

# Comportamiento electroquímico de una reparación localizada. Efecto de la aplicación de una imprimación y un puente de adherencia

## *Electrochemical performance of a localized repair. Effect of applying a primer and a bonding membrane*

P. CASTRO-BORGES\*, E. I. MORENO, J. E. ALPUCHE-AVILÉS

Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán  
(\*) Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Unidad Mérida, Yucatán

Fecha de recepción: 7-II-03

Fecha de aceptación: 10-VI-03

MÉXICO

### RESUMEN

*En las construcciones del norte de Yucatán se emplean, por costumbre, las imprimaciones al refuerzo como método de reparación al hormigón armado. Se ha observado en la literatura que la utilización sólo de imprimaciones presenta un comportamiento electroquímico, motivo éste, aún, de amplia discusión. Ante estas situaciones se llevaron a cabo varias investigaciones que tienen como objetivo la evaluación de las situaciones que favorezcan o no la utilización de las imprimaciones como método de reparación en un ambiente tropical marino. En este trabajo se discuten los efectos de la aplicación de un puente de adherencia y el comportamiento galvánico que produce la reparación.*

*Se prepararon columnas pequeñas de hormigón armado que fueron expuestas a ciclos acelerados de degradación. Después de registrar despasivación del refuerzo, las columnas se repararon aplicando tres tipos de imprimaciones al refuerzo y un testigo. Tras el curado, fueron expuestas al mismo ambiente, observándose su comportamiento electroquímico.*

*Se midieron potencial de corrosión, resistencia a la polarización, carbonatación y contenido de cloruros.*

*Las conclusiones indican que el puente de adherencia disminuye la velocidad de corrosión para las condiciones y tiempo de exposición. El efecto galvánico se presentó al hacer la reparación en las columnas, con y sin puente de adherencia, pero mostrando tendencia a desaparecer con el tiempo. Las imprimaciones utilizadas contribuyeron a mitigar el efecto galvánico de la reparación y a aumentar la resistencia a la polarización.*

**PALABRAS CLAVE:** corrosión, hormigón, imprimaciones, puente de adherencia, reparación.

### SUMMARY

*It is customary, in the constructions at the North of Yucatán, to employ primers to the rebars as a repair method in reinforced concrete. It has been observed in the literature that using primers alone presents an electrochemical behaviour still under discussion. Under these circumstances, several investigations have focused on the evaluation of the factor against or in favour of using primers as a repair method in a tropical marine environment. In this paper, the effects of applying a bonding membrane and the galvanic effect generated by the repair are also discussed.*

*Small reinforced concrete columns were prepared and exposed under accelerated degradation cycles. After the activation of the rebars, the columns were repaired applying three types of primers, leaving one bar as control. After curing, the columns were exposed again to the same environment and their electrochemical behaviour was monitored.*

*Corrosion potentials, polarization resistance, carbonation and chloride content were measured as a function of time.*

*Conclusions suggest that the bonding membrane reduces the corrosion rates for the conditions and exposure time studied. The galvanic effect was observed after repairing the columns with and without bonding membrane, but with a tendency to reduce with time. The primers applied helped to reduce the galvanic effect of the repair, and to increase the polarization resistance.*

**KEYWORDS:** corrosion, concrete, primers, bonding membrane, repair.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos primarios son utilizados para el acero de refuerzo embebido en hormigón como métodos de prevención y/o reparación en las costas mexicanas, a pesar de que la normativa nacional vigente no contempla su uso y de que no hay datos suficientes que permitan conocer bajo qué condiciones puede ser recomendado su uso o no. En la literatura se han detectado varios trabajos en los que se estudian las ventajas y limitaciones de su uso (1-3) Sin embargo, aunque hay estudios llevados a cabo en columnas de edificios (4), existen situaciones, aún no estudiadas, tales como el efecto electroquímico, que da lugar a la realización de una reparación, en la cual se sustituyen secciones completas de elementos de hormigón imprimando al acero y, también, la utilización de puentes de adherencia. El objetivo de este trabajo es determinar, en columnas pequeñas, bajo condiciones de laboratorio, en qué medida algunas propiedades electroquímicas, como el potencial y la velocidad de corrosión, se ven afectadas cuando, al reparar, se sustituye una sección completa de la columna y se emplea un puente de unión.

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1. Probetas

Se prepararon cuatro probetas simulando una porción de columna de hormigón armado de 15x15x46 cm (Figura 1) con cuatro barras de acero negro corrugado (No 3), sin estribos y con recubrimiento de 2,5 cm, que es el recomendado por ACI para árido de 19 mm de diámetro. Fueron limpiadas, pesadas y sus diámetros medidos. Las barras fueron protegidas en el extremo inferior de la columna ensamblándolas con una sección de barra de nylon de 12 mm de diámetro. En la parte superior de la columna las barras de acero sobresalieron del hormigón para facilitar las conexiones eléctricas. El hormigón fue proporcionado con el método del ACI para una relación agua/cemento de 0,76, que dio como resultado un hormigón muy poroso permitiendo, así, acelerar el proceso de corrosión en pruebas aceleradas y observar mejor la actuación de las imprimaciones. El colado se llevó a cabo de acuerdo al proceso descrito en ASTM C 192. Las imprimaciones utilizadas en las probetas, después del período de pre-corrosión que se describe más adelante, fueron aplicadas de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes. En cada columna se usaron tres revestimientos, uno por barra, quedando, la cuarta, de testigo sin revestimiento. Las imprimaciones fueron un revestimiento bi-componente tipo epóxico (alquitrán de hulla) con

## 1. INTRODUCTION

*Primers have been used on rebars embedded in concrete as a prevention and/or repair method along the Mexican coast, even though their use is not recommended by the Mexican standards and there is not enough data to suggest under which conditions their use could be recommended or not. In the literature, several works have been found (1-3) where their advantages and limitations are studied. However, even though there is a case study of buildings columns (4), there are situations not yet addressed, as the electrochemical effect caused by a repair where large concrete sections are substituted priming the rebar, and applying bonding agents. The objective of this work is to determine in short columns, under lab conditions, in which way some electrochemical properties, as potentials and corrosion rates, are affected when a large section of the column is substituted and a bonding agent is applied.*

## 2. EXPERIMENTAL METHODOLOGY

### 2.1. Specimens

*Four specimens were prepared simulating a portion of a reinforced concrete column of 15x15x46 cm (Figure 1), reinforced with four black bars (No 3), without stirrups and with 2.5 cm of concrete cover, which is recommended by ACI for 19 mm diameter aggregate. The rebars were cleaned, weighted, and measured. They were protected at the low end of the columns by attaching them to nylon bars of 12 mm diameter. The rebars protruded the concrete surface at the top end to facilitate electrical connections. Concrete was designed following ACI method for a water-cement ratio of 0.76, which resulted in a very porous concrete facilitating the corrosion process in accelerated tests and the monitoring of the performance of the primers. Casting was made according to ASTM C 192. Primers were applied, after the corroding period, according to the supplier specifications. In each column, three primers were used, one per rebar, leaving the fourth bar as a control. Primers were a bi-component epoxy like primer (coal tar), which provides a barrier type of protection, a primer with acrylic resins which provides a*

efecto de protección tipo barrera, un revestimiento con resinas acrílicas con efecto de protección tipo barrera/inhibidor, y, por último, un revestimiento tri-componente a base de cemento y resinas epoxi modificadas con igual efecto barrera/inhibidor.

## 2.2. Técnicas experimentales

Durante el procedimiento experimental se realizaron las actividades y mediciones siguientes:

- a) extracción de cloruros totales con ácido nítrico y determinación con el método del ion selectivo
- b) profundidad de carbonatación con fenolftaleína
- c) mediciones electroquímicas de potenciales (Ecorr) y velocidades de corrosión (icorr) a través de un corrosímetro portátil. Las mediciones se hicieron a tres alturas diferentes A (34,5 cm), B (23 cm), y C (11,5 cm) (ver Figura 1).

## 2.3. Condiciones de operación y procedimiento experimental

Las probetas fueron curadas por tres días en inmersión total en agua potable con cal e inmediatamente expuestas a pruebas aceleradas en ciclos de humectación (12 h) y secado (12 h) antes de la reparación. El periodo de inmersión parcial se hacía en

*barrier/inhibitor type of protection, and a tri-component primer with cement and modified epoxy resins that provides also a barrier/inhibitor type of protection.*

## 2.2. Experimental techniques

*During the experimental procedure the following activities and measurements were made:*

- a) Total chloride extraction with nitric acid and determination by the ion selective method*
- b) Carbonation depth using phenolphthalein*
- c) Electrochemical measurements of potentials (Ecorr) and corrosion rates (icorr) using a portable corrosimeter. Measurements were made at three different heights: A (34.5 cm), B (23 cm), y C (11.5 cm) (see Figure 1).*

## 2.3. Operating conditions and experimental procedure

*Specimens were cured for three days under total immersion in fresh water saturated with calcium hydroxide and placed after that under accelerated wet (12 h) and dry (12 h) cycles before repairing. The*

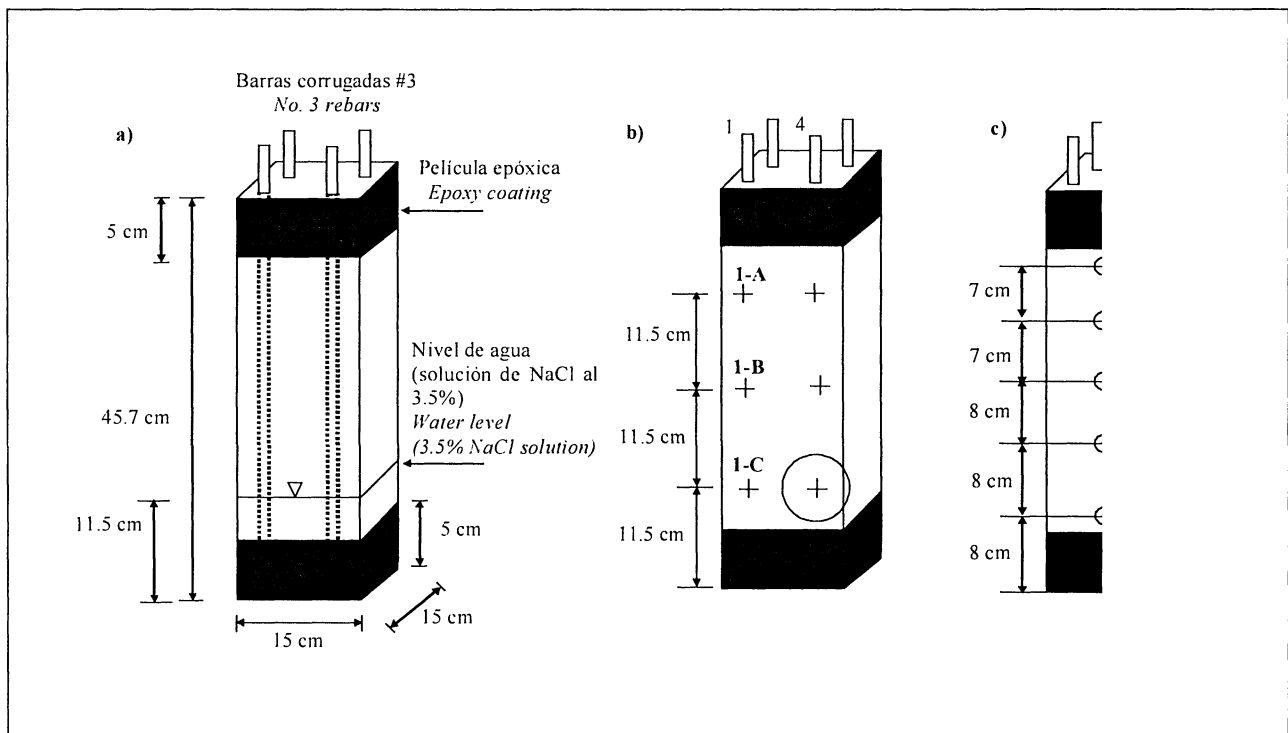


Figura 1.- Esquema de las probetas.

Figure 1.- Sketch of the specimens.

una pila en una solución de agua con 3,5% de NaCl, que es similar a la del agua de mar de Yucatán, y abarcando 11,5 cm de la columna. Los ciclos de secado se hacían en un horno a 50 °C. La intención fue acelerar el proceso de corrosión más que simular el efecto de las mareas. El parámetro operación para determinar el momento de reparar fue la operación de corrosión. El momento para reparar fue definido como aquél donde la zona C de la probeta tenía un valor de operación de corrosión mayor de  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , característico de una corrosión significativa. Al alcanzar este valor, se detenían los ciclos de inmersión y secado para proceder a la reparación. Inmediatamente se realizaban pruebas de cloruros y carbonatación, y, en función de los resultados, se seleccionaba la longitud de la columna que tendría que ser reparada, procurando sustituir la sección en la que el umbral pre-establecido de cloruros fuese superado. Se determinó, en base a todos estos valores (Tabla 1), que se deberían reparar 32 cm de la parte inferior, en los cuales el contenido de cloruros superaba el valor de 0,66 % por peso de cemento (ppc) que fue tomado como umbral. Por lo tanto, la zona a reparar era mayor que la que no sería reparada. La altura seleccionada se encontraba por encima de aquélla en la que hubo eflorescencias de sal.

El hormigón de la zona a reparar fue demolido, las barras limpiadas e imprimadas, y, posteriormente, la sección de hormigón fue reconstituida después de dos días transcurridos desde que las imprimaciones habían sido colocadas. En dos columnas se usó puente de adherencia y en dos no para identificar la influencia de este parámetro en las reparaciones y el comportamiento de la varilla. El puente de adherencia se colocó de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Para reconstituir la sección se usó un molde y el hormigón fue colado. Se vigiló que las imprimaciones no resultasen dañadas durante esta operación.

*period of partial immersion was made on a container with a 3.5% NaCl solution, which is similar to the seawater in Yucatán, and covering the first 11.5 cm of the column. The drying periods were made in an oven at 50 °C. The idea was to accelerate the corrosion process and not to model the tidal effect. The parameter to stop the cycles was the corrosion rate values. Once the corrosion rate for height C reached above  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , characteristic of significant corrosion, the cycles stopped in order to repair the column. At this moment, the chloride concentration and the carbonation depth were estimated. Based on these results, extend of the contaminated concrete was determined; trying to remove all the concrete were the pre-established chloride threshold was reached. Based on these values (Table 1), it was determined that 32 cm from the bottom should be repaired, as the chloride content was higher than the chloride threshold of 0.66 % by weight of cement. Therefore, the repair zone was larger than the non-repair zone. The selected height was above the efflorescence.*

*Concrete in the repair zone was removed, the rebars were cleaned and primed, and the section was cast with new concrete two days after priming. Bonding agent was used in two columns to study the influence of this parameter in the performance of the repair and the rebar behaviour. The bonding agent was placed following the supplier specifications. Care was taken to ensure that the primers were not damaged during casting.*

TABLA 1/TABLE 1

Resultados de cloruros y carbonatación en las columnas pequeñas probadas  
*Chloride concentration and carbonation depth results from the tested columns*

Posición <i>Position</i> No.	Altura <i>Height</i> (cm)	Concentración de cloruros <i>Chloride concentration</i> (% por peso de cemento) <i>(% by weight of cement)</i>	Profundidad de carbonatación <i>Carbonation depth</i> (mm)
1	8	5.1	0.0
2	16	4.2	0.0
3	24	2.1	2.9
4	31	0.6	3.4
5	38	0.5	3.2

### 3. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados de cloruros en función de la altura, en los cuales se puede apreciar la gran diferencia en concentración entre la zona expuesta y la que no lo estaba. En la misma tabla, se muestra que la carbonatación existió únicamente en la zona expuesta atmosféricamente sin alguna tendencia definida y con un frente bastante alejado de las barras de refuerzo.

Las Figuras 2 y 3 muestran los resultados de Ecorr para dos columnas sin puente de adherencia y dos con puente de adherencia respectivamente, antes, durante y después de la reparación. Cada valor que aparece en estas gráficas es el promedio de ocho mediciones (una por cada barra, sin importar que esté o no imprimada). En general, el comportamiento es muy similar entre lo representativo de ambas figuras.

Por su parte, la Figura 4 muestra, para las tres zonas de medición, los promedios de velocidades de corrosión de dos columnas en las que no se utilizó puente de adherencia antes, durante y después de la reparación, mientras que la Figura 5 muestra el mismo tipo de información pero para las dos columnas que tenían puente de adherencia. Cada valor de estas gráficas es el promedio de ocho mediciones (una por cada barra sin importar si están imprimadas o no). En general, pareciera que el comportamiento es muy similar en ambas figuras sin importar si hay o no puente de adherencia.

El hecho de que haya aumentado la icorr en la zona A después de la reparación indica un posible par galvánico creado, entre las zonas B - C y la zona A, por la reparación.

Por otra parte, en las Figuras 6 y 7 se analizan los mismos datos que en las Figuras 2 y 3, pero separando las barras imprimadas de las testigo. Para el tiempo empleado en la medición después de la reparación, no hay detalles significativos entre las gráficas.

En las Figuras 8 y 9 se analizan los mismos datos de icorr pero separando, por una parte, los valores de las barras en las que se había aplicado la imprimación, y, por otra, los datos de las barras testigo. La situación observada antes, durante y después de la reparación es similar a la observada en las Figuras 4 y 5, aunque, aparentemente, después de la reparación, las imprimaciones hicieron que la icorr disminuyera más rápido durante el tiempo de medición, y con más intensidad que en las barras testigo.

### 3. RESULTS

*Table 1 shows the results of chloride concentration as a function of height. It can be observed a difference in concentration between the exposed and the unexposed zones. Carbonation was observed only in the atmospherically exposed zone with no defined trend and small compared with the concrete cover.*

*Figures 2 and 3 show the Ecorr results from two columns without bonding membrane and two with bonding membrane, respectively, before, during, and after the repair. Each value is the average of eight measurements (one for each rebar with or without primer). In general, the trends are similar in both figures.*

*Figure 4 shows, for the three zones studied, the average corrosion rates from two columns with no bonding membrane before, during, and after repair. Figure 5 shows the same information for the two columns repaired using bonding membrane. Each value in these figures is the average of eight measurements (one for each bar independently of the primer used). In general, the behaviour is similar in both figures independently of the bonding agent.*

*The fact that icorr from zone A increased after repairing may indicate that a galvanic effect was created, between the B - C zones and zone A, by the repair.*

*On the other hand, in Figures 6 and 7 the same data from Figures 2 and 3 is presented but separating the results from the primed rebars from those from the control ones. For the exposure time after repair, there is no significant difference between the graphs.*

*In Figures 8 and 9 the same icorr data is presented but separating the results from the primed rebars from those from the control ones. The situation observed before, during, and after repair is similar to that observed in Figures 4 and 5 although, apparently, the use of primers after repair decrease icorr faster and to lower values than in the control ones.*

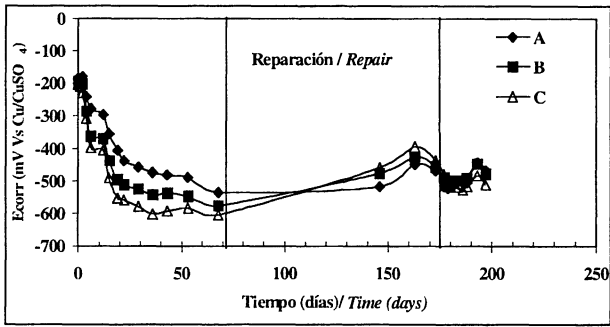


Figura 2.- Gráfica de Ecorr para las columnas sin puente de adherencia.  
 Figure 2.- Ecorr average values from columns without bonding agent.

