COMPORTAMIENTO DE LA CORROSIÓN Y RESISTENCIA MECÁNICA DE CONCRETO CONTAMINADO CON 2 Y 4% DE NaCl.

Miguel A. Baltazar Zamora[1], Demetrio Nieves[1], Erick Maldonado[1], Carlos Barrios[2], Rosa Núñez[2], Heidi Hervert[3], Facundo Almeraya[4], Yarelys Martín.[5]*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 559-564

COMPORTAMIENTO DE LA CORROSIÓN Y RESISTENCIA MECÁNICA DE CONCRETO CONTAMINADO CON 2 Y 4% DE NaCl.

Miguel A. Baltazar Zamora[1], Demetrio Nieves [1], Erick Maldonado[1], Carlos Barrