



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México  
Del 12 al 14 de Noviembre



### **EFFECTO DE LA CORRIENTE IMPRESA EN EL ACERO DE REFUERZO POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA (EIE).**

**I. López.<sup>1</sup>, J. García .<sup>1</sup>, C. Barrios.<sup>2</sup>, F. Almeraya.<sup>1</sup>, , R. Núñez.<sup>2</sup>, C. Gaona.<sup>1</sup>, A. Martínez.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Depto. de Física de Materiales/Grupo corrosión. Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, 31109, Chihuahua, Chih., México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Sinaloa Campus Los Mochis, UAS, Facultad de Ingeniería,

#### **RESUMEN**

Una de las técnicas mas utilizadas para combatir los efectos de la corrosión en estructuras es la protección catódica, el siguiente trabajo estudia la perdida de adherencia del acero embebidos en mezclas elaboradas con cemento portland ordinario (OPC) y ceniza volante (fly ash) (OPCFA), aplicando una corriente de protección y una de sobreprotección en los especímenes de las diferentes mezclas y se determina el porcentaje de perdida de adherencia mediante la prueba de jalón (pull out) en los ensayos de ambas mezclas. Además se lleva acabo una evaluación por la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) del comportamiento de ambas mezclas al estar bajo la condición de protección y sobreprotección catódica.

**Palabras claves:** Protección catódica, Corriente impresa, Adherencia acero-concreto, fly ash..

The most used technique against the effects of corrosion in reinforced concrete is the cathodic protection. The following work studies the bond loss between steel and concrete in mixtures elaborated with ordinary Portland cement (OPC) and fly ash, (OPCFA) under two different cathodic protection levels (protection and overprotection) in specimens with two different mixtures and the bond lost percentage is found by means of pull out test. In addition is carried out an evaluation by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of behavior in both mixtures when are under the cathodic protection and cathodic overprotection condition.

**Key words:** cathodic protection, Impressed current, rebar-concrete adhesion, Fly ash.

## INTRODUCCION

Una de las principales causas considerada en la limitada duración de las estructuras de concreto reforzado es la corrosión<sup>1</sup>. Por lo cual se recurren en la práctica a diferentes técnicas para combatir este problema, entre estas, la más utilizada es la técnica de protección catódica la cual involucra la supresión del flujo de corriente en la celda galvánica, ya sea por la provisión externa de corriente en la dirección opuesta o por el uso de ánodos de sacrificio. El método de la corriente impresa es aplicado comúnmente para la protección contra la corrosión en estructuras de concreto reforzado contaminado con cloruros. Sin embargo pueden existir efectos secundarios sobre estas que afecten el enlace que existe entre la fase del acero de refuerzo y el concreto. Física y químicamente la no homogeneidad de la distribución de la corriente de protección catódica puede no ser uniforme y quedan áreas sin protección en la estructura<sup>2,3</sup>.

El efecto de la pérdida de adherencia entre la fase acero concreto es fundamental para todas las estructuras de concreto reforzado, estudios realizados por Auyeung confirman que la pérdida de adherencia por no confinamiento en la varilla en la sección transversal del 2% en el diámetro podría conducir a una pérdida del 80% en el enlace entre el acero de refuerzo y el concreto<sup>4</sup>.

**Tabla 1. Dosificación de las mezclas para la relación A/C de 0.45**

Mezcla	Agua (kg/m <sup>3</sup> )	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado grueso (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado fino (kg/m <sup>3</sup> )	Fly ash (kg/m <sup>3</sup> )
CPOFA	214.77	346.72	1088	618.6	86.68
CPO	214.62	455.56	1088	596.44	---

En este trabajo se estudia la fuerza de adherencia que pierde el acero de refuerzo embebido en el concreto al estar bajo condición de protección y sobreprotección catódica por corriente impresa. Considerando para esto dos tipos de mezcla: cemento portland ordinario y la otra sustituyendo un 20 % del cemento por fly ash, ambas con una relación a/c de 0.45. En la actualidad el uso del fly ash como material del reemplazo del cemento es relativamente reciente. Por otra parte las partículas de cenizas volantes reaccionan con el hidróxido de calcio fortaleciendo a la mezcla del concreto volviéndolo menos poroso<sup>5</sup> y por consiguiente menos permeable al ingreso de agentes agresivos. La tabla 1 muestra la dosificación de las mezclas de cemento portland ordinario (CPO)

y la mezcla adicionada con un 20% de fly ash (CPOFA) que se utilizaron para elaborar los especímenes utilizados en el experimento.

## METODOLOGIA

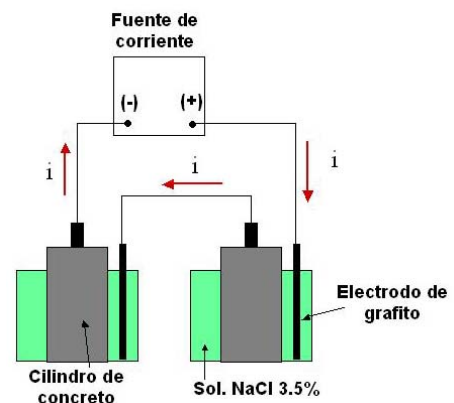
Se elaboraron 6 especímenes cilíndricos de concreto, los cuales se muestran en la figura 1, con relación a/c de 0.45 utilizando como refuerzo una varilla de acero al carbono 1018, con un diámetro de 3/8 in (0.95cm), un extremo de la varilla se recubrió con cinta de teflón dejando un área expuesta de 31.42 cm<sup>2</sup>. Las dimensiones del espécimen cilíndrico fue de 15cm de alto por 7.5cm de diámetro. De los cuales en 3 de ellos se remplazó un 20% de cemento por fly ash. Los 6 especímenes se sometieron a 28 días de curado sumergidos en agua.

Posterior a la etapa de curado los cilindros de concreto se sumergieron en una solución de NaCl al 3.5%, y a 4 cilindros de concreto se les instaló un sistema de protección catódica por corriente impresa. Como ánodo se utilizaron barras de grafito de 1/4 in. (0.635cm) de diámetro y una longitud de 15cm. La fuente de corriente utilizada fue de la marca TEKTRONIX modelo 280. De los cuatro cilindros con protección catódica 2 se sometieron a un criterio de protección de -800 mV vs Ag/AgCl, y los otros dos a un nivel de sobreprotección de -1500 mV vs Ag/AgCl. Los dos cilindros restantes no se les aplicó protección catódica y únicamente se sumergieron en la solución de NaCl al 3.5 %.

La duración de la prueba fue de 30 días, y durante este tiempo se tomaron lecturas de potenciales cada tercer día, utilizando como electrodo de referencia un electrodo de plata – cloruro de plata y un multímetro digital.



**Figura 1.- Especímenes cilíndricos de concreto utilizados en la prueba**



**Figura 2.- Arreglo experimental del sistema de protección catódica.**

Después de los 30 días bajo condición de protección catódica se extrajeron los especímenes y se les realizó una prueba de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) en los 6 especímenes. Con los siguientes parámetros de prueba: un rango de frecuencia de 1mHz a 10 Khz, y una amplitud de 10 mV en la señal de potencial de entrada. Las pruebas de EIE se llevaron a cabo con un equipo ACM Gill 8 AC. El arreglo experimental se puede observar en la figura 2. Además se realizaron pruebas de jalón con la maquina universal para conocer el porcentaje de pérdida de adherencia en ambas mezclas.

## RESULTADOS

En la figura 5 se pueden observar los potenciales y voltajes aplicados en los especímenes sobreprotegidos los potenciales fueron muy similares la variación mas alta fue en el cilindro CPOFA sobreprotegido teniendo una variación de -830mV a -1720mV, tomando en cuenta el criterio del potencial estos se encuentran en sobreprotección con respecto al electrodo de referencia Ag/AgCl<sup>6</sup>. En cuanto a los especímenes protegidos se puede notar una pequeña variación en el cilindro CPOFA protegido de -604mV a -1180 mV lo cual indica que en ese momento se encontraba en sobreprotección pero tomando en cuenta las otras lecturas siempre se mantuvo en protección de acuerdo al criterio ya mencionado.



