



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México  
Del 12 al 14 de Noviembre



### EVALUACION DEL CONCRETO CONVENCIONAL EN LA CD. DE CHIHUAHUA - PROYECTO DURACON –

**J. Pando Martínez<sup>2</sup>, V. Orozco Carmona<sup>1</sup>, J.M. Lugo Cuevas<sup>1</sup>, A. Borunda Terrazas<sup>1</sup>, D. Luján G<sup>1</sup>, C. Gaona Tiburcio<sup>1</sup>, A. Martínez Villafañe<sup>1</sup>, F. Almeraya Calderón<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.  
Departamento de Física de Materiales –Grupo Corrosión  
Miguel de Cervantes No. 120, C.P. 31109  
Chihuahua, Chih., México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua

#### RESUMEN

Este trabajo forma parte del proyecto DURACON, el cual, busca caracterizar la durabilidad de concretos expuestos en condiciones ambientales reinantes en Iberoamérica, basándose en la exposición de probetas armadas en al menos dos atmósferas distintas, una marina y una urbana, en cada país iberoamericano participante. Siendo el material que se presenta en este trabajo, los resultados obtenidos de exponer probetas de concreto armadas a condiciones ambientales reinantes en la Cd. de Chihuahua durante 60 meses de exposición. Se diseñaron dos tipos de concretos, uno con una relación a/c = 0.65 y otro de relación a/c = 0.45 y, tres espesores de recubrimiento (1.5, 2.0 y 3.0 cm). Los ensayos estuvieron centrados principalmente en la medida de parámetros electroquímicos que permitieron evaluar la cinética de corrosión de las armaduras, mediante pruebas de potenciales de corrosión e implementando la técnica de resistencia a la polarización para determinar la velocidad de corrosión.

**Palabras clave:** corrosión, Pórtland concreto, durabilidad, DURACON, ambiental

#### ABSTRACT

This work forms part of the project DURACON, which, search to characterize the durability of concrete exposed in environmental conditions in Latin America, basing on the exposition of armed test probes in at least two different atmospheres, a navy and an urban, in each participating Latin American country. Being the material that is presented in this work, the results obtained to the exposition during 60 months in the Chihuahua City, Mexico. Two types were designed of concrete (water/cement ratio 0.65 and 0.45) and, three covering thicknesses (1.5, 2.0 and 3.0 cm). The trials were centered principally in the measure of the kinetic corrosion of the armors, by means the potentials corrosion and Lineal Polarization Resistance (LPR).

**Key words:** corrosion, Pórtland concrete, durability, DURACON, environment.



## 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México  
Del 12 al 14 de Noviembre



### INTRODUCCIÓN

La corrosión de la armadura en el acero de refuerzo es una de las causas más habituales responsable del deterioro de las estructuras de hormigón. Las investigaciones han estado especialmente enfocadas en aspectos como: al estudio de las causas y mecanismos de deterioro, desarrollo de técnicas electroquímicas de evaluación y control (tanto en laboratorio como “in situ”) y al empleo de métodos de protección. Más recientemente se planteó la necesidad de cuantificar la vida útil de estructuras afectadas por corrosión (1). Todos los poros que están comunicados entre sí están relacionados con el concepto de permeabilidad o penetrabilidad, que es la característica fundamental que va a controlar la llegada de agentes agresivos hasta la armadura. Cuando la humedad ambiental es suficiente, estos poros del hormigón están rellenos por un líquido acuoso constituido principalmente por iones  $\text{OH}^-$  (alcalinidad elevada con un pH entre 12 y 14). A esta elevada alcalinidad el acero se recubre de una capa de óxidos (pasivante) que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión, mientras el hormigón sea de buena calidad, no esté fisurado y no cambie sus características físicas o químicas por agresiones exteriores (2-3).

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La estación de ensayo fue constituida por paneles metálicos para sostener los probetas de hormigón a un metro por encima del suelo, orientados hacia la dirección de los vientos predominantes.

Materiales para la fabricación de las probetas de hormigón.

Los hormigones estudiados fueron fabricados tomando en cuenta las especificaciones que se dan a continuación:

1. Cemento: Cemento Pórtland Ordinario CPO 30 RS, densidad 3.15
2. Árido Siliceo triturado de 19 mm (tamaño máximo), densidad 2.58,  $P_g = 58\%$
3. Arena cuarzosa, densidad 2.50,  $P_a = 42\%$ ,
4. Relación a/c: 0.45 (cemento 411  $\text{kg}/\text{m}^3$  y agua 185 lto/  $\text{m}^3$ ),  $f'c = 350 \text{ kg}/\text{cm}^2$
5. Relación a/c: 0.65 (cemento 285  $\text{kg}/\text{m}^3$  y agua 185 lto/  $\text{m}^3$ ),  $f'c = 210 \text{ kg}/\text{cm}^2$
6. Adición de plastificante 0.3% vs cemento (sikament 190 CR).
7. Asentamiento  $10 \pm 1.0 \text{ cm}$
8. Encofrado en madera resinosa.
9. Curado bajo agua por 7 días.
10. Se prepararon 6 probetas de hormigón con armadura (tres con relación a/c = 0.45 y tres con relación a/c = 0.65).

Caracterización física de las probetas de hormigón con armadura.



# 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008



**Chihuahua; Chih. México**

**Del 12 al 14 de Noviembre**

Las probetas de hormigón armado que fueron expuestas en las estaciones de ensayo son: 3 probetas de relación a/c 0.45 y 3 de relación 0.65 de forma prismática de 15x15x30 cms con 3 series de armaduras del mismo tipo en cada probeta, con espesores de recubrimiento distintos, siendo de 15, 20 y 30 mm como se puede apreciar en el corte de la sección transversal (ver figura 1), además las barras acero del refuerzo, vistas en el sentido longitudinal tienen 15 cms de la armadura desnuda, esto tomando como referencia el centro de la probeta que es de 30 cms de largo y el resto de la barra es recubierto por una resina epóxica en cada extremo, acompañada por tubo de plástico que hace la función de aislante de la parte no desnuda y como protector del contacto del cable de cobre, el cual se utilizara para las conexiones eléctricas durante el estudio de corrosión (ver figura 1).



**Figura 3.** Estación de monitoreo orientada hacia los vientos dominantes.

Las probetas se montaron en estructuras metálicas debidamente separadas y aisladas unas de otras, y con una orientación preferencial hacia los vientos dominantes en la azotea de uno de los edificios del complejo considerando el menor de las barreras físicas que se pudiera tener e impedir la corriente de flujos del viento en el área.

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

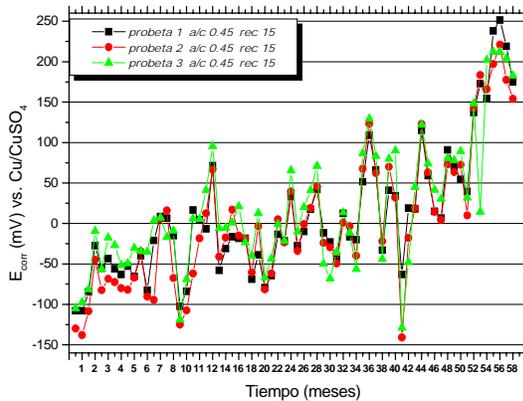
### Potencial de Corrosión

El análisis de las gráficas de potencial obtenidas de cada una de las probetas en estudio, se realizó de acuerdo a los criterios de evaluación establecidos por la norma ASTM C-876-91 (4-5),

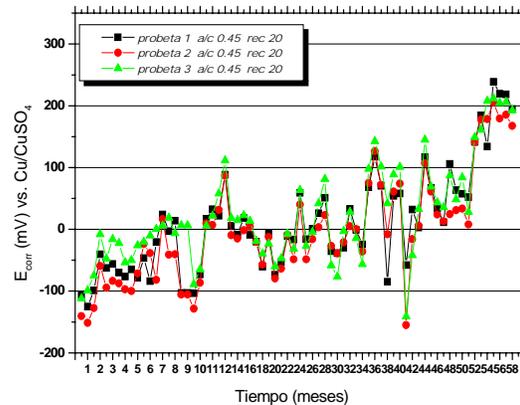
En la gráfica 1 (inciso a-c) se observa el comportamiento del potencial de corrosión como función del tiempo de exposición para las probetas 1, 2 y 3 cuya la relación a/c es 0.45 y con los tres recubrimientos (15, 20 y 30 mm). Como se puede observar los valores de los potenciales no

## Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre

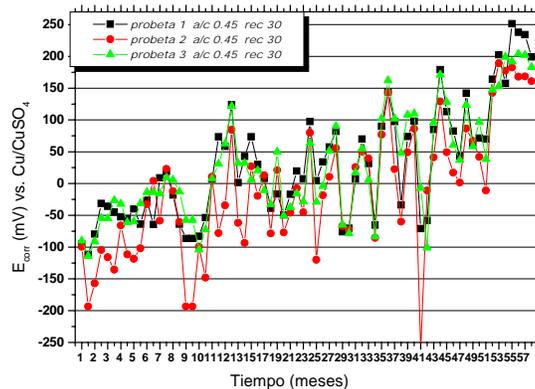
superaron los  $-200$  mV lo que indica que existe un 10 % de probabilidad de que exista corrosión de acuerdo con ASTM C-876-91. Los potenciales en las probetas ya mencionadas comenzaron con valores de  $-130$  mV aproximadamente al inicio de la experimentación y conforme fue transcurriendo el tiempo se llega a alcanzar valores de potencial mas nobles, que van desde los  $+70$  a  $+100$  mV después de los dos años de exposición, esto significa que el acero refuerzo se encuentra estado pasivo para los tres casos (ver grafica 1).



a) Relación a/c: 0.45. Rec 15 mm



b) Relación a/c: 0.45. Rec 20 mm



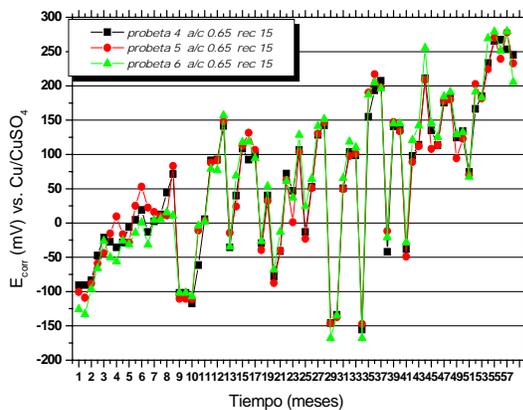
c) Relación a/c: 0.45. Rec 30 mm

**Gráfica 1.** Comportamiento del potencial de corrosión en las probetas 1, 2 y 3 con relación a/c 0.45 y recubrimientos de 15, 20 y 30 mm.

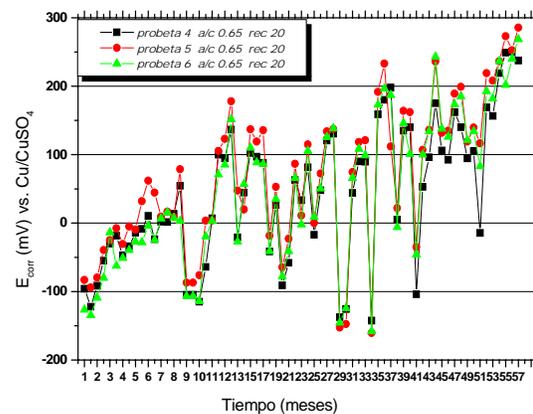
En el caso de las probetas con relación a/c de 0.65 (Gráfica 2, incisos a-c). Los valores de los potenciales permiten observar que existe un 10 % de probabilidad de corrosión de acuerdo como se establece en ASTM C-876 -91. El comportamiento de los potenciales, que se observó en estas tres probetas (4-6), fue con una tendencia a través del tiempo a la formación de una película pasivante del sistema sobre la superficie de las varillas de refuerzo conformada por los iones OH

## Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre

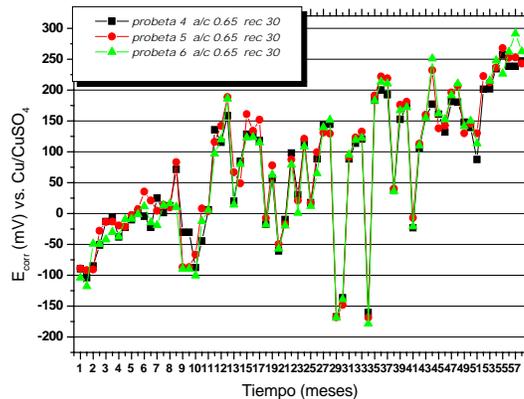
posicionados en el acero. Los valores de los potenciales para la relación a/c 0.65 van desde -140 a +110 mV demostrándose su pasividad a la fecha en los tres tipos de recubrimientos, y por otro lado, el patrón de desenvolvimiento que siguen los potenciales dejan ver que existen periodos de activación del sistema sobre todo cuando existe una humedad relativa alta y sostenida en un microclima como el que se esta evaluando.



a) Relación a/c: 0.65. Rec 15 mm



b) Relación a/c: 0.65. Rec 20 mm



c) Relación a/c: 0.65. Rec 30 mm

**Gráfica 2.** Comportamiento del potencial de corrosión en las probetas 4, 5 y 6 con relación a/c 0.65 y recubrimientos de 15, 20 y 30 mm.

### Velocidad de corrosión

La cinética de corrosión en el hormigón armado se obtuvo a través de mediciones de velocidades de corrosión que se analizan en las graficas del tipo semi-log de  $i_{corr}$  (intensidad de



# 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

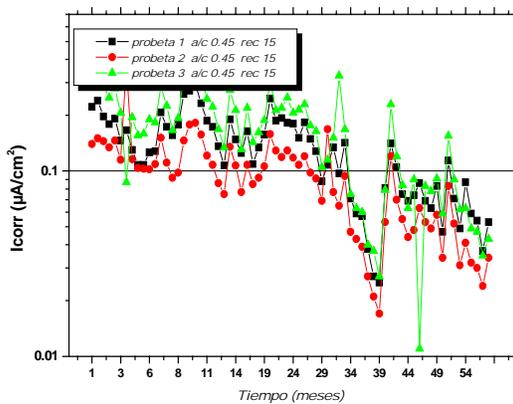


Chihuahua; Chih. México

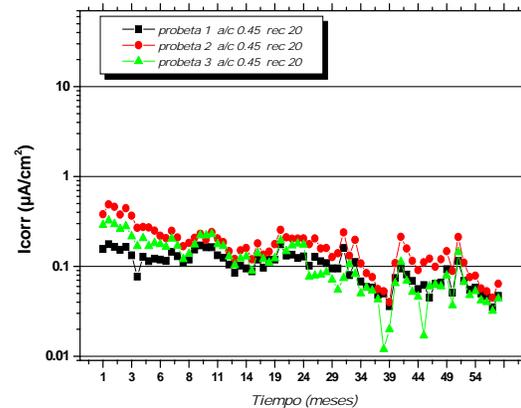
Del 12 al 14 de Noviembre

corrosión) obtenidas de cada una de las probetas estudiadas, en el tiempo estimado, además, se realizó de acuerdo a la referencia internacional DURAR (5).

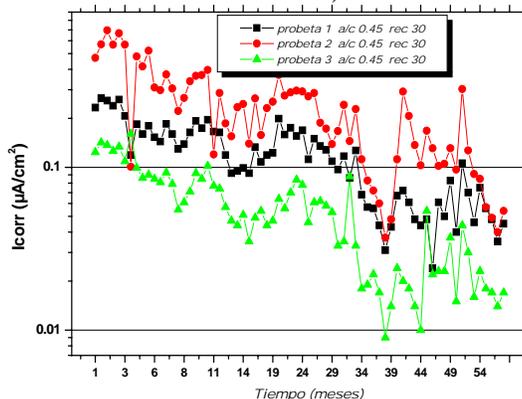
En la gráfica 3 (incisos a-c) correspondientes a las probetas 1-3 con relación a/c de 0.45 se observan los siguientes comportamiento de  $i_{corr}$ . En el recubrimiento de 15mm (inciso a), la  $i_{corr}$  se encuentra en el intervalo de 0.10 a 0.45  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  lo cual permite clasificarlo como una corrosión de nivel moderado, basándose en los criterios del DURAR. El recubrimiento de 20 mm tuvo un comportamiento descendente, lo que permite identificar que la corrosión de la armadura se esta pasivando (corrosión moderada) dado que la  $i_{corr}$  esta en un intervalo de 0.1 a 0.5  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . En el caso del recubrimiento de 30mm, inciso c, comienza con una velocidad de corrosión elevada de 0.5  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  los primeros 4 meses de exposición, y con el paso del tiempo se vuelve una corrosión moderada y en el caso de las otras 2 probetas el comportamiento se muestra de manera muy diferente debido a que sus valores no varían con respecto al tiempo presentando una velocidad de corrosión de tipo moderada (7-8).