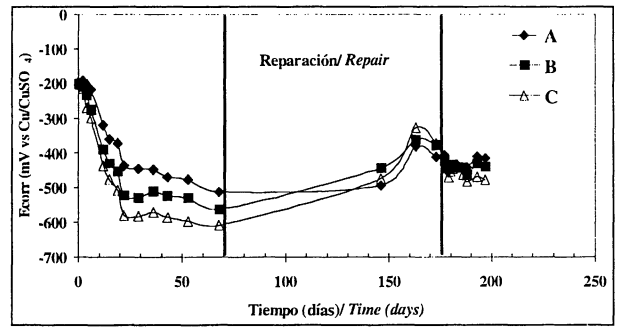


Figura 3.- Gráfica de Ecorr para las columnas con puente de adherencia.  
 Figure 3.- Ecorr average values from columns with bonding agent.

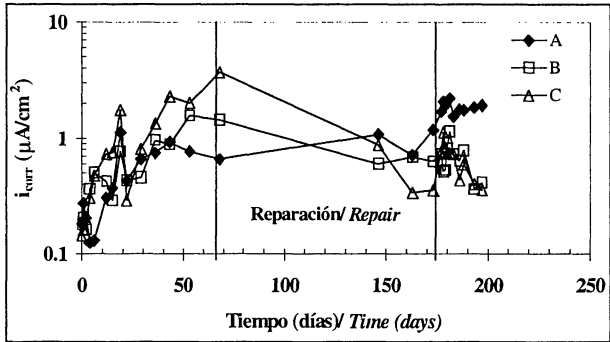


Figura 4.- Gráfica de icorr para las columnas sin puente de adherencia.  
 Figure 4.- icorr average values from columns without bonding agent.

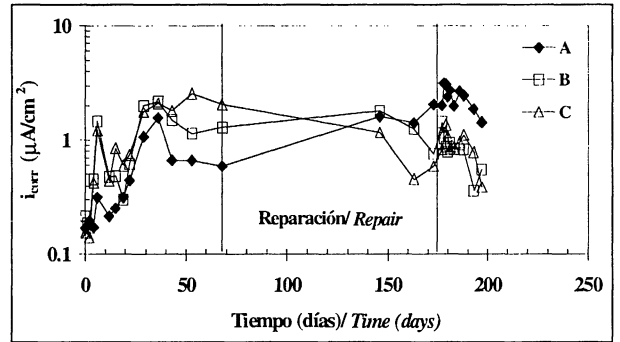


Figura 5.- Gráfica de icorr para las columnas con puente de adherencia.  
 Figure 5.- icorr average values from columns with bonding agent.

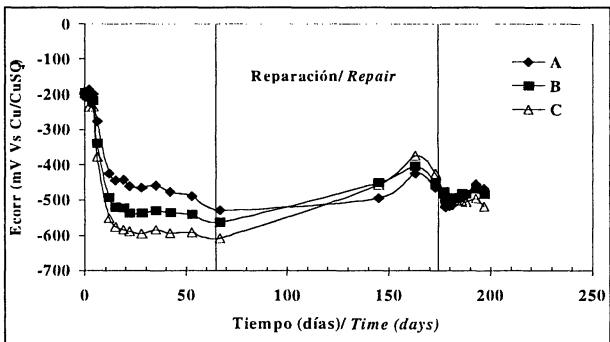


Figura 6.- Gráfica de Ecorr para las barras con alguna imprimación.  
 Figure 6.- Ecorr average values from primed rebars.

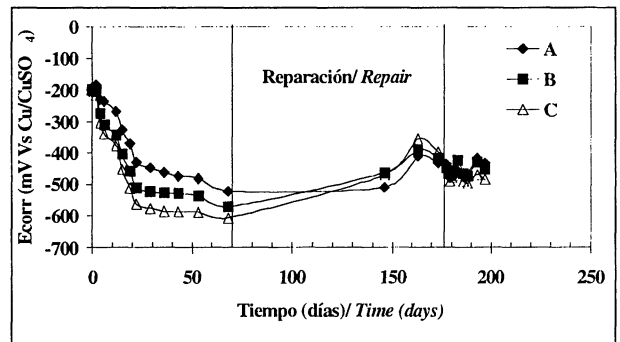


Figura 7.- Gráfica de Ecorr para las barras testigo.  
 Figure 7.- Ecorr average values from control rebars.

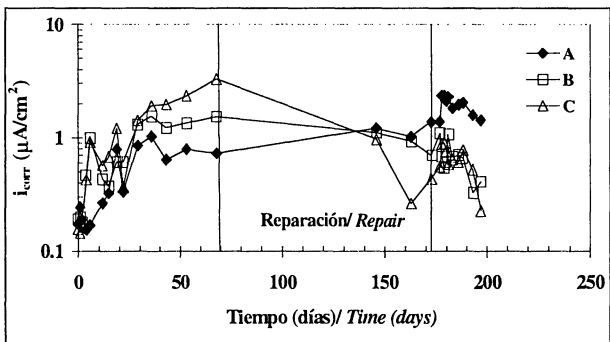


Figura 8.- Gráfica de icorr para las barras con alguna imprimación.  
 Figure 8.- icorr average values from primed rebars.

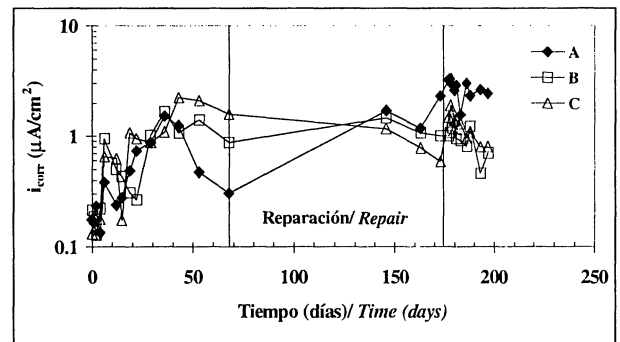


Figura 9.- Gráfica de icorr para las barras testigo.  
 Figure 9.- icorr average values from control rebars.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Puente de adherencia

En una reparación localizada, es común especificar el uso de un puente de adherencia para asegurar la unión entre el hormigón viejo y el nuevo. El puente de adherencia ha sido muy criticado en la literatura argumentando que la unión que se pretende reforzar se puede lograr sin él, si se hace una correcta preparación de la superficie a la cual se aplicará el nuevo material. Sin embargo, la conveniencia o no del puente de adherencia es un tema que no aparece con claridad en la literatura consultada (5, 6) por lo que se incluyó en este trabajo.

Las Figuras 2 y 3 muestran los potenciales de despasivación, que son muy parecidos entre sí, mientras que las Figuras 4 y 5 muestran que después de la reparación (146 días), hay una tendencia general hacia la disminución de *icorr* en las zonas B y C, sin una diferencia notable entre ellas (con puente de adherencia o sin él).

Cuando se usa un puente de adherencia, como el de estas reparaciones, es de esperar que no sólo aumente la capacidad de unión entre el hormigón nuevo y el viejo, sino que también funcione como una barrera física (impermeabilizante) entre el hormigón nuevo y el viejo, que impida que más agentes agresivos y humedad se transporten en el interior de la columna de la zona reparada con hormigón nuevo hacia la zona no reparada. En este caso, con la utilización del puente de adherencia, la velocidad de corrosión en la zona A está disminuyendo con mayor intensidad que cuando no se usa, y puede significar que la humedad ya no está llegando desde las zonas inferiores con tanta intensidad como para mantener el electrolito, así como impedir el ingreso de cloruros adicionales a la zona no reparada, evitando que sobrepase el límite de cloruros. En cambio, en las columnas donde no se usó (Figura 4), no hay una tendencia clara hacia la disminución de *icorr*.

Para poder ratificar estas observaciones sería necesario esperar más tiempo del que se tuvo en este trabajo y que ayude a definir si este comportamiento se mantiene, pues la incertidumbre de este tipo de mediciones puede, en este momento, ocultar la respuesta real del sistema al querer separar la contribución del puente de adherencia. La contribución, en este punto, es que, para las condiciones de ensayo y exposición que se dan, el puente de adherencia parece estar funcionando favorablemente desde el punto de vista electroquímico, reduciendo la velocidad de corrosión, al menos durante el tiempo de los ciclos, aunque no hay seguridad aún de que lo siga haciendo en plazos más largos, a menos que se obtengan datos que así lo confirmen.

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Bonding membrane

*In a localized repair is common to specify the use of a bonding agent to ensure the union between old and new concrete. Bonding membranes have been criticized in the literature arguing that the union may be reached without using it, as long as a proper surface preparation is made before applying the new material. However, the convenience of using it or not is not clear in the literature (5, 6), which is the reason why this was included in this investigation.*

*Figures 2 and 3 show the despassivating potentials that are very similar among them, while Figures 4 and 5 show that after repairing (146 days) there is a general trend to decrease *icorr* in zones B and C, with no noticeable difference between them (with or without bonding membrane).*

*When a bonding agent is used, as above, it would be expected that not only the bonding capacity between the old and new concrete increase but also that it works as a physical barrier (impermeable) between the old and new concrete, impeding that more moisture and aggressive agents are transported in the inside of the column from the repaired zone to the non-repaired zone. In this case, by using the bonding agent, the corrosion rate from zone A is decreasing more than when it is not used. This may mean that moisture is not flowing from the lower zones with the same intensity as to maintain the electrolyte, therefore impeding the ingress of additional chlorides to the non-repaired zone, keeping the concentration below the chloride threshold. In the columns repaired without bonding agent (Figure 4) there is not a clear trend in the reduction of *icorr*.*

*In order to confirm these observations, it would be necessary to wait longer than the time allocated for this work to help define if this behaviour is constant, as the uncertainty in this type of measurements may, in this moment, mask the real answer of the system when trying to separate the contribution of the bonding agent. The contribution from this work is that, for the tested and exposure conditions reported here, the bonding membrane is working satisfactorily from the electrochemical point of view by reducing the corrosion rate, at least for the reported cycles, although it is not sure that it will perform the same for longer periods unless data confirming it is collected.*

