



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



**DESMITIFICANDO EL EFECTO NOCIVO DE UNA REPARACIÓN LOCALIZADA  
EN LAS ZONAS ADYACENTES DEL CONCRETO REFORZADO.  
EL VALOR DE LA PREVENCIÓN**

**P. Castro-Borges<sup>1</sup>**

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida, Km 6 Antigua Carretera a Progreso, 97310, Mérida, Yucatán, 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 el ambiente tropical marino de la Península de Yucatán y en diversas circunstancias tanto en campo como en laboratorio se ha venido demostrando que el efecto galvánico de las reparaciones en las zonas adyacentes efectivamente existe pero desaparece con el tiempo. Esto ha permitido deducir que el deterioro de las partes adyacentes ha sido más que nada consecuencia de su exposición al ambiente agresivo más que un efecto de las reparaciones que haya sufrido. En este trabajo se desmitifica al efecto galvánico demostrando que su presencia es poco significativa a largo plazo en reparaciones localizadas y en función de las relaciones de áreas anódica/catódica, ambiente de exposición, tiempo de exposición, calidad y tipo de materiales. Se discuten datos de experimentos de campo y laboratorio tanto en pequeñas vigas y columnas como en construcciones reales y utilizando reparaciones localizadas con primarios al refuerzo y sustitución selectiva de acero de refuerzo por acero inoxidable.

**Palabras clave:** efecto galvánico, corrosión, concreto reforzado, reparación localizada

**ABSTRACT**

One of the main concerns when performing a localized repair is the galvanic effect associated with an accelerated degradation of the non repaired zones. The literature has produced materials in this regard. However, most of the reported studies are of very particular nature and with short periods of tests. Several works performed in the tropical marine environment of the Yucatán Peninsula and under different circumstances have showed that galvanic couple exists but last a few time. This has allowed deducing that deterioration of the adjacent parts is a consequence of the environment instead of the galvanic couple produced by the repairs. This work demystifies the nocive galvanic effect under several circumstances, materials, environments and anodic/cathodic areas. The analysis includes data from experiments in lab and field as well as in small specimens or real constructions. Materials tested included primers to the reinforcement and stainless steel.

**Keywords:** galvanic effect, corrosion, reinforced concrete, localized repair



## INTRODUCCIÓN

Durante varios años se ha discutido el efecto galvánico que ocasiona una reparación (R) sobre la parte adyacente<sup>1, 2, 3</sup>. Desde hace varios años se venía diciendo que la zona no reparada (NR) se vuelve anódica<sup>4</sup> aunque recientemente se ha demostrado que, dependiendo de las circunstancias y relaciones de áreas anódica/catódica (a/c), el par galvánico tiene una duración limitada tanto en la zona NR como entre las interfases entre ambas<sup>5</sup>. Se ha demostrado que el efecto galvánico puede controlarse con la relación de áreas y que su mayor efecto es durante el curado de la reparación<sup>6</sup>. Aunque esta situación ha sido reportada consistentemente, lo cierto es que es necesario abundar en ella y terminar de desmitificar el efecto nocivo del par galvánico en una reparación localizada. El objetivo de este trabajo es describir, de trabajos previos del autor, algunas de las variables, condiciones y materiales que ayudan a desmitificar el efecto galvánico nocivo de una reparación localizada al concreto reforzado.

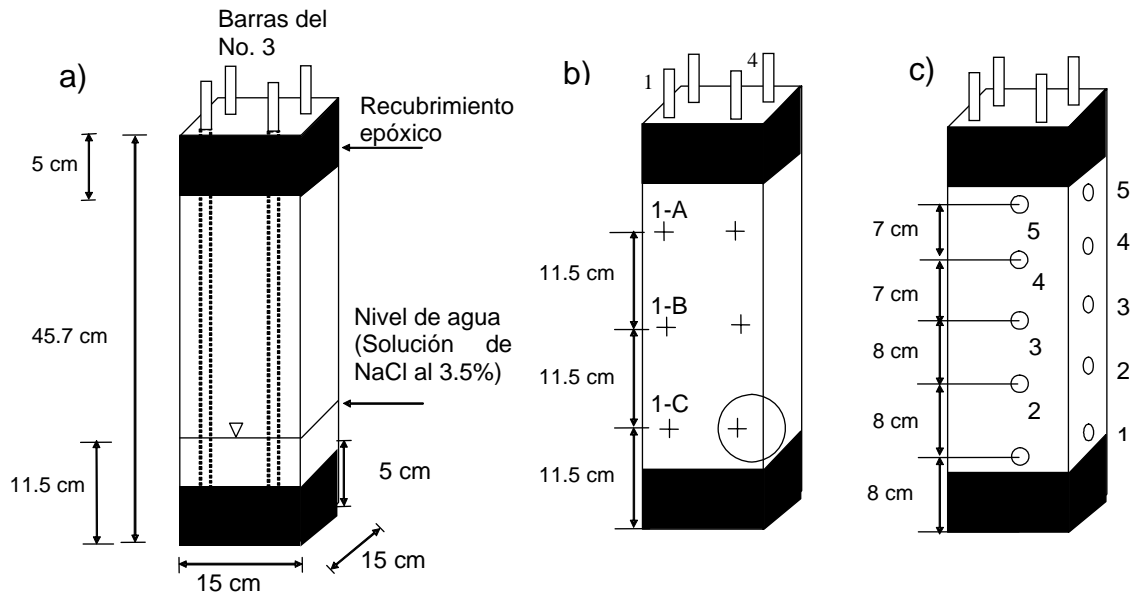
## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para cada una de las variables y condiciones cuyos resultados se discuten abajo se siguieron metodologías, técnicas, materiales y condiciones específicas, que se resumen en la Tabla 1. Por su parte, y por propósitos ilustrativos, para cada una de las condiciones de los trabajos de la Tabla 1, se incluye un croquis de la probeta o estructura, el cual ayuda a entender los resultados y discusión..

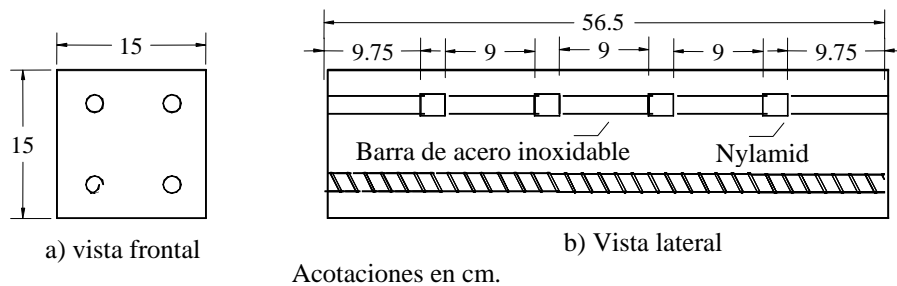
**Tabla 1.** Condiciones de prueba de los experimentos en campo y laboratorio.

<b>Tipo de probeta</b>	<b>Condición de exposición</b>	<b>Tipo de prueba</b>	<b>Técnica utilizada</b>	<b>Material</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
Columnas	Pruebas aceleradas de secado y mojado	Laboratorio	Resistencia a la polarización ( $i_{corr}$ , $E_{corr}$ , $R_s$ )	Concreto con reparaciones usando primarios al acero	7
Estructuras reales	Ambiente marino	Campo	Resistencia a la polarización ( $i_{corr}$ , $E_{corr}$ , $R_s$ )	Concreto con reparaciones usando primarios al acero	5
Vigas	Pruebas aceleradas de secado y mojado	Laboratorio	Corriente galvánica $I_g$	Concreto con reparaciones y uso selectivo de acero inoxidable	8

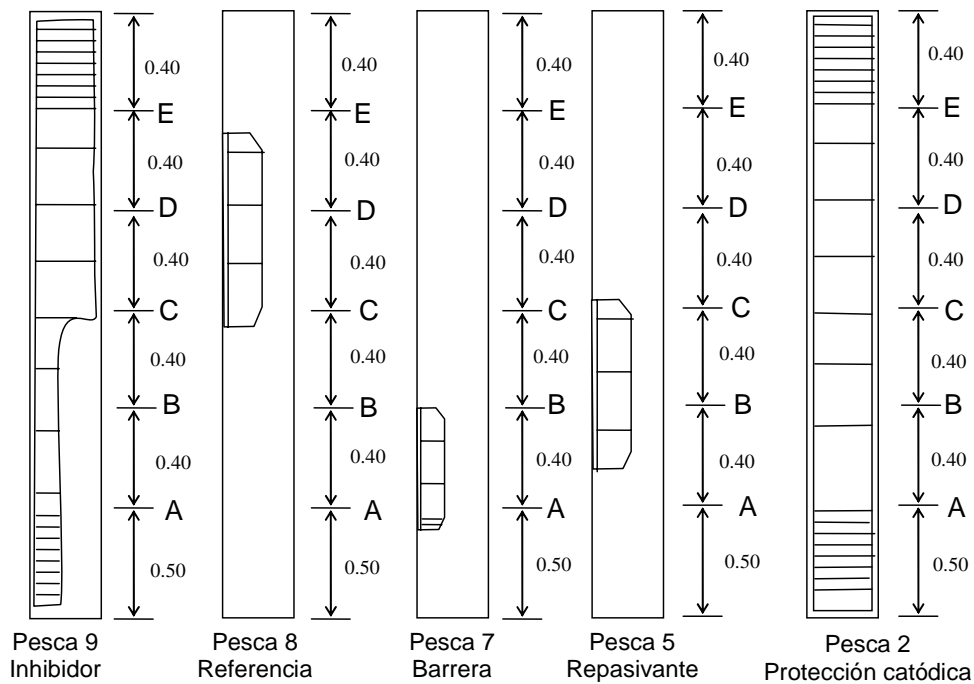
Se pueden obtener más detalles metodológicos en la literatura correspondiente.



