

## Caracterización del comportamiento electroquímico en concreto reforzado con el uso de residuo minero Jal

J. J. Mejia Briseño<sup>1</sup> F. J. Olguin Coca<sup>1,2 \*</sup>, L. D. López León<sup>1</sup>, I. Castañeda Robles<sup>1</sup>, L. Lizarraga Mendiola<sup>1</sup>, F. Almeraya Calderon<sup>3</sup>, J.A. Cabral Miramontes<sup>3</sup>, A. Carreño Avila<sup>1</sup>, M. A. Baltazar Zamora<sup>4</sup>, E. Sanchez Murillo<sup>2</sup>, E. Hernandez Perez<sup>2</sup>

\* [olguinc@uaeh.edu.mx](mailto:olguinc@uaeh.edu.mx)

<sup>1</sup> CA Construcción Sostenible y Desarrollo de Materiales, AAI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, México

<sup>2</sup> Ciencias de la Tierra, Instituto Tecnológico de Pachuca, [1]Pachuca, México

<sup>3</sup> CIIIA, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Xalapa, México

### RESUMEN

El estudio de la corrosión en estructuras de concreto reforzado empleando agregados naturales es de vital importancia para caracterizar su durabilidad. En el presente trabajo se realizó la caracterización electroquímica de especímenes de concreto reforzado empleando jal como sustituto de arena. Para esto, se emplearon diferentes relaciones a/c (0.40, 0.50 y 0.60); de igual manera se realizaron concretos con arena de banco; además, se empleó la técnica de impedancia electroquímica para determinar la velocidad de corrosión. se realizó la comparación de los distintos sistemas evaluados, los cuales se sometieron a un medio salino sintético para acelerar el proceso de corrosión, empleando una cámara de niebla salina a diferentes tiempos de exposición de las probetas evaluadas.

**Palabras clave:** Corrosión, Jales, Electroquímica, Durabilidad

### ABSTRACT

The study of corrosion in reinforced concrete structures using natural aggregates is of vital importance to characterize their durability. In the present work, the electrochemical characterization of reinforced concrete specimens was carried out using jal as a substitute for sand. For this, different a / c relationships were used (0.40, 0.50 and 0.60); in the same way concretes were made with bank sand; In addition, the electrochemical impedance technique was used to determine the corrosion rate. The different evaluated systems were compared, which were subjected to a synthetic saline medium to accelerate the corrosion process, using a saline mist chamber at different exposure times of the evaluated specimens.

**Keywords:** Corrosion, Jales, Electrochemical, Durability

## 1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país en gran medida los avances tanto científicos como tecnológicos están encaminados a la generación de nuevos productos conjuntamente con el establecimiento de nuevos procesos que garanticen un desarrollo sustentable, los cuales involucran sin dejar duda alguna a todas las áreas del conocimiento. En el campo de la ingeniería civil no hay excepciones ya que también se debe cumplir con la función esencial de fomentar la producción de nuevos materiales además de desarrollar esquemas tecnológicamente adecuados que aseguren un mejor empleo de los recursos naturales igualmente hay que asegurarse de que los procesos de producción y transformación de estos recursos satisfagan las necesidades de una comunidad cada vez mas demandante.

El inicio del concreto armado ocurrió en la segunda mitad del siglo XIX con la introducción del acero como material de refuerzo al concreto, hecha por Lambot en 1855 en la construcción de barcos de ferrocemento; ya en 1897 Hennebique construyó la primer estructura de concreto reforzado en Gran Bretaña en el Molino de Weaver [1].

Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constructivos, agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes, micro sílice, ceniza volante) [2].

El incorporar materiales cementantes suplementarios al cemento Pórtland (mezclas ternarias) presenta grandes ventajas, debido a que desarrolla excelentes propiedades mecánicas y características de larga durabilidad [3].

La corrosión del acero embebido en el concreto, es un proceso electroquímico en el cual se desarrolla un ánodo donde se produce oxidación y un cátodo donde se produce reducción. El proceso de corrosión puede ser ocasionado por diversos factores, uno de esos factores son los sulfatos los cuales forman parte de las sales inorgánicas que normalmente están presentes en el terreno, en las aguas freáticas y superficiales, aunque su grado de concentración puede ser muy variable [4,5]. La presencia de sulfatos en el agua que está en contacto con una pasta endurecida de cemento, puede incrementar considerablemente solubilidad de los componentes de dicha pasta y causar, por una parte el desarrollo de la degradación del concreto por lixiviación y por otra parte el acero queda desprotegido y es ahí donde se desencadena el proceso de corrosión [6,7].

El material residuo de proceso de extracción de materiales de mina (jal), genera un contaminante muy importante en la cd. de Pachuca, el interés de esta investigación es poder aprovecharlo en la fabricación de elementos de concreto reforzado, con el fin de determinar las propiedades mecánicas así como su comportamiento electroquímico en el refuerzo de la varilla de acero en un sistema acero-concreto.

## 2. PROCEDIMIENTO

Los principales parámetros a considerar para la realización de la presente investigación son:

1. Mezcla de concreto con  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ .
2. Dos tipos de cemento CPC 30 R y CPO 30R RS.
3. Acero al carbono AISI 1018, diámetro de 3/8".
4. Cuatro medios de exposición (arena contaminada con: 0, 1, 2 y 3% de  $\text{Mg}_2\text{SO}_4$ ).

5. Monitoreo de potenciales e interpretación de acuerdo a Norma ASMT C876- 09[8].
6. Monitoreo de velocidad de corrosión con la técnica de Rp ASTM [9]

## 2.1 Diseño y proporcionamiento de la Mezcla de Concreto

El diseño de las mezclas de concreto, se realizo de acuerdo al método del ACI 211.1[10]; para el cual se debe hacer la caracterización de las propiedades físicas de los agregados a utilizar, con base a la Normativa ONNCCE, posteriormente con el método del ACI se hace el proporcionamiento para determinar la cantidad de material necesario para elaborar un metro cubico de concreto; en la siguiente tabla se muestra las cantidades empleadas.

Tabla 1. Dosificación de la mezcla de concreto.

CONTENIDO KG/M <sup>3</sup>	CONCRETO CON F' C=350 KG/M <sup>3</sup>
<b>CEMENTO</b>	456
<b>AGUA</b>	205
<b>AGREGADO GRUESO</b>	995
<b>AGREGADO FINO O JAL</b>	562

## 2.2 Características y Especificaciones de los especímenes de estudio

Como anteriormente se menciona se emplearon dos tipos de acero de refuerzo, acero al carbono AISI 1018 de 3/8", en el centro de los especímenes se coloco una barra de acero inoxidable la cual funciona como electrodo auxiliar. Las dimensiones de los especímenes y el arreglo de las barras embebidas en ellos se observa en la Figura 1.

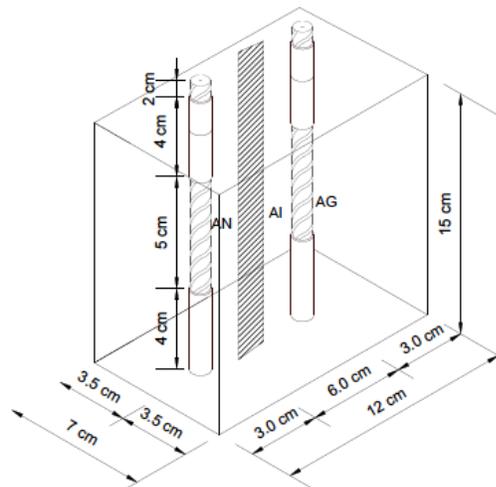


Figura 1. Dimensiones de los especímenes de prueba.

Las varillas de acero normal fueron limpiadas para retirar cualquier impureza que en ellas estuviese presente, posteriormente se delimito el área a evaluar y el resto se cubrió con una pintura anticorrosiva.



Figura 2. Varillas pintadas a utilizar.

La fabricación de los especímenes de prueba se realizo de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-159-2004. A cada uno de los especímenes se le asigno una nomenclatura, en función de sus variables, la cual se muestra en la tabla 2.

Se fabricaron tipos de especímenes:

- □ □ 25% de jal
  - □ □ 50% de jal
  - □ □ 75% de jal
  - □ □ 100% de jal
  - □ □ Agregados de banco
- Y 2 relaciones a/c 0.40 y 0.60

Tabla 2. Nomenclatura de especímenes de prueba.

<b>Nomenclatura Empleada</b>				
0J40C	50J40C	75J40C	100J40C	25J40C
25J60C	50J60C	75J60C	100J60C	0J60C

Los especímenes después de haber sido elaborados y descimbrados se sometieron a la etapa de curado durante 28 días como lo indica la norma, NMX-C-403-ONNCCE-1999.



Figura 3. Curado de especímenes.

Los especímenes fueron expuestos a la cámara de niebla salina (marca Ascott modelo S120s) utilizando el método que establece la norma ASTM B117 por periodos de 24 horas en dos ciclos, al igual se les realizó un monitoreo empleando la técnica electroquímica para determinar potenciales de corrosión y velocidad de corrosión.

En dado caso de que las figuras sean gráficas tener claro que los títulos del eje horizontal como vertical deben estar escritos en el idioma del artículo y en Times New Roman a 12pts, al igual que todo el texto que se le incluya a las imágenes.

Toda figura o tabla que no sea propia y sea tomada de otro artículo de revistas, libros, tesis o memorias, deberán de darles el crédito correspondiente (referenciarlas en el texto debajo de la figura o tabla).

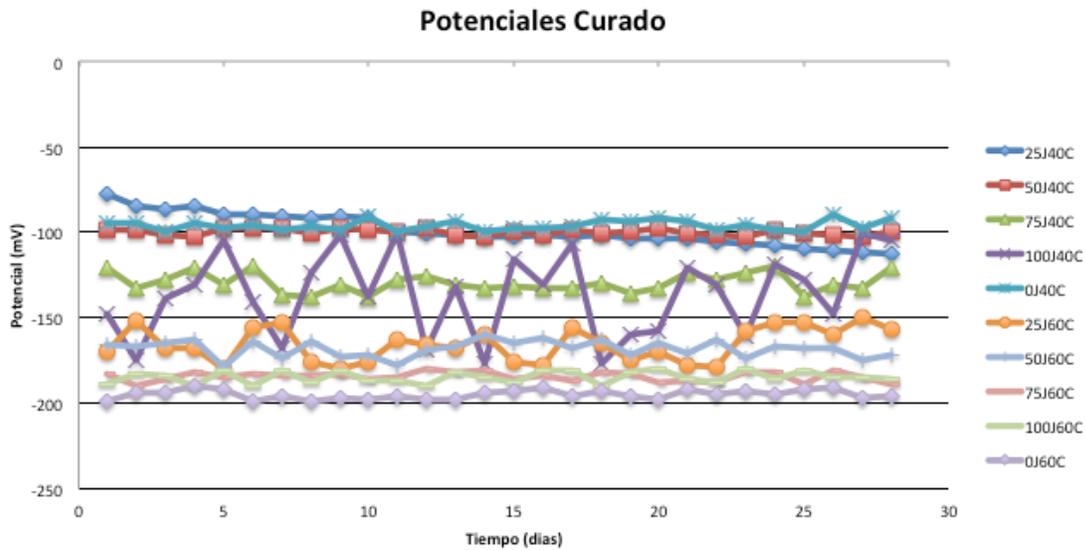
### 3. RESULTADOS

El monitoreo y la interpretación de los potenciales de corrosión se realizó con base a lo establecido en la Norma ASTM C876-09, que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

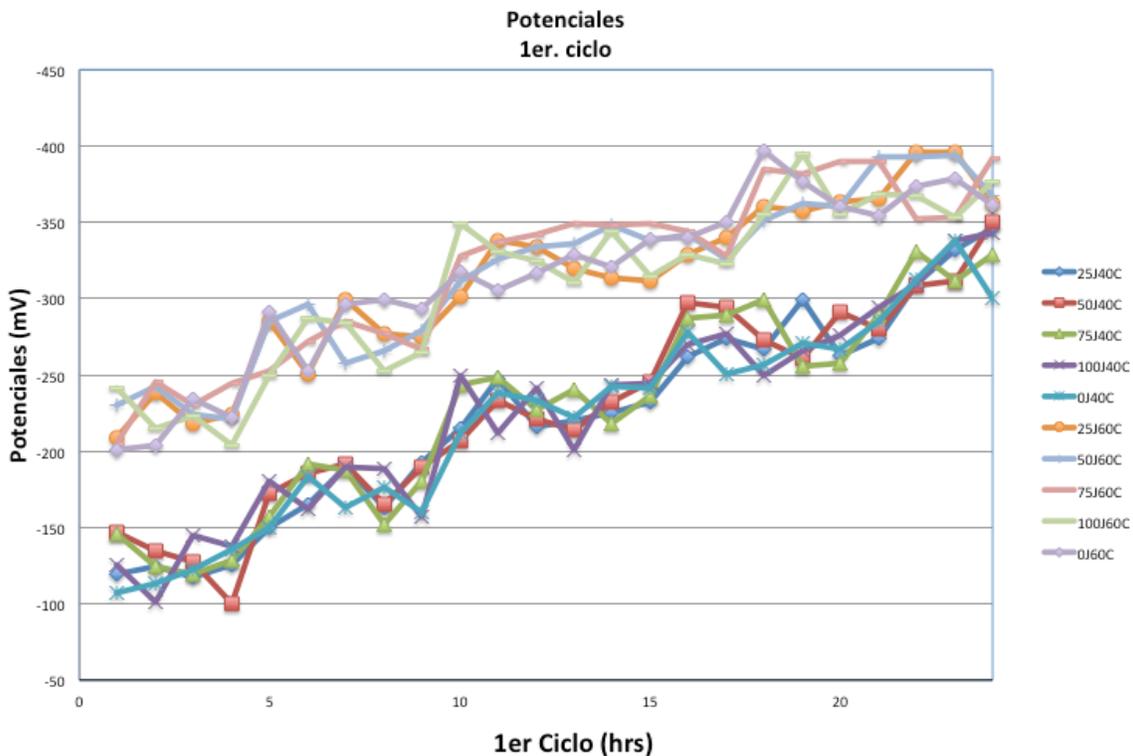
<b>Potenciales de corrosión</b>	
<b>mV vs Cu/CuSO4</b>	
<b>&lt; - 500</b>	Corrosión Severa
<b>&lt; -350</b>	90% de Probabilidad de Corrosión
<b>-350 a -200</b>	Incertidumbre
<b>&gt; -200</b>	10% de Probabilidad de Corrosión

En la grafica 1 se muestran los potenciales de corrosión en la etapa de curado donde se observa que los especímenes se encuentran en la zona de potenciales menores de -200 mV con un 10 % de probabilidad de corrosión.



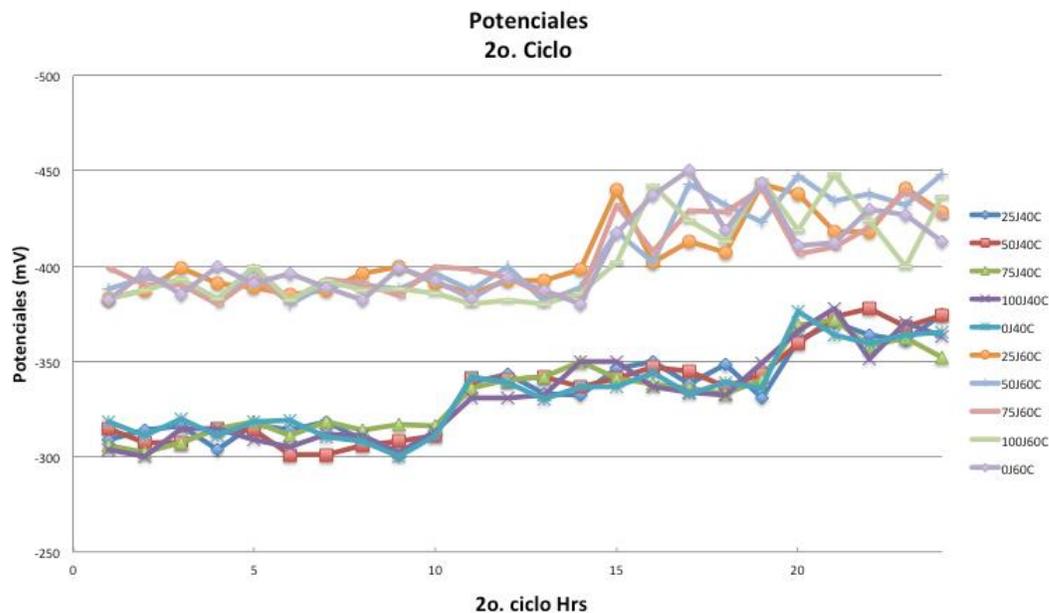
Grafica 1 Potenciales de corrosión en etapa de curado

En la grafica 2 se muestran los potenciales en las horas de exposición en la cámara salina donde se observa un incremento del porcentaje de corrosión después de la etapa de curado, el comportamiento de los potenciales en los especímenes de relación a/c 0.40 indican un incremento del potencial a zonas mas activas a un 90 % de probabilidad de corrosión, mientras que los de relación a/c 0.60 se conservan en una zona de incertidumbre.



Grafica 2 Potenciales de corrosión en el 1er ciclo

En la grafica 3 se muestra los potenciales en el 2o ciclo en la cámara salina se muestra los potenciales de media celda, se observa como los especímenes se encuentran en la zona de 90 % de probabilidad de corrosión por lo que muestra que los residuos de material de mina (Jal) se comportan de manera semejante que si se empleara arena de banco.



Grafica 3. Potenciales de corrosión en el 2o ciclo

### Velocidad de corrosión

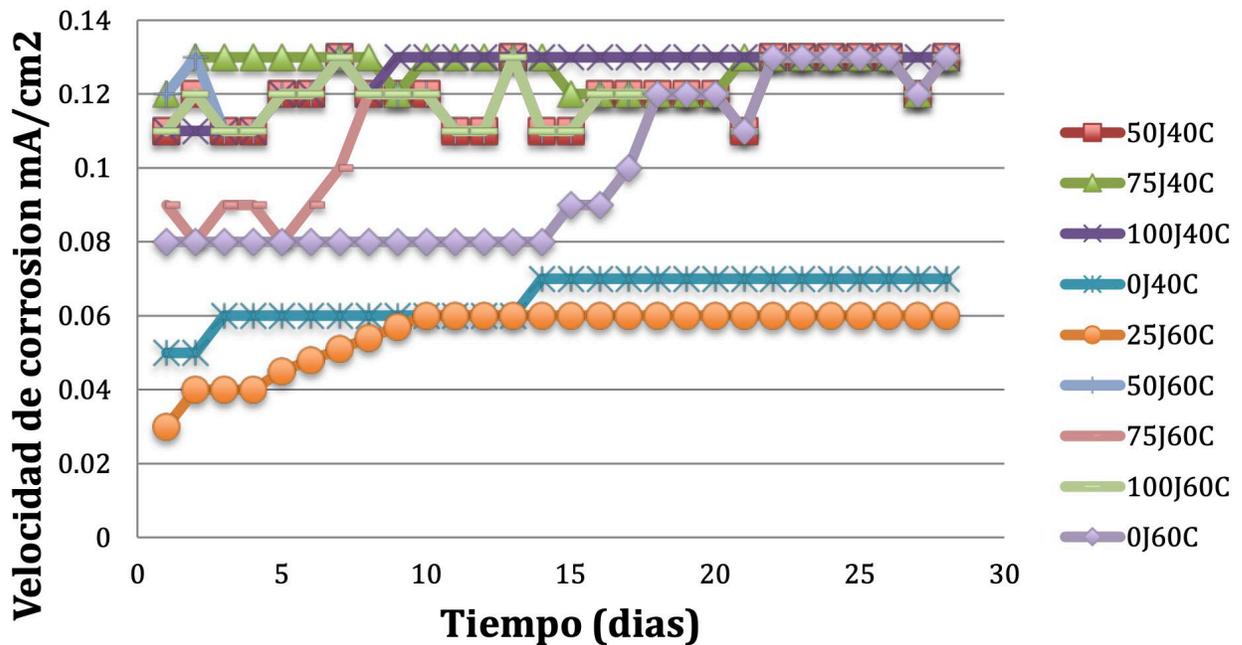
Las graficas 4 a 6 muestran el comportamiento de la velocidad de corrosión del acero 1018 durante la etapa de curado y los ciclos de la cámara salina. La interpretación de los valores de icorr se realizó con base los rangos establecidos en el manual de la red DURRAR, tabla 4.

Tabla 4. Valores de icorr para la determinación de la velocidad de corrosión

Velocidad de corrosión	
$\mu\text{A}/\text{cm}^2$ vs Cu/CuSO4	
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderada
0.5 – 1	Elevada
>1	Muy Elevada

En la grafica 4 se observa el proceso del comportamiento de la velocidad de corrosión empleando la técnica de resistencia a la polarización, donde se observa una velocidad un velocidad de corrosión con mayor actividad en los especímenes con material con jal, de igual forma se observa que los especímenes se encuentran en una velocidad de corrosión despreciable siendo que los especímenes están en la etapa de curado.

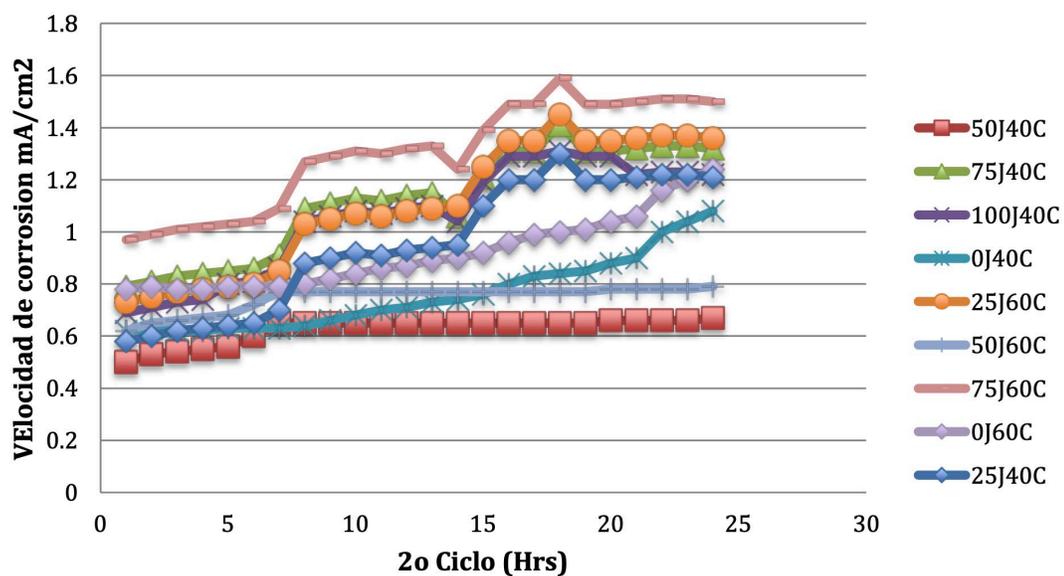
## Velocidad de corrosión



Grafica 4 Velocidad de corrosión en la etapa de curado.

En la grafica 5 donde se observa la velocidad de corrosión en los especímenes en el 2o ciclo expuestos en la cámara salina se observo un incremento en la velocidad de corrosión y generándose una pasivación en los especímenes con 50% de Jal y un aumento en la velocidad de corrosión en los especímenes con rel. a/c de 0.60 pero mostrando de igual forma un periodo de pasivación en los especímenes con 50% de jal.

## Velocidad de corrosión



Grafica 5 Velocidad de corrosión en 2o ciclo de cámara salina

## 4. CONCLUSIONES

El reciclado de material de mina (jal) aporta en un 50% una protección contra la corrosión de manera preliminar al combinarse con materiales de banco de material calizo.

El material estudiado presenta un comportamiento muy similar al material de banco en su comportamiento corrosivo, el material presenta una actividad corrosiva cuando se emplea al 100% debido a los componentes químicos que lo contiene.

La velocidad de corrosión se presentó como una corrosión elevada debido a que los resultados presentan valores entre 0.5 y 1.0  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , en estudios posteriores se realizara los estudios con ruido electroquímico para conocer la evolución del material y su deterioro.

## 5. REFERENCIAS

- [3] R.E. Núñez, C. Gaona-Tiburcio, J. Uruchurutu, C. P. Barrios, F. Almeraya- Calderón y A. Martínez-Villafañe, Corrosion Evaluation of Modified Reinforcement Concrete by Electrochemical Noise Techiques, Portugalie Electrochimica, Acta 23 (2005).
- [4] E.E. Maldonado-Bandala y et al. “Electrochemical Characterization of Modified Concretes with Sugar Cane Bagasse Ash” International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6., Pág. 4915-4926, Rep. de Serbia, 2011.
- [5] E.P. Reyes-Díaz y et al. “Corrosion Behavior of Steel Embedded in Ternary Concrete Mixtures” International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6, Pág. 1892-1905, Rep. de Serbia, 2011.
- [1] P. Castro-Borges, M. Castillo, J. Carpio, J. Genescá, P. Helene, W. López, J. Pazini, A. Sanjuán y L. Véleva, Corrosión en estructuras de concreto armado, IMCYC, México (2001).
- [2] A. H. Nilson, Diseño de estructuras de concreto, Mc. Graw Hill, Colombia, (1999).
- [6] ACI. Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, p. 29. Ed. IMCYC, México (2004).
- IMCYC, México (2004).
- [7] Baltazar Zamora M.A., Corrosión por Sulfatos en Concreto Reforzado, Tesis de Maestría, U.A.CH, 2000.

### *Memorias en Congresos:*

- De Coss, R., Murrieta, G., Castro, P. (1998). “*Effect of weather cycles on chloride diffusion in*”
- [9] M. A. Baltazar-Zamora y et al. “Efecto del tipo curado en la probabilidad de corrosión de concreto con acelerante expuesto a un medio urbano y marino”. CONGRESO ALCONPAT 2010, Xalapa, Ver; México. (2010).

- [8] Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete, ASTM C 876-09, ASTM Volume 03.02, (2009).
- [11] ASTM B117