



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

EFFECTO GALVÁNICO DE UNA REPARACIÓN LOCALIZADA EMPLEANDO CONCRETOS MODIFICADOS CON CBCA

**E.E. Maldonado-Bandala^{1*}, P.A. Pucheta¹, D. Nieves¹, M. Baltazar-Zamora¹, F.
Almeraya², C.P. Barrios Durstewitz³, R.E. Núñez Jaquez³**

¹ Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ingeniería Civil-Xalapa, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n Zona Universitaria, 91090, Xalapa, Veracruz, México

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Chihuahua, Chihuahua, México

³ Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa. Fuente de Poseidón y Prol. Ángel Flores s/n, Ciudad Universitaria 81223, Los Mochis, Sinaloa, México

RESUMEN

Una de las preocupaciones principales al realizar una reparación localizada es el posible efecto galvánico que conlleva a una supuesta degradación acelerada de la zona adyacente. En este trabajo se discute el efecto galvánico derivado de la reparación localizada, donde se realizó una sustitución por concreto modificado con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en diversos porcentajes y el reemplazo selectivo del acero dañado a causa de la corrosión. Se demuestra que el efecto galvánico es un proceso significativo a edades tempranas y en función de las relaciones de áreas anódica/catódica, ambiente de exposición, tiempo de exposición, calidad y tipo de materiales. Se determinaron de manera periódica las velocidades de corrosión de las barras de acero embebidas en los elementos reparados con concretos modificados con CBCA en vigas expuestas a ciclos de humectación y secado en una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 3.5% durante un periodo de 135 días.

Palabras Clave: Reparación localizada, ceniza de bagazo de caña de azúcar, corrosión, concreto, velocidad de corrosión.

INTRODUCCION

Las puzolanas son materiales alternativos o suplementarios que se han empleado como método de prevención y/o reparación en las costas del estado de Veracruz, pero a pesar de los reglamentos y normativa vigente en el país, aún no se contempla el correcto uso de estos materiales, ya que siguen siendo escasos los estudios que permitan conocer bajo que condiciones puede ser recomendado su empleo.

Algunos de los materiales puzolánicos más empleados en el concreto son derivados de procesos industriales como el fly ash y el humo de sílice [6]. Sin embargo también existen otras puzolanas que se han empleado aunque a menor escala, como las puzolanas naturales, metacaolin y cenizas agroindustriales como la cascarilla de arroz y las cenizas del bagazo de caña de azúcar [1-3].

En la literatura se han detectado varios trabajos en los que se estudian las ventajas y limitaciones de su uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como puzolana [4-7]. Sin embargo, aunque hay estudios llevados a cabo desde el punto de vista mecánico, existen situaciones, aún no estudiadas, tales como el efecto electroquímico, que da lugar a realizar una reparación, en la cual se sustituyen secciones de elementos de concreto por concretos modificados con puzolanas de CBCA y, también puentes de adherencia. El objetivo de este trabajo es determinar en vigas de concreto, bajo condiciones de laboratorio, en qué medida algunas propiedades electroquímicas como el potencial de corrosión y la velocidad de corrosión, se ven afectadas cuando, al reparar, se sustituye una sección del espécimen y emplear CBCA en el 10 y el 15% y el uso de un puente de adherencia.

EXPERIMENTACIÓN

Elaboración de probetas

Se fabricaron siete probetas de concreto de $15 \times 15 \times 60$ cm., reforzadas con una armadura electrosoldada de acero 1018 y un recubrimiento de 2.5 cm. Como se muestra en la Figura 1. La armadura electrosoldada fue limpiada, pesada y medida. Se dejó una preparación en la probeta donde sobresalía una barra de acero para facilitar las conexiones eléctricas. Se diseñó un concreto de acuerdo al ACI 211.1, donde la relación a/c del concreto fue de 0.65 para fabricar un concreto poroso y permitir así la pronta degradación de la armadura de acero a causa del proceso de corrosión.