**Figura 1.** Croquis de los especímenes empleados para la variable 1 (pruebas de laboratorio).



**Figura 2.** Ejemplo de una viga con barra segmentada, variable 2 (pruebas de laboratorio)

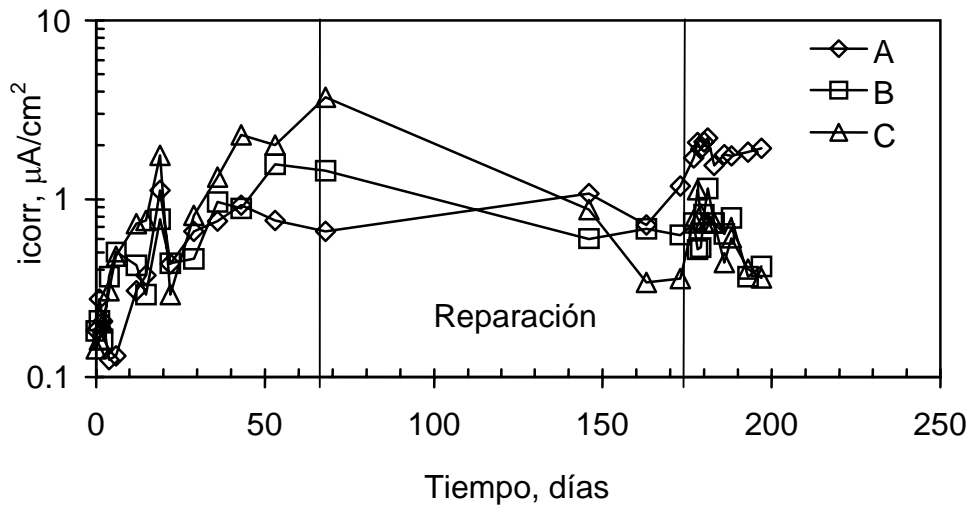


**Figura 3.** Croquis de los daños típicos en edificios, variable 3 (pruebas de campo).

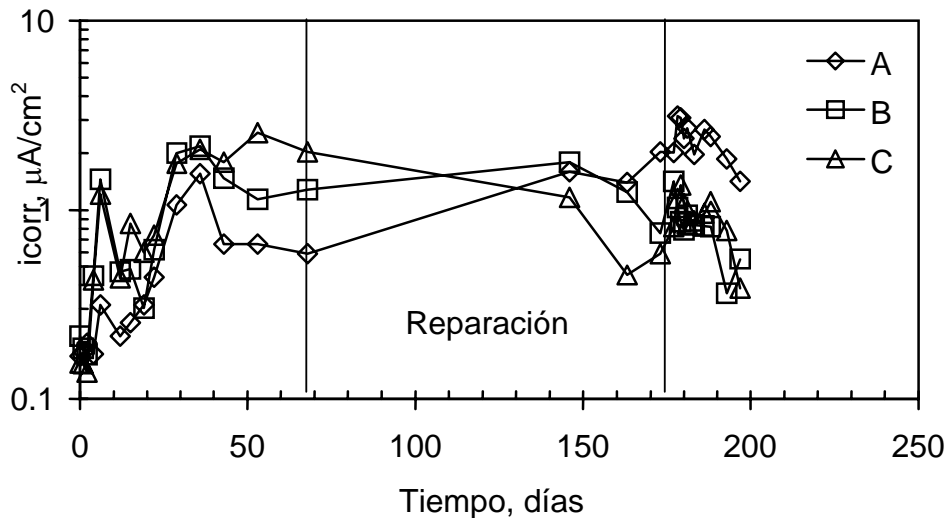
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variable 1. Efecto de Puentes de adherencia en el par galvánico de columnas de concreto reforzado

Las Figuras 4 y 5 describen el comportamiento de la velocidad de corrosión ( $i_{corr}$ ) con el tiempo en función de las zonas no reparadas (A y B) y la zona reparada C. La Figura 4 muestra el resultado sin puente de adherencia y la Figura 2 con puente de adherencia. Hay una tendencia general a disminuir la  $i_{corr}$  después de la reparación en las zonas B y C pero sin diferencias significativas entre ellas. En este caso, el agente de adherencia incrementa la capacidad de unión entre el concreto viejo (A y B) y el concreto nuevo (C) y evita la entrada de agentes como el cloruro que pudiese afectar a las partes no reparadas (A y B). En este caso también, el puente de adherencia promueve una disminución de  $i_{corr}$  en la zona A de la Figura 5 con respecto a la misma de la Figura 4. Esto probablemente significa que la humedad no está alcanzando las partes superiores con la misma facilidad e intensidad como para mantener el electrolito o promover la entrada de cloruros adicionales a la parte NR. Por otra parte, las columnas donde no había puente de adherencia (Figura 4) no mostraron con claridad la tendencia de  $i_{corr}$  a disminuir. Bajo las condiciones de estudio y exposición, la principal conclusión de este trabajo fue que el agente adherente trabaja a favor de la reparación desde el punto de vista electroquímico, reduciendo los valores de  $i_{corr}$  de la parte no reparada al menos durante el período de prueba. Entonces, el uso de puente de adherencia constituye una variable que desmitifica el efecto nocivo del par galvánico en la parte no reparada, incluso a edades tempranas.



**Figura 4.** Valores de  $i_{corr}$  promedio obtenidos en columnas sin puente de adherencia.



**Figura 5.** Valores de  $i_{corr}$  promedio obtenidos en columnas con puente de adherencia

**Variable 2. Par galvánico en reparaciones con uso selectivo de acero inoxidable en vigas.**

La Figura 6 muestra el comportamiento de la corriente galvánica ( $I_g$ ) que es inversamente proporcional a la relación de áreas anódica/catódica ( $aA/aC$ ). El comportamiento mostrado corresponde a los valores tomados durante las cuatro etapas de la investigación descritas en la referencia 9. La ecuación de regresión obtenida fue:

$$y = 72.69x^{-0.9835}, \text{ con una } R^2 \text{ de } 0.6065.$$



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



Esta ecuación, que en la referencia 8 fue discutida y complementada con datos de otros autores, se observa también en la Figura 7.