## 4.2. Efecto galvánico

El efecto galvánico producido por una reparación ha sido estudiado bajo diferentes materiales y condiciones de exposición (2-4), pero no se detectaron trabajos en los que el elemento reparado fuese una columna pequeña sujeta a ciclos acelerados de degradación. La literatura (1-3, 6) muestra aún controversia en cuanto a la existencia y duración de este efecto, así como a sus consecuencias. En este trabajo, al hacer una reparación sin imprimaciones (testigos), se observó, a través del valor de icorr, la existencia de un par galvánico cuyo efecto se va perdiendo conforme los valores tienden a decrecer durante el período posterior a la reparación. Cuando se usaron imprimaciones, el par galvánico después de la reparación también se presentó, aunque con valores más pequeños que cuando no se tuvo la imprimación, observándose la misma tendencia a desaparecer conforme los valores se hacían más pequeños durante el tiempo de la evaluación. Analizando los datos de este trabajo y el de otros autores (4), se puede concluir que la reparación localizada en columnas pequeñas sujetas a ciclos agresivos de degradación muestra un efecto galvánico muy claro, que es de menor intensidad cuando se usaron imprimaciones, pero que, en ambos casos, tiende a decrecer con el tiempo. Basándose en datos de otros autores (4, 7, 8) y viendo las tendencias de los datos aportados aquí, se puede anticipar que el efecto galvánico se perderá después de varios ciclos adicionales de exposición, habiéndose comprobado que esta situación no sólo es privativa de vigas (como se ha dicho antes) sino también de columnas. Más aún, se comprueba que el efecto galvánico disminuye con el tiempo aunque el área reparada sea hasta un 70% del área total, cuando se sustituye una sección completa, con puente de unión y se usen o no imprimaciones al acero de refuerzo, en condiciones similares a las que aquí se presentaron.

## 4.3. Efectividad de la imprimación

La utilización de pinturas al refuerzo como método de reparación es un tema muy controvertido, diferentes autores no llegan aún a un acuerdo. Sin embargo, en costas como las de Yucatán, la costumbre de su utilización se generaliza cada vez más sin que haya un conocimiento previo de las condiciones para las cuales pueden o no funcionar adecuadamente. Hay coincidencia entre varios autores (2) de que en reparaciones de alta calidad, en elementos con hormigones de buena calidad, se hace innecesaria la utilización de imprimaciones. Sin embargo, en sitios donde no sólo el elemento, sino la reparación incluyen morteros u hormigones de baja calidad, la imprimación puede jugar un papel importante (9).

## 4.2. Galvanic effect

*The galvanic effect produced by the repair has been studied under different materials and exposure conditions (2-4), but no works were found where the repaired element was a small column to subject to accelerated degrading cycles. Literature (1-3, 6) still shows controversial results with respect to the existence and duration of this effect as well as their consequences. In this work, when a repair with no primer was used, it was observed through the icorr values, the existence of a galvanic effect which effect was diminishing as the values tended to decrease during the period after the repair. When primer was used, the galvanic effect after repair was also present although with lower values than in the case with no primer, and the same tendency to diminish was observed as the values were smaller with time. By analyzing the data from this and other works (4), it was concluded that the localized repair in small columns subject to aggressive degradation cycles showed a very clear galvanic effect which is smaller when primers were used, but tends to decrease with time for both cases. Based on data from other authors (4, 7, 8), and observing the tendency for the data reported here, it could be anticipated that the galvanic effect would be lost after some additional exposure cycles, being confirmed that this situation is not only observed in beams (as has been reported) but also in columns. More over, it was confirmed that the galvanic effect diminish with time even though the repair area is ~70% of the total area, when a complete section is substituted, with bonding membrane and with or without applying primers to the rebar, in conditions similar to the ones presented here.*

## 4.3. Primer effectiveness

*The use of primers on the rebar as a repair method is a controversial topic in which different authors do not agree. However, in coastal constructions as in Yucatan, its use being common without previous knowledge of the conditions in which it may or it may not perform adequately. There is an agreement among several authors (2) that for high quality repair in elements with good quality concrete it is unnecessary the use of primers. However, in places where not only the element, but the repair procedure involves low quality mortars or concrete, primers may have a major role (9).*



Por otra parte, se sabe que la imprimación no es la mejor opción pero sí es de las más económicas y de mayor uso en nuestro medio, por lo que es muy importante un seguimiento y supervisión adecuados para prolongar al máximo su vida de servicio.

También debe de considerarse que el seguimiento del comportamiento electroquímico de una reparación a través de la técnica de la Resistencia a la polarización lineal es limitado, pues las imprimaciones de alta calidad e impermeabilidad no permiten el paso de la señal y tendrían que utilizarse otras técnicas de medición. En la realidad, los revestimientos que se aplican son los más baratos y, por lo tanto, la técnica puede aplicarse sin problema.

En este trabajo, la efectividad de las imprimaciones se manifestó a través de la medición de icorr. Para una misma zona de prueba, las columnas en las que se usaron imprimaciones mostraron valores más pequeños de icorr que aquéllas que sirvieron de testigos (sin imprimación). Mientras que en el caso de las zonas no reparadas, éstas mostraron menores velocidades de corrosión, después de la reparación, para los diferentes casos, cuando se usaron imprimaciones que cuando no se usaron.