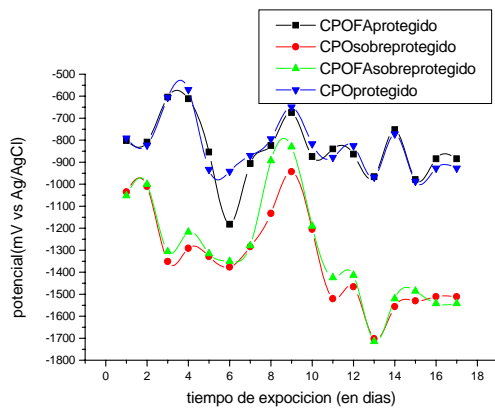
**Figura 3.-** Dispositivo para realizar las pruebas de jalón en la maquina universal.



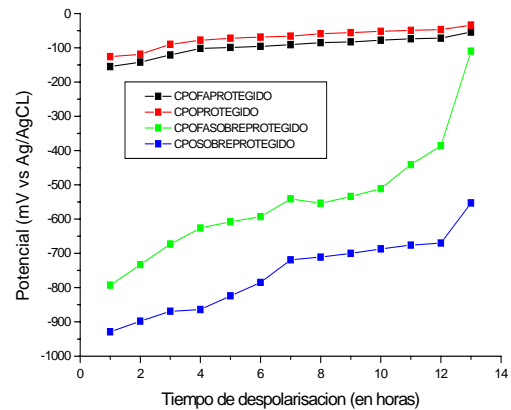
**Figura 4.-** Maquina universal realizando las pruebas de jalón a los especímenes

En la figura 6 se puede visualizar los potenciales de despolarización de los cilindros y se observó que los cilindros que se encontraban en protección en la primera hora bajan a un potencial de -150mV y posteriormente su variación es muy poca prácticamente, en cuanto a los que se

encontraban en sobreprotección en la primera hora bajan un potencial de  $-770\text{mV}$  y su variación si es notoria en cada hora. En términos generales se puede ver que tanto los protegidos como los sobreprotegidos en la primera hora bajaron casi el mismo potencial.



**Figura 5.- Muestra los potenciales de corrosión vs tiempo durante la protección catódica.**



**Figura 6.- muestra los potenciales de corrosión vs los tiempos de despolarización.**

Los resultados de las pruebas de EIE se pueden apreciar en las figuras 7 y 8, en la primera se muestran los diagramas de Nyquist, donde se puede apreciar que existe una marcada diferencia para cada uno de los tratamientos que se le dieron a los especímenes, ya que los cilindros que no tuvieron ningún tipo de protección presentan un arco en el plano complejo con valores de impedancia del orden de  $425\text{ k}\Omega\text{-cm}^2$ , en la componente imaginaria, en la zona de baja frecuencia (1 mHz) para los dos tipos de mezclas, lo cual da indicativo de un proceso sumamente capacitivo, característico del concreto.

Para el caso de los cilindros bajo la condición de protección ( $\approx -800\text{ mV vs Ag/AgCl}$ ), aparecen valores menores de las componentes imaginaria ( $90\text{ k}\Omega\text{-cm}^2$ ) y real ( $40\text{ k}\Omega\text{-cm}^2$ ). Y en el caso de los sobre protegidos se observa valores aun menores. Esto se puede observar mejor en el diagrama de Bode de magnitud de la impedancia, donde se puede ver que el cambio en la impedancia se da en la zona de baja frecuencia, y en la zona de altas frecuencias se puede observar que tienden todos los especímenes a un valor promedio de  $5\text{ k}\Omega\text{-cm}^2$ , que resulta ser el valor de impedancia del electrolito.

Las variaciones en la zona de baja frecuencia se pueden atribuir a que la protección catódica genera un cambio en la interfase acero concreto ya que al ser mayor la aplicación del nivel de protección se observa una disminución en los valores de impedancia. Los resultados que se

obtuvieron de la prueba de jalón, tabla 2, se aprecia que los cilindros elaborados con un 20 % de sustitución de cemento por fly ash no tuvieron una pérdida de adherencia; pero los elaborados con CPO presento una pérdida de 7.96 % bajo el nivel de protección y en mayor grado con un nivel de sobre protección (17.5 %). Las pruebas de impedancia mostraron que se obtuvo una disminución de la impedancia conforme se incrementaba el nivel de protección, esto se refleja completamente en el porcentaje de pérdida de adherencia.