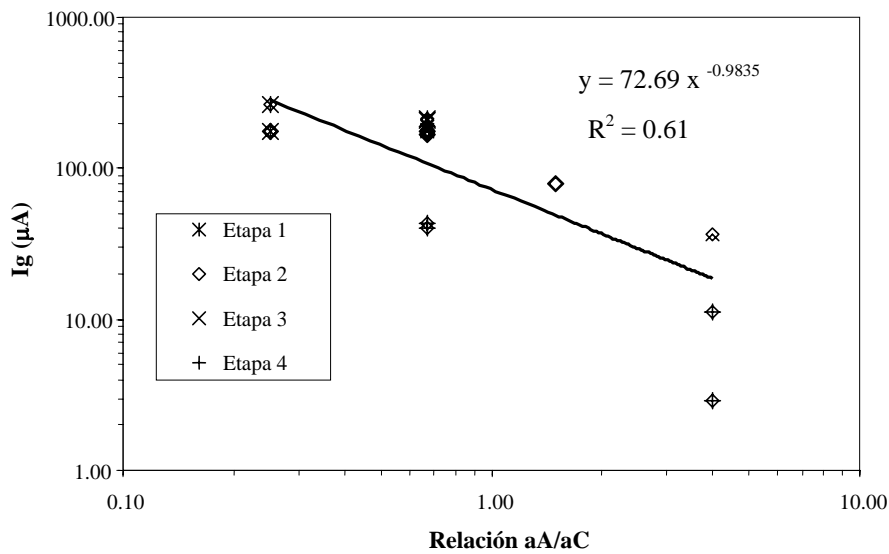
Se identificaron dos grupos de datos y se clasificaron según su comportamiento. Las dos ecuaciones de regresión se obtuvieron, una basada en los datos de Rodríguez, Arya y Song,<sup>9, 10, 11</sup> y la otra con datos de este estudio y de Andrade<sup>12</sup>. Ambas regresiones muestran pendiente similar pero varían una de la otra en casi dos órdenes de magnitud. La primera ecuación fue:

$$y = 0.7537x^{-0.8731}, \text{ con una } R^2 \text{ de } 0.65 \text{ y la segunda ecuación fué:}$$
$$y = 85.761x^{-0.7272} \text{ con una } R^2 \text{ de } 0.71.$$

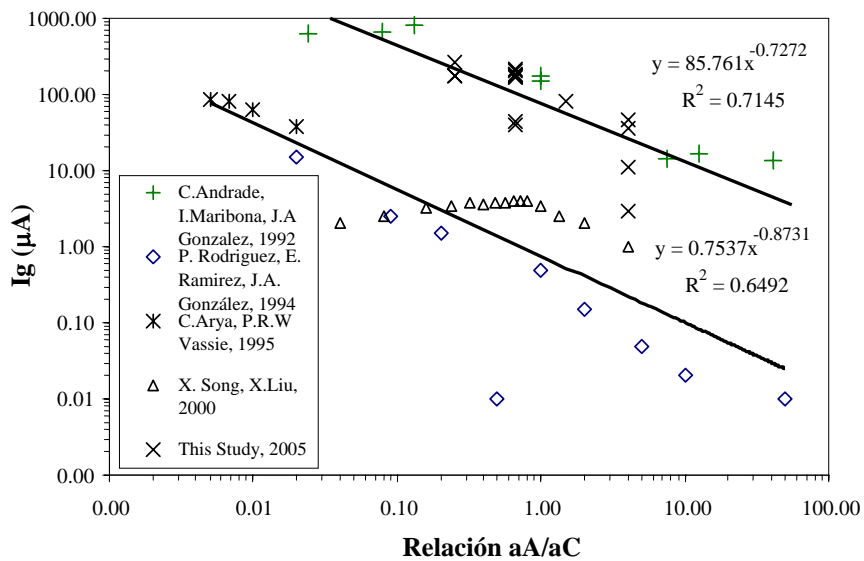
Basados en estas ecuaciones se preparó la Tabla 2 donde se observa claramente que para una relación aA/aC mayor de 5 no hay diferencias significativas de  $I_g$ . Este hecho viene también a desmitificar el efecto nocivo del par galvánico para casos de reparaciones con acero inoxidable y claramente muestra que, en términos prácticos, basta con que la relación aA/aC sea igual o mayor que 5 para que el efecto galvánico sea despreciable, lo cual desde luego aplica a las condiciones de este estudio.