Después del periodo de pre-corrosión (que se describe mas adelante), se realizaron tres tipos reparaciones localizadas colocando concreto en buenas condiciones modificado con el 10 y 15% de CBCA de acuerdo a estudios realizados con anterioridad sobre el comportamiento de

esta puzolana [8], el puente de adherencia empleado fue del tipo epóxico libre de solventes (AAFR) indicado para unir concreto nuevo con viejo.

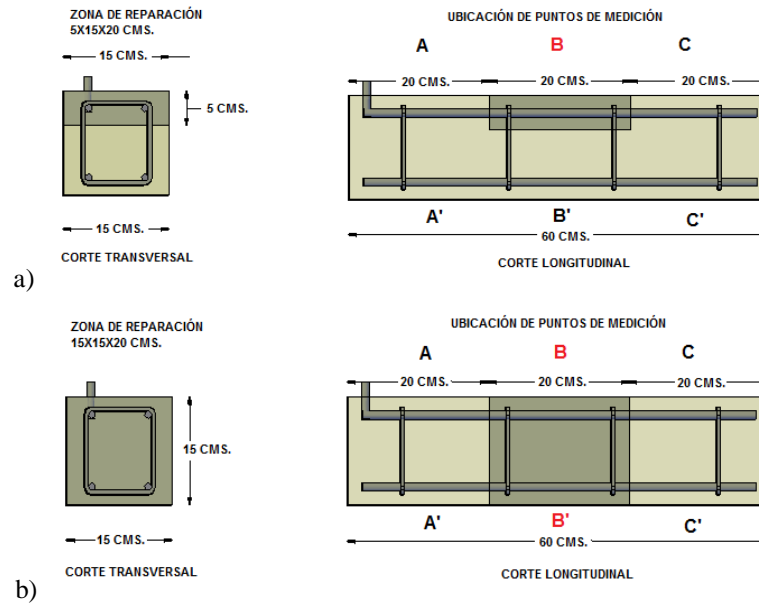


Figura 1. Esquema de las probetas de ensaye a) Reparación localizada en el tercio medio de una sola cara (Tipo 1). b) Reparación localizada en el tercio medio en las cuatro caras (Tipo 2).

Condiciones experimentales

Las probetas se curaron en inmersión total en agua potable a una temperatura de 23 ± 2 °C. Las probetas se sometieron a ciclos de humectación y secado (48×48 hrs) para acelerar el proceso de corrosión y realizar las reparaciones. Los periodos de humectación se realizaron en inmersión parcial (30cm) en una solución de NaCl al 3.5%, y el secado se realizó a una temperatura controlada de 40°C simulando la temperatura media de las costas de Veracruz. Cuando el acero presentó valores elevados de corrosión de acuerdo a la red Durar ($0.5-1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) se detuvieron los ciclos de humectación y secado para proceder a la reparación en las partes indicadas en la Figura 1, empleando concretos de relación a/c de 0.45 y modificados con CBCA en diferentes porcentajes y la sustitución selectiva de acero de refuerzo por acero nuevo 1018 limpio y decapado, en todas las probetas se empleó un puente de adherencia entre concreto nuevo y viejo del tipo epóxico libre de solventes. La reparación se realizó en base a la Tabla 1. Después de la realización de las reparaciones se sometieron nuevamente a las condiciones de humectación y secado durante un periodo total de 135 días.

Tabla 1. Clasificación de especímenes de acuerdo a su tipo de técnica y nomenclatura de reparación.

| TIPO | MÉTODO DE REPARACIÓN | OBSERVACIÓN |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | A1AAFR3 | Puente de adherencia |
| 2 | A2AAFR3 | Puente de adherencia |
| 1 | A1CBCA10 | Concreto modificado con CBCA al 10% |
| 2 | A2CBCA10 | Concreto modificado con CBCA al 10% |
| 1 | A1CBCA15 | Concreto modificado con CBCA al 15% |
| 2 | A2CBCA15 | Concreto modificado con CBCA al 15% |
| SIN REPARACIÓN | CONTROL | Concreto convencional |