a) Relación a/c: 0.45 .Rec 15 mm



b) Relación a/c: 0.45. Rec 20 mm



c) Relación a/c: 0.45. Rec 30 mm



# 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

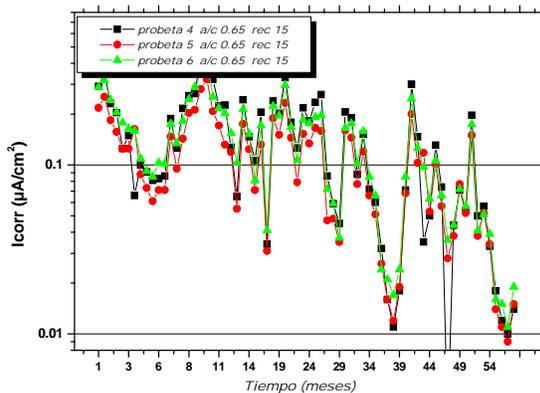


Chihuahua; Chih. México

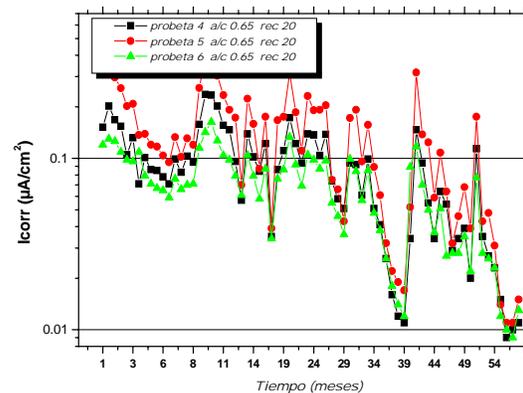
Del 12 al 14 de Noviembre

**Gráfica 3.** Comportamiento de la intensidad de la corriente en las probetas 1, 2 y 3 con relación a/c 0.45 y recubrimientos de 15, 20 y 30 mm.

En las probetas 4-6 con relación a/c de 0.65 (ver gráfica 4, incisos a-c). El comportamiento del recubrimiento de 15 mm para las probetas 4-6 se observa que los valores de velocidad de corrosión son moderados, pero entre los meses 8-10 la velocidad de corrosión se incremento sin llegar a niveles de corrosión elevada y posteriormente se mantiene en un estado de pasivación. Para el caso de las probeta 5 con recubrimiento de 20 mm (inciso b), presentaron las siguientes características: inicia con valores altos al principio de la exposición siendo de  $0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  y posteriormente descienden hasta los primeros 9 meses de exposición; después de este tiempo se vuelve a generar una activación del sistema generalmente con valores por encima de la probeta 4 y 6 como muestra el patrón desarrollado por las 3 probetas. Actualmente se encuentra en una velocidad de corrosión moderada en estado pasivo. Para el caso del recubrimiento de 30 mm se observan los valores de velocidad de corrosión menores a  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  casi al final del monitoreo, considerándose una corrosión en niveles aun despreciables.



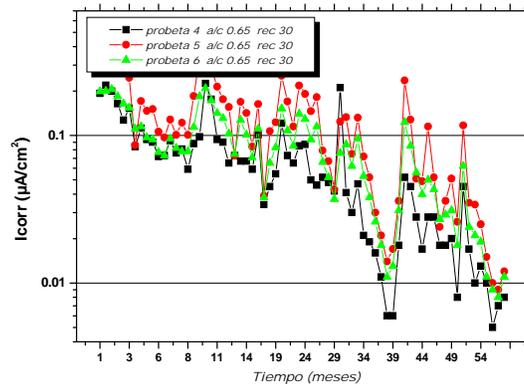
a) Relación a/c: 0.65. Rec 15 mm



b) Relación a/c: 0.65. Rec 20 mm

Chihuahua; Chih. México

Del 12 al 14 de Noviembre



c) Relación a/c: 0.65. Rec 30 mm

**Gráfica 4.** Comportamiento de la intensidad de la corriente en las probetas 4, 5 y 6 con relación a/c 0.65 y recubrimientos de 15, 20 y 30.

## CONCLUSIONES

Después de 60 meses de exposición de las probetas de hormigón armado se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Los valores de los potenciales de corrosión observados en la armadura de refuerzo de las probetas tanto para la relación  $a/c = 0.65$  y  $0.45$  se comportan más activos en los primeros meses de exposición. Sin embargo, conforme aumenta el tiempo de exposición los potenciales se vuelven más nobles, esto se debe en gran parte a las bajo nivel de humedad relativa promedio que se presentan en la región no permitiendo el desencadenamiento de un sistema de corrosión activo permanente, tendiendo a presentar una escasa probabilidad corrosión, de acuerdo con los criterios de interpretación ASTM C-876-91.
- El comportamiento de la velocidad de corrosión  $i_{corr}$ , en las probetas es de un nivel de corrosión moderado de acuerdo a la referencia internacional de valores de intensidad de corriente propuesto por el DURAR para hormigón armado. Esto se debe a la baja agresividad de los fenómenos climatológicos al menos en el caso de la humedad relativa la cual no genera una influencia importante en esta zona. Además se puede concluir de acuerdo al comportamiento de estas graficas, que el sistema en la actualidad se encuentra en estado pasivo tanto para la relación  $a/c$  de  $0.45$  y  $0.65$ .
- En los tres tipos de recubrimientos 15, 20, y 30 mm hasta la fecha no se tiene alguna diferencia notable en cuanto a los valores de potenciales de corrosión ( $E_{corr}$ ), ni en los de intensidad de corriente ( $i_{corr}$ ), ya que sus valores para ambos parámetros se encuentran en



# 3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008



**Chihuahua; Chih. México**

**Del 12 al 14 de Noviembre**

rangos que van desde niveles despreciables hasta moderados de corrosión, esto se le puede atribuir también a la baja agresividad atmosférica que prevalece en el lugar.

## **REFERENCIAS**

1. Castro, P., (et al) (1998), Corrosión en Estructuras de Concreto Armado. Teoría, Inspección, Diagnostico, Vida útil y Reparaciones, 1ª edición, IMCYC, México (1998)
2. Andrade, C.(1988), Manual de Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras, CSIC, Madrid, España.
3. Andrade, C. (1993), "Calculation of Chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements". Cement and Concrete Research, 23, 724-742.
4. American Society for Testing and Materials, (1991), *ASTM C 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. ASTM, Philadelphia, USA.
5. Oladis Trocónis de Rincón y Miembros de la Red Durar.(1998), "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado". CYTED. ISBN 980-296-541-3 Maracaibo, Venezuela. 1997(1era. Edición). 1998, 2da. Edición.
6. ISO 9223.(1991), "Corrosion of metals and alloys. Guiding values for the corrosivity categories of atmospheres".
7. Olguin Coca F.J., Almeraya C.F. (et al) Portugaliae Electrochimica Acta 22 (2004) 321-334
8. Rodríguez R.M., Almeraya C.F (et al) Revista de Ingeniería de Construcción Vol. 20 No. 2 Agosto 2005.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo económico al Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV), CONACYT. Así mismo también se agradece a los técnicos académicos de Ambiental del CIMAV (Ing. Elías Ramírez, M.C. Alfredo Campos. M.C.. Daniel Lardizabal).