**Tabla 2.** Valores obtenidos en la ecuación de regresión, obtenida por otros autores, cambiando los valores de la relación aA/aC.

<b>P. Rodriguez, C. Arya, X. Song</b>	
<b>aA/aC</b>	<b><math>I_g</math> (<math>\mu</math>A)</b>
X	$y = 0.7537x^{-0.8731}$
0.001	313.69
0.01	42.01
0.10	5.63
1.00	0.75
<b>5.00</b>	<b>0.18</b>
10.00	0.10



**Figura 6.** Tendencia obtenida de la relación de aA/aC y los valores de Ig basada en una ecuación cuadrática para la variable 2.



**Figure 7.** Tendencia obtenida de la relación de aA/aC y los valores de Ig basada en una ecuación cuadrática para la variable 2, comparada con datos obtenidos por otros autores.

**Variable 3. Par galvánico en reparaciones localizadas de estructuras reales usando o no imprimaciones al refuerzo**

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron interesantes pero se requería su comprobación en estructuras reales. Se repararon entonces varias columnas en varios edificios expuestos a



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

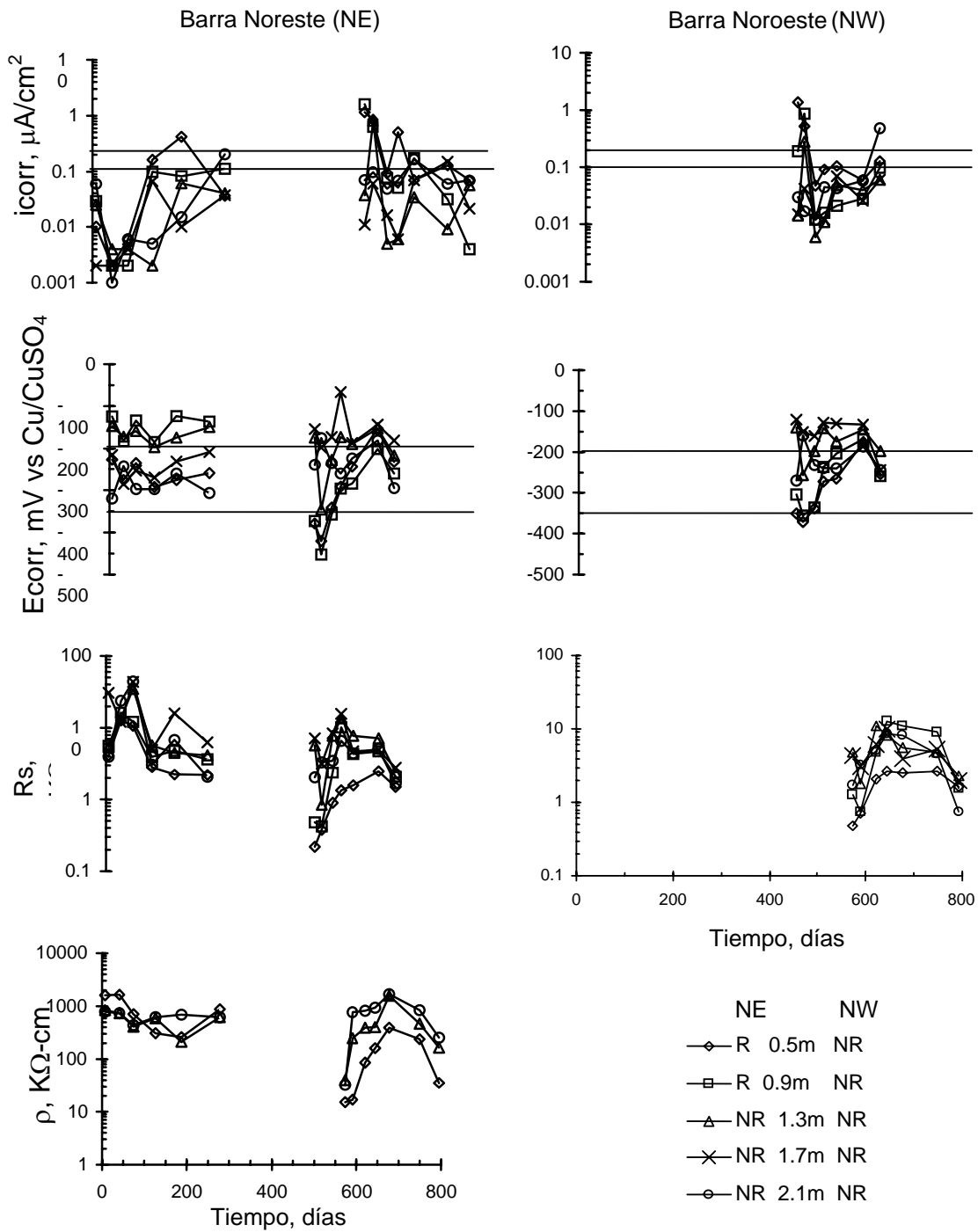


diferentes distancias del mar y bajo la influencia, no solo de la brisa marina, sino también de fenómenos meteorológicos. Aunque en la variable 1 se discutieron varios tipos de imprimación, para efectos ilustrativos y por cuestión de espacios, se mostrará y discutirá únicamente el caso del primario con efecto barrera en edificios reales, es decir, la columna 7 del croquis de la Figura 3 y de la Figura 8. Los detalles sobre los procesos de reparación, materiales y pruebas pueden ser consultados en la literatura correspondiente