Técnicas electroquímicas

El comportamiento electroquímico fue evaluado empleando las siguientes técnicas: (a) Potencial de corrosión (E_{corr}). Los valores de E_{corr} fueron usados para definir la probabilidad de corrosión. De acuerdo a la norma ASTM C876-99, para $E_{corr} < -0.35$ V vs. Cu/CuSO₄ alta probabilidad de corrosión (~90%), para -0.35 V $< E_{corr} < -0.20$ V vs. Cu/CuSO₄ incertidumbre de corrosión, y para $E_{corr} > -0.20$ V vs. Cu/CuSO₄ 10% de probabilidad de corrosión (ASTM C-876-99). (b) Resistencia a la polatización lineal (R_p) ($R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I}$) de acuerdo a la ecuación de Stern-

Geary [9] $i_{corr} = \frac{B}{R_p}$, aplicando $\Delta E \pm 20$ mV con una velocidad de barrido de $.16$ mV s⁻¹; la

constante B fue de 26 mV. Los niveles de corrosión fueron definidos de acuerdo a las especificaciones de la Red Durar [10]. para $i_{corr} < 0.1$ μ A cm⁻² pasividad, para 0.1 μ A cm⁻² $< i_{corr} < 0.5$ μ A cm⁻² corrosión moderada, para 0.5 μ A cm⁻² $< i_{corr} < 1.0$ μ A cm⁻² corrosión elevada, y para $i_{corr} > 1.0$ μ A cm⁻² corrosión muy elevada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 2 y 3 se presentan los resultados de E_{corr} , para las reparaciones Tipo 1 y 2 respectivamente. Se puede notar en la Figura 2, que después de realizar la reparación localizada Tipo 1 (reparación a un tercio medio una sola cara), los tres métodos (A1AAFR3, A1CBCA10 y A1CBCA15), presentan valores de potencial, entre -250mV y -400 mV, hasta los 50 días, pero desde los 70 días los valores decrecen hasta ubicarse en 10% de probabilidad de corrosión e incertidumbre, muy semejantes a la probeta sin reparación (Control). Para la reparación localizada Tipo 2, (reparación a un tercio medio en las cuatro caras), después de que se realizó la intervención de mantenimiento, los valores del método A2AAFR3 (puente de adherencia) se

comportaron de manera más negativa que los demás métodos. En general el comportamiento es muy similar entre lo representativo de ambas figuras.