La principal consecuencia fue que, para las imprimaciones utilizadas y para el período de exposición y condiciones de prueba, parece ser que hay una contribución de las imprimaciones tendente a mitigar el efecto galvánico de la reparación y a disminuir la velocidad de corrosión. Por lo tanto, su uso puede ser recomendado siempre y cuando exista una supervisión adecuada y un seguimiento del estado físico de la reparación durante su vida en servicio, a fin de alargar su vida útil.

## 5. CONCLUSIONES

1. El puente de adherencia redujo la velocidad de corrosión para las condiciones y tiempo de exposición.
2. Para el tiempo de exposición, el efecto galvánico se presentó al hacer la reparación en todos los casos (columnas con y sin puente de adherencia), pero mostrando una tendencia a desaparecer con el transcurso de los ciclos para el caso de columnas reparadas con puente de adherencia.
3. Las imprimaciones utilizadas, para el tiempo de exposición y las condiciones de prueba, contribuyeron a mitigar el efecto galvánico de la reparación y a disminuir la velocidad de corrosión.

*On the other hand, it is known that primers are not the best option, but one of the cheap ones and the more applied one in our region. Therefore, it is important proper supervising and monitoring to ensure the longest service life.*

*It should be considered that monitoring the electrochemical behaviour of a repair through the linear polarization resistance technique is limited, as high quality primers and insulation do not allow the signal through the coating and other monitoring techniques should be used. Actually, the applied coatings were the cheaper ones and do not pose a problem to the polarization resistance technique.*

*For this work, the effectiveness of the applied primers was observed through icorr measurements. For the same tested zone, rebars in columns repaired with no primers showed lower icorr values than those observed in the control ones (without primers). In the case of the non-repaired zones, they showed lower corrosion rates after repairing when primers were used than without them.*

*The main contribution from this part was that for the primers used and the exposure period and test conditions, it seems to be a contribution from the applied primers to mitigate the galvanic effect of the repair and to diminish the corrosion rate. Therefore, its use may be recommended as long as proper supervision and monitoring of the repair exists in order to extend its service life.*

## 5. CONCLUSIONS

1. *The bonding membrane decreased the corrosion rate for the conditions and exposure time employed.*
2. *For the exposure time, the galvanic effect was present after repairing for all cases (columns with and without bonding membrane), but showing a tendency to disappear with time for the repaired columns with bonding membrane.*
3. *The applied primers, for the exposure time and conditions of this work, contributed to diminish the galvanic effect due to the repair, and to decrease the corrosion rate.*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo parcial del CONACYT (31350-U), CINVESTAV del IPN Unidad Mérida, y Facultad de Ingeniería de la UADY en varias etapas del proyecto. Un agradecimiento especial a la Ing. M. Balancán por su asistencia en la fase experimental. Los puntos de vista expresados aquí son los de los autores y no necesariamente los de las instituciones participantes.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the partial support from CONACYT (31350-U), CINVESTAV-IPN Mérida Unit, and the College of Engineering from UADY in several stages of the project. The authors are indebted to M. Balancán for their assistance in the experimental phase. The points of view expressed here are those of the authors and not necessarily those of the supporting institutions.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) S. Nagataki, N. Otsuki, A. Moriwake, S. Miyazato, T. Shibata: *Macro-cell corrosion on embedded bars in concrete members with joints*. Conference on durability of building materials and components. pp. 411-420, Stockholm, Sweden. 1996.
- (2) P. R. Helene, P. J. M. Monteiro: *Can local repairs be durable solutions for steel corrosion in concrete structures*. R. N. Swamy, ed. Corrosion and Corrosion Protection of steel in concrete. pp. 1525- 1538, Sheffield, UK. V. 2, 1997.
- (3) P. Schiessel, W. Breit: *Local repair measures damaged by reinforcement corrosion. Aspects of durability*. Corrosion of reinforcement in concrete construction. pp. 327-336, Cambridge, U. K., 1996.
- (4) J. M. Ordaz: *Imprimaciones al acero de refuerzo como método de reparación para extender la vida útil residual de estructuras de hormigón armado en ambiente tropical marino*. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería de la UADY, 2001.
- (5) M. Keddani, X. R. Novoa, L. Soler, H. Takenouti: *An equivalent electrical circuit of macrocell activity in facing electrodes embedded in cement mortar*. Corrosion Science, Vol. 36, nº 7 (1996), pp. 1155-1166.
- (6) 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, Vol. 33 (1992), pp. 237-249.
- (7) E. J. P. Figueiredo, P. Castro, C. Andrade, C. Alonso: *Influence of barrier and repassivant type primers on the galvanic current induced by a localized repair* (in Spanish). A. I. De La Fuente, ed. V Iberoamerican Congress on Constructions Pathologies. pp. 1929-1936, Montevideo, Uruguay, 1999.
- (8) E. Pazini, P. Castro, C. Andrade, C. Alonso: *Effect of passivant and cathodic protection primer systems on the galvanic currents induced by localized repairs*. R. K. Dhir, M. J. McCarthy, eds. Concrete Durability and Repair Technology. pp. 423-432. Dundee Scotland, 1999.
- (9) P. Castro, E. Pazini, C. Andrade, C. Alonso: *The Macrocell Activity in Slightly Chloride Contaminated Concrete Induced by Reinforcement Primers*. Corrosion, 2003.

\* \* \*