La columna 7 fué reparada con un primario que confiere protección tipo barrera. La barra noreste (NE) fué reparada ( R ) a alturas de 0.5 y 0.9 pero la barra Noroeste (NW) no fue reparada. Los datos de la izquierda de la Figura 8 representan un período de tiempo que la columna estuvo en servicio antes de tener un grado inaceptable de corrosión. Se dejó de medir estos parámetros por un año desde que se alcanzó ese nivel (partes de en medio de las gráficas de la Figura 8). Después se hicieron las reparaciones y se reiniciaron las mediciones cuyos resultados están a la derecha de las gráficas de la Figura 8. En la nueva etapa de mediciones se incluyó la barra NW que estaba NR y considerando que estaba expuesta al mismo ambiente pero con menos severidad que la barra NE.

La Figura 8 muestra valores de diferentes parámetros conocidos y las tendencias después de la reparación fueron, en todos los casos, hacia valores que no representaban riesgos de corrosión. Esta tendencia duró durante todo el período de prueba, y aunque técnicamente no se pudo medir la  $I_g$ , los demás parámetros claramente dejaron entrever en forma indirecta su comportamiento. Esto significó que no hubo una influencia de la zona reparada de la barra (NE) en la no reparada (NW). De manera similar, si se analizan los datos de la barra NE, hubo una diferencia entre las partes R y NR de la misma pero solo duro unos días después de la reparación. Después de algunos días, los valores de R y NR se mezclaron y se posicionaron en la zona de pasivación. Situaciones similares se presentaron para los otros sistemas de imprimación en este tipo de columnas de estructuras reales por lo que, al igual que para las variables 1 y 2, el efecto nocivo del par galvánico producido en las áreas adyacentes de una reparación localizada quedó desmitificado para las condiciones de prueba de este estudio.