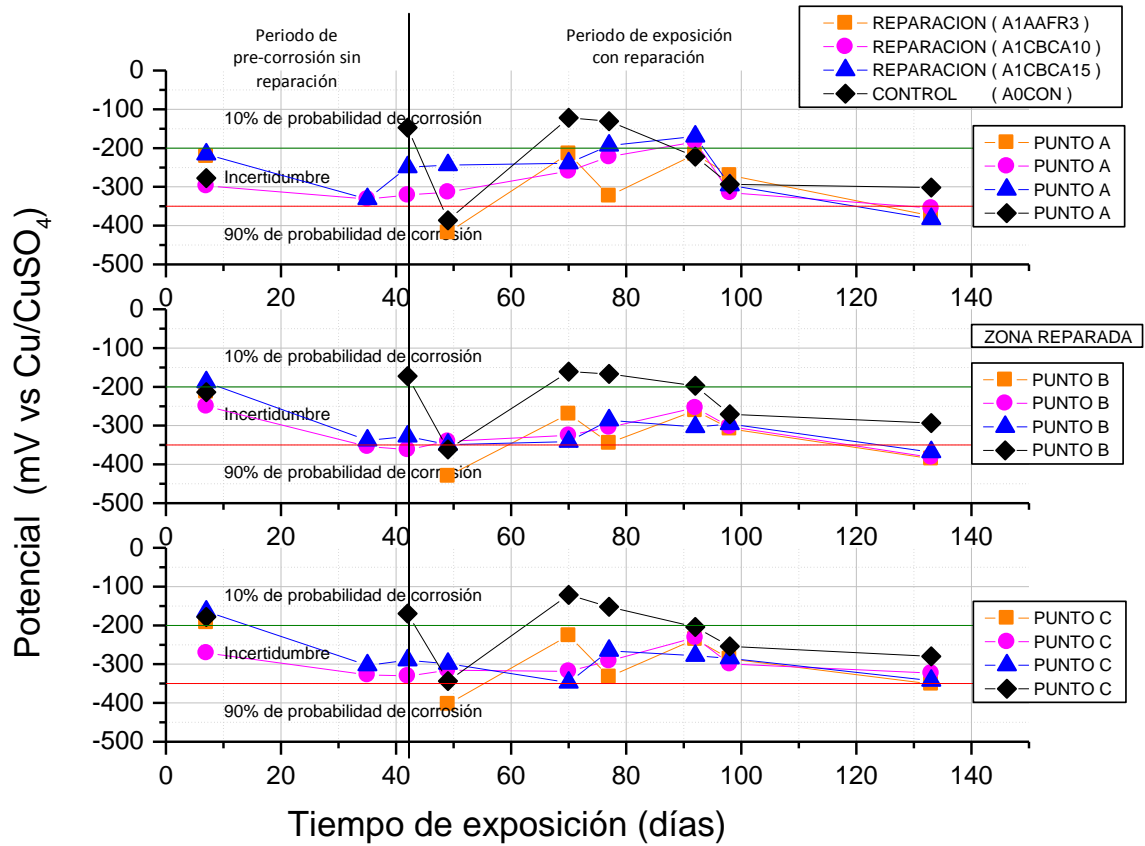


Figura 2. Gráfica de potenciales de corrosión (E_{corr}) vs tiempo de exposición, para la reparación Tipo 1