Para el caso de la mezcla CPOFA la no existencia de pérdida de adherencia se puede atribuir a que el tiempo de duración de la prueba (30 días), no fue lo suficientemente largo para que se reflejaran los cambios observados en los diagramas de impedancia en la adherencia entre acero y concreto. Por lo tanto se considera que es necesario realizar estas pruebas pero con un tiempo de duración mayor.

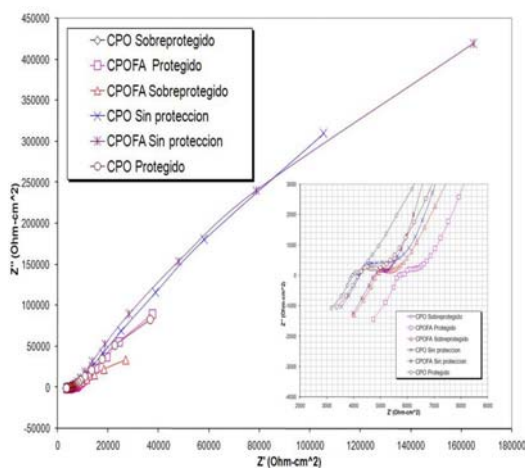


Figura 7.- Diagrama de Nyquist.

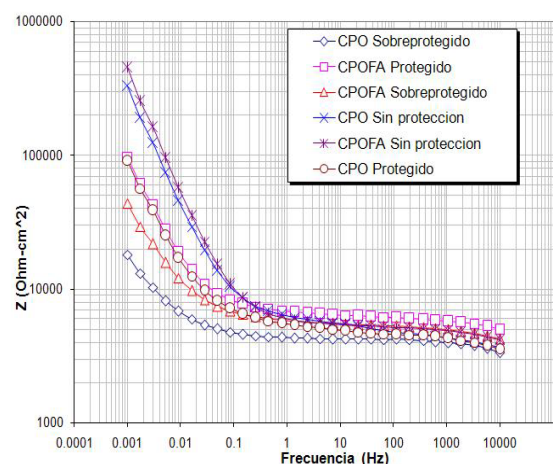


Figura 8.- diagrama de Bode de magnitud de impedancia.

Tabla 2. Esfuerzo Máximo de la prueba de jalón (pull out).

Tipo de mezcla	Carga máxima (kg)	Perdida de Adherencia, %
CPO sin protección	2039.69	Control
CPO protegido	1877.3	7.96
CPO Sobreprotegido	1682.57	17.5
CPOFA sin protección	2090.66	Control
CPOFA protegido	2090.66	0




## CONCLUSIONES

- La pérdida de adherencia fue mayor en el espécimen de CPO bajo la condición de nivel de sobreprotección (-1500 mV vs Ag/AgCl) y en menor grado en el cilindro con protección (-800 mV vs Ag/AgCl).
- Los especímenes elaborados con un 20 % de fly ash no presentaron una pérdida de la adherencia en ninguno de los niveles de protección catódica aplicados.
- Los diagramas de EIS muestran una marcada división para cada uno de los niveles de protección catódica aplicados, sin importar el tipo de mezcla utilizado, mostrando una tendencia que al incrementar el nivel de protección catódica se disminuye el valor de la impedancia, tanto de la componente capacitiva como de la resistiva.

## REFERENCIAS

1. M. Maslehuddin, I.M. Allam, G.J. Al-Sulaimani, A.I. Al-Mana, S.N Abduljawwad, Effect of rusting of reinforcing steel on its mechanical properties and bond with concrete, ACI Mater. J. 87 (5) (1990) 496–502
2. B.S Wyatt, D.J. Irvine, A review of cathodic protection of reinforced concrete, Mater. Perform. 26 (1987) 12-21.
3. J.A. Lehmann, Cathodic protection of reinforced concrete structures, Mater. Perform. 26 (1987) 79-81
4. Y. Auyeung, Bond properties of corroded reinforcement with and without confinement, PhD Thesis, New Brunswick Rutgers, The State University of New Jersey, 2001.
5. A.L.A. Fraay, J.M. Bijen, Y.M. de Haan, Cem. Concr. Res. 19 (1989) 235.
6. B.S Wyatt, D.J. Irvine, A review of Cathodic Protection of Reinforced Concrete, Mater. Perform. 26 (12-21) (1987).



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