**Figura 7.** Edificio de Pesca, columna 7, protección tipo barrera.

### CONCLUSIONES



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



El efecto nocivo del par galvánico ocasionado al realizar reparaciones localizadas bajo diferentes condiciones de materiales, elementos estructurales y exposición bajo diferentes ambientes ha sido desmitificado para las variables siguientes:

- a) En columnas de concreto reforzado bajo condiciones de semi-inmersión y reparaciones de un tercio de su longitud con concreto convencional usando o no un puente de adherencia
- b) En vigas de concreto reforzado bajo condiciones de humectación y secado, y reparaciones de las zonas centrales con concreto convencional y uso selectivo de acero inoxidable traslapado o unido eléctricamente con el acero negro preexistente.
- c) En columnas de estructuras reales bajo condiciones de clima tropical marino de la península de Yucatán usando varios sistemas de protección al refuerzo con primarios comerciales de la región

Existen muchas variables aún por desmitificar en cuanto al efecto nocivo del par galvánico que no formaron parte de este artículo

### **AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece plenamente a todos sus coautores de las diversas publicaciones citadas aquí. También agradece a M. Balancán por su apoyo en la parte experimental de varios de estos resultados. Se agradece al CONACYT y a CINVESTAV sus apoyos parciales en diferentes etapas de estas investigaciones. Los puntos de vista presentados por el autor no necesariamente representan los de los organismos que han apoyado el trabajo.

### **REFERENCIAS**

- 
1. P. Schiessel, W. Breit, M. Raupach, "Durability of local repairs on concrete structures damaged by reinforcement corrosion" In: ACI SP-145 on Durability of Concrete (1994): p. 1195-1215, Nice, France
  2. S. Nagataki, N. Otsuki, A. Moriwake, S. Miyazato, T. Shibata, "Macro-cell corrosion on embedded bars in concrete members with joints", In: Conference on durability of building materials and components (1996): p. 411-420. Stockholm, Sweden
  3. C. Alonso, C. Andrade, J. Farina, F. López, P. Merino, X. R. Novoa, "Galvanic corrosion of steel in concrete", Materials Science Forum, 194 (1995): pp. 899-906.
  4. C. Andrade, I. R. Maribona, S. Feliú, J. A. González, S. Feliú Jr., "The effect of macrocells between active and passive areas of steel reinforcements", Corrosion Science **33** (1992): pp. 237-249.
  5. P. Castro-Borges, "Primers for the reinforcement as a repair method of concrete in columns of buildings exposed at a tropical marine environment. Influence of adjacent zones", ICCRRR 2005, in: Concrete repair, rehabilitation and retrofitting, Alexander Taylor & Francis(eds) (2005): pp. 791-795, Cape Town Sudáfrica



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



- 
6. P. Castro, E. Pazini, C. Andrade, C. Alonso, “The macrocell activity in slightly chloride contaminated concrete induced by reinforcements primers”, *Corrosion* **59**, 6 (2003): pp. 535-546
  7. P. Castro- Borges, E. I. Moreno, J. E. Alpuche Avilés, “Comportamiento electroquímico de una reparación localizada. Efecto de la aplicación de una imprimación y un puente de adherencia”, *Materiales de Construcción*, **53**, 271-272 (2003): pp.135-144
  8. M. Córdova, P. Castro-Borges, “The galvanic effect of the anodic/cathodic area ratio on reinforced concrete with 304 stainless steel” in: E. Pazini, T.C. Holland, V.M. Malhotra, P. Helene (Eds.), *Fifth ACI/CANMET Internacional Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials*, ACI SP-253, (2008): pp. 383-389, Manaus, AM. (Brasil).
  9. P. Rodríguez, E. Ramirez, et al., “Effect of galvanic macrocouples on the corrosion of steel in embedded concrete” *Proceedings of The First Mexican Symposium on Metallic Corrosion*, México (1994), Paper 37, pp. 66-71
  10. Arya, C., Vassie, P., “Influence of cathode-to anode area ratio and separation distance on galvanic corrosion currents of steel in concrete containing chlorides”, *Cement and Concrete Research* **25**, 5 (1995): pp. 989-998.
  11. X. Song, X. Liu, “Experimental research on corrosion of reinforcement in concrete through cathode-to-anode area ratio”, *ACI Materials Journal* **97**, 2 (2000): pp. 148-155.
  12. C. Andrade, I. Maribona, et al., 1992, “The effects of macrocells between active and passive areas of steel reinforcement”, *Corrosion Science*.**33**, 2 (1992): pp. 237-249.