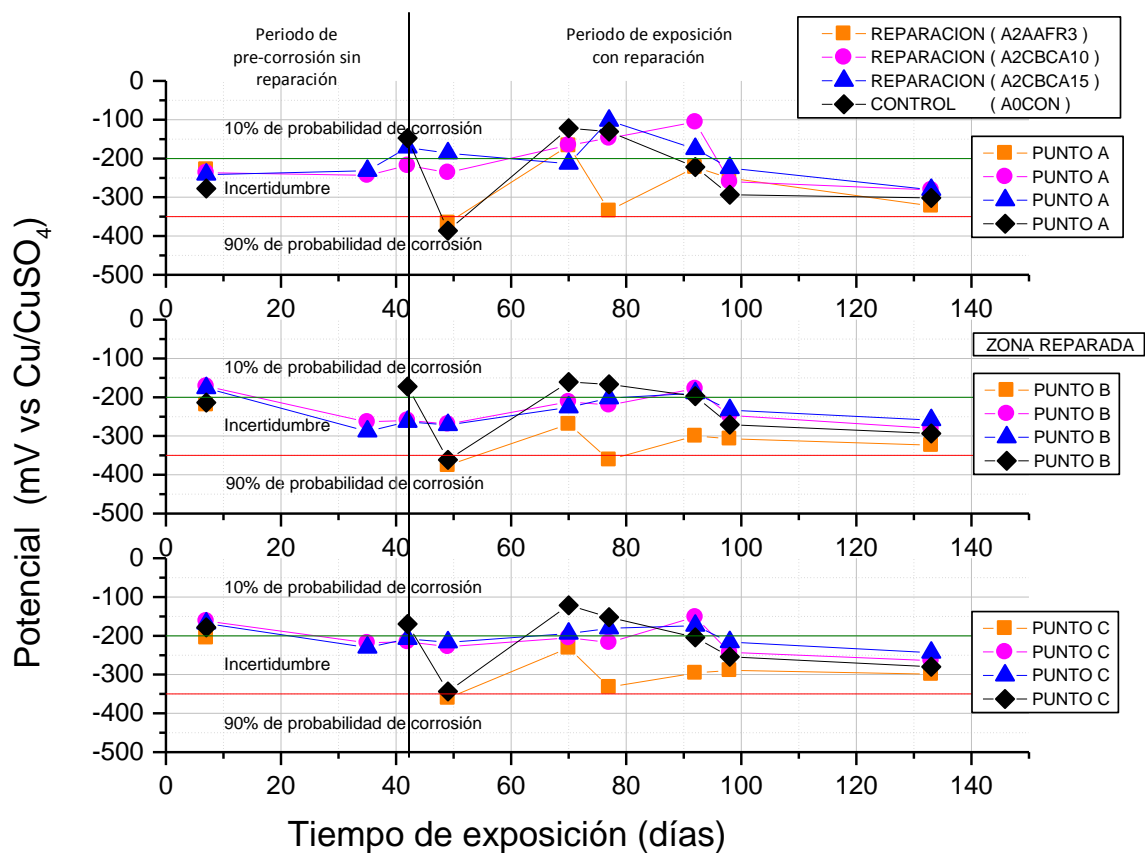


Figura 3. Gráfica de potenciales de corrosión (E_{corr}) vs tiempo de exposición, para la reparación Tipo 2

Por su parte, las Figura 4 y 5 muestra, para las tres zonas de medición, los resultados de la velocidad de corrosión, de las probetas con reparación Tipo 1 y Tipo 2 respectivamente. En general, pareciera que el comportamiento es muy similar en ambas figuras sin importar el método de reparación. Pero el hecho de que la muestra control siempre permanezca en valores moderados de corrosión en todos los puntos de medición, se puede deber a que después de la intervención realizada se haya producido un posible par galvanizo entre los puntos A-C y B (zona reparada). Se puede notar también en ambas figuras que después de realizar la intervención de las reparaciones Tipo 1 y 2 realizada con los métodos A1CBCA15 y A2CBCA15, siempre presentaron velocidades de corrosión mayores a $0.5 \mu A/cm^2$ hasta $1.5 \mu A/cm^2$. También es notorio que la reparación realizada con el puente de adherencia tiene un mejor comportamiento frente al posible par galvanizo, pues después de los 42 días (periodo de intervención), llega a estabilizarse en densidades de corrosión moderadas, menores a $0.5 \mu A/cm^2$.

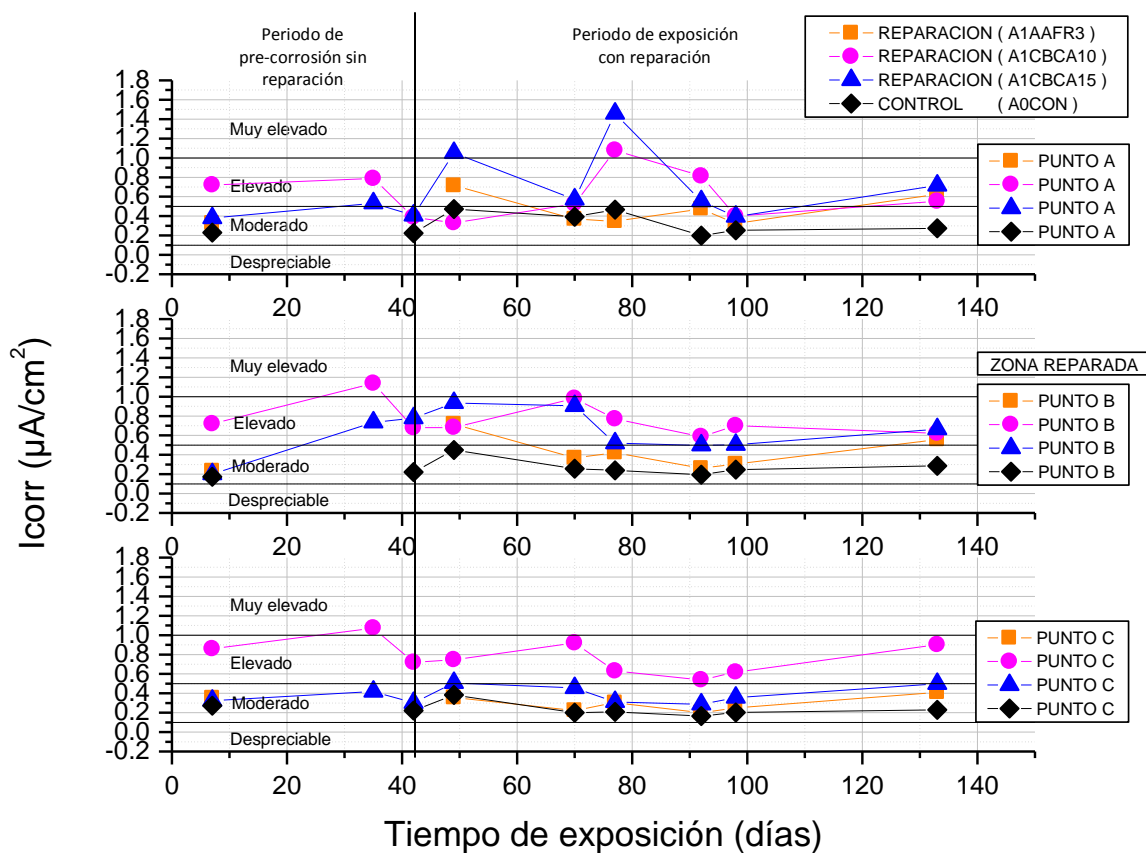


Figura 4. Gráfica de velocidad de corrosión (i_{corr}) vs tiempo de exposición, para la reparación Tipo 2

Los métodos de reparación con concretos modificados con CBCA, no presentan un buen comportamiento ante el posible efecto galvanizo, pues se produce un incremento en la velocidad de corrosión. El efecto galvanizo producido por una reparación ha sido estudiado bajo diferentes materiales y condiciones de exposición [11], pero en pocas ocasiones se han realizado estudios con probetas bajo en ciclos de humectación y secado, acelerando el proceso. Cuando se utilizó el puente de adherencia se presentó el efecto galvanizo aunque con valores más pequeños que con los demás métodos. En la Figura 4 se puede observar que este efecto galvanico crece entre mayor es el tiempo de exposición. Sin embargo, el al Figura 5 para la reparación Tipo 2, se observa un decremento de este efecto, lo cual hace suponer que en un periodo corto de exposición agresiva de humectación y secado tendrá a desaparecer. Para poder ratificar estas afirmaciones sería necesario continuar con el estudio durante un periodo más prolongado y definir si este comportamiento se mantiene.

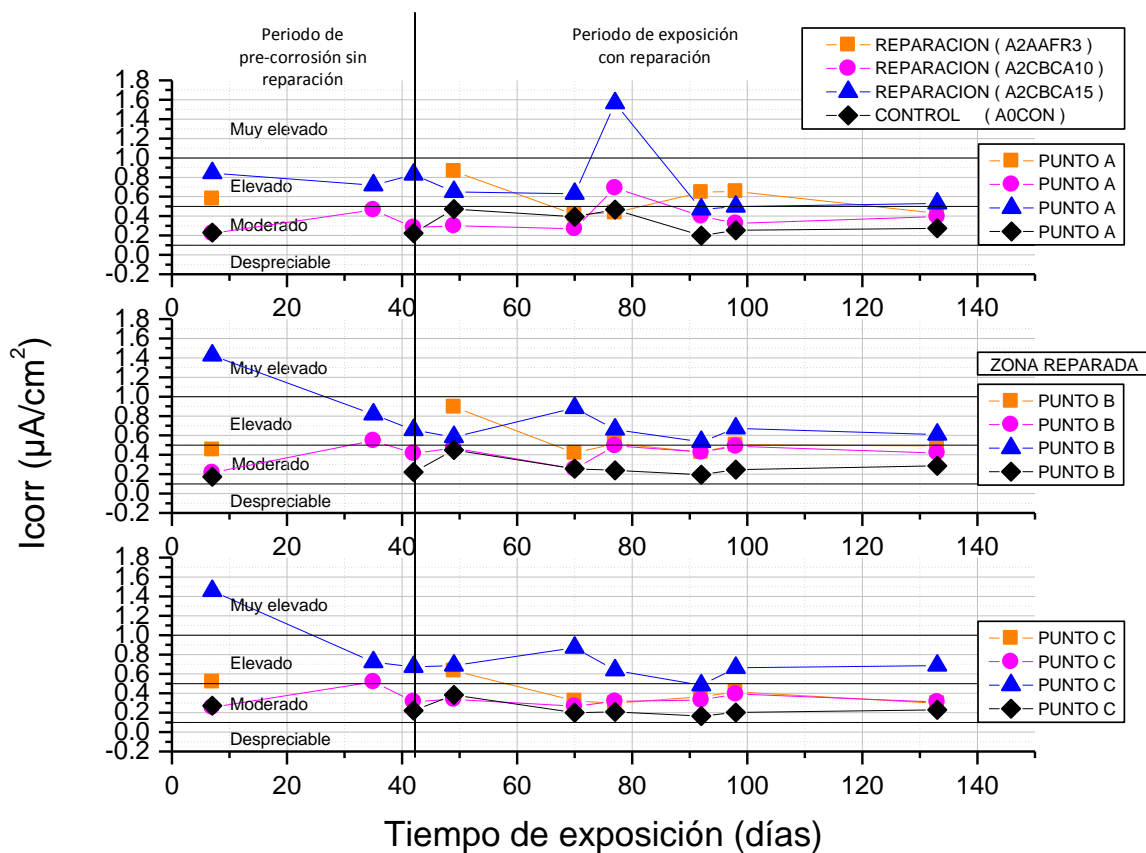


Figura 5. Gráfica de velocidad de corrosión (i_{corr}) vs tiempo de exposición, para la reparación Tipo 2

CONCLUSIONES

Después de la reparación (42 días) la i_{corr} existe una tendencia general de incrementar la en todos los puntos de medición A,B y C. Durante el tiempo de exposición, el efecto galvanizo se presenta después de realizar la intervención de reparación en todos los casos. Entre mayor sea el área reparada este efecto tiende a desaparecer, pero si el área reparada es muy pequeña, el efecto galvanizo se incrementa. El puente de adherencia presentó un efecto galvánico menor en los dos casos de estudio. El empleo de la puzolana agroindustrial de CBCA no favoreció en la disminución de la i_{corr} en ningún caso de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores externan su gratitud al PROMEP por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de esta investigación a través del proyecto de Incorporación de Nuevos PTC PROMEP/103.5/10/5006.

REFERENCIAS

1. M.R. Fairbairn, B.B. Americano, G.C. Cordeiro, T.P. Paula, R.D. Toledo Filho, M.M. Silvano. *J. Environ Manage.* **91** (2010) 1864 – 1871
2. P. Chindaprasirt, S. Rukzon, *Constr. Build. Mater.* **22** (2007) 1601–1606.
3. R. Jauberthine, F. Rendell, S. Tamba, I. Cisse, *Constr. Build. Mater.* **14** (2000) 419-423.
4. F. Martirena, B. Middeendorf, M. Gehrke, H. Budelmann, *Cem. Concr. Res.*, **28**, 11 (1998) 1525–1536.
5. E. Villar–Cociña, E. Valencia–Morales, R. González–Rodríguez, J. Hernández–Ruíz, *Cem. Concr. Res.* **33** (2003) 517–524.
6. M. Frías, E. Villar–Cociña, M.I. Sánchez de Rojas, E. Valencia–Morales *Cem. Concr. Res.* **35** (2005) 2137–2142.
7. F. Martirena, B. Middendorf, R. Day, M. Gehrke, P. Roque, L. Martínez, S. Betancourt, *Cem. Concr. Res.*, **36** (2006): pp. 1056–106.
8. E.E. Maldonado-Bandala, M.A. Baltazar-Zamora, D. Nieves-Mendoza, S.M. Marquez Montero, M. Galicia, B.B. Cruz-Morales, H.E. Hernández-Martínez, G. Fox, *Memorias en extenso del XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica*, p. 388, Zacatecas, Zac, Mex, (2010).
9. M. Stern, A.L. Geary, *J. Electrochem. Soc.* **104** (1957) 56-63.
10. Red DURAR, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, *CYTED Program, Rio de Janeiro*, (1997)
11. P.R. Helene, P.J.M. Monteiro, *Corrosion and corrosion protection of steel in concrete* pp. 1525-1538 Vol 2. Sheffield. UK. (1997)