajo la curva ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Tiempo (días)	i_{corr} media ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)/día
Cetmar 8	Barrera ^{1*}	11.43	172	0.066
Cetmar 1	Protección catódica ^{1*}	29.60	441	0.067
Cetmar 6	Inhibidor ^{1*}	12.65	172	0.074
Cafetería 5	Protección catódica ^{2*}	13.94	176	0.079
Pesca 2	Protección catódica ^{3*}	39.59	389	0.102
Pesca 7	Barrera ^{2*}	23.97	204	0.118
Cafetería 1	Barrera ^{3*}	24.52	176	0.139
Cafetería 2	Inhibidor ^{2*}	39.66	176	0.225
Cafetería 7	Referencia	43.07	176	0.245
Pesca 9	Inhibidor ^{1**}	60.86	205	0.297
Cafetería 13	Repasivante	141.48	456	0.310
Pesca 5	Repasivante	70.95	204	0.348

*El número indica diferente fabricante

**Diferente producto, mismo fabricante.

Considerando como límite $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ para la despasivación de la reparación (GONZÁLEZ et al, 1980), el sistema barrera resultó ser el mejor, seguido cercanamente por los sistemas de protección catódica e inhibidor. Es importante notar que la calidad del primario muestra ser el mejor indicador que el tipo de protección que provee. Esta es la razón por lo cual algunos sistemas de diferente fabricante que ofrecieron una protección tipo barrera no tuvieron los resultados que se esperaban. Los sistemas de referencia y repasivante no respondieron en ninguna circunstancia. Estos resultados ratifican trabajos previos (CASTRO et al. 2002, CASTRO et al, 2003)

4. CONCLUSIONES

La conclusión principal que se obtuvo en ésta investigación fue que los sistemas de protección catódica e inhibidor trabajan adecuadamente en condiciones de campo al igual que el sistema barrera. También se encontró que para un mismo tipo de protección, la calidad del primario es el parámetro más relevante. Otra conclusión importante es que la aplicación de primarios no únicamente disminuye la velocidad de corrosión en las zonas reparada, sino que además el par galvánico que se produce dura poco tiempo y no afecta significativamente las zonas no reparadas de las barras NE y NO. El incremento de la velocidad de corrosión de la barra NO al final del período de las mediciones está más relacionada con la activación de las micro-celdas (fuerte contaminación por cloruros) que por el efecto de la reparación. Estos resultados ratifican resultados de trabajos previos.

5. RECOMENDACIONES

Una de las principales ventajas de ratificar el comportamiento en condiciones reales de campo de una reparación localizada usando primarios es que muestra ser una opción técnica y económicamente confiable bajo las circunstancias que se presentaron aquí, un concreto de mala calidad con un daño evidente por corrosión. En términos prácticos, el uso de primarios en el acero de refuerzo en reparaciones de elementos construidos con un concreto de mala calidad está justificado si se usan procedimientos y aplicación correctos. Si los elementos estructurales dañados son de un concreto de buena calidad, el uso de primarios no es necesario.

Es claro que cualquier de los primarios probados trabajan mejor que la referencia o la lechada de cemento sobre la barra. Sin embargo, es claro también que el primario aplicado debe de ser de buena calidad por que algunas marcas no ofrecen una buena protección aún teniendo teóricamente el mismo tipo de protección. También es importante distinguir entre la variedad de productos que un mismo fabricante ofrece y que proporcionan en teoría protecciones similares.

Otra recomendación es verificar la forma de aplicación de los primarios la cual podría tener muchos errores: la preparación de la superficie del acero y del concreto ó la aplicación de un agente de adherencia inadecuado. Por último se recomienda evitar la falta de control durante la colocación del concreto o el ajuste del acero que pudieran ocasionar un daño en el primario con sus respectivas consecuencias.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de J. M. Ordaz y M. Balancán durante las reparaciones y el manejo de los datos. Al CINVESTAV Mérida y al CONACYT (Proyecto 31350 U) por el apoyo parcial de esta investigación. Los puntos de vistas expresados aquí son del autor y no necesariamente de las organizaciones que lo patrocinan.

REFERENCIAS

ALONSO, C, ANDRADE, C, CASTELLOTE, M AND CASTRO, P, Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar, in Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 7, 2000, pp. 1047-1055.

ALONSO, C, ANDRADE, C, FARINA, J, LÓPEZ, F, MERINO, P AND NOVOA, X R, Galvanic corrosion of steel in concrete, Materials Science Forum, Vol. 194, 1995, pp. 899-906.

ANDRADE, C, MARIBONA, I R, FELIÚ, S, GONZÁLEZ, J A AND FELIÚ S JR, The effect of macrocells between active and passive areas of steel reinforcements, Corrosion Science, Vol. 33, 1992, pp. 237-249.

CASTRO, P, PAZINI, E, ANDRADE, C AND ALONSO, C, The macrocell activity in slightly chloride contaminated concrete induced by reinforcement primers, Corrosion NACE, Vol 59, No. 6, 2003, pp. 535-546.

CASTRO, P, QUINTAL, M A AND CHAN, J H, Primers to the reinforcement in mortars, as used in localized repairs, effectiveness in two exposure conditions, III International Conference on High Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures, Recife, Pernambuco, Brazil, Oct.1-4, 2002, paper T144.

GONZÁLEZ, J A, Theory and practice of the fight against corrosion (in Spanish), Cap. XV Coatings as anticorrosive protection (in Spanish), by M. Morcillo, CSIC, Madrid, Spain, 1984, pp. 423-427.

GONZÁLEZ, J A, ALGABA, S AND ANDRADE, C, Corrosion of reinforcing bars in carbonated concrete, British Corrosion Journal, Vol. 15, No 3, 1980, pp. 135-139.

MALDONADO, L A, CASTRO P, MARRUFO, J H, GONZÁLEZ, J W AND ZAPATA, A, "Bond Loss Between Epoxy and Alkyd Coated Reinforcement Rebars and Concrete". Corrosion Forms and Control for Infrastructure, ASTM STP 1137, Víctor Chaker, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992, pp. 372-385.

NAGATAKI, S, OTSUKI, N, MORIWAKE, A, MIYAZATO, S AND SHIBATA, T, Macro-cell corrosion on embedded bars in concrete members with joints, in Conference on durability of building materials and components, Stockholm, Sweeden, 1996, pp. 411-420.

SAGÜÉS, A AND POWERS, R G, Effect of concrete environment on the corrosion performance of epoxy-coated reinforcing steel, CORROSION 90, Annual Conference NACE, Las Vegas, 1990.

SAGÜÉS, A, POWERS, R AND ZAYED, A, Marine environment corrosion of epoxy-coated reinforcing steel, eds C. Page, K. Treadway, P. Bamforth in Corrosion of reinforcement in concrete, 1990.

SCHIESSEL, P, BREIT, W, AND RAUPACH, M, Durability of local repairs on concrete structures damaged by reinforcement corrosion, in ACI SP-145 on Durability of Concrete, Nice, France, 1994, pp. 1195-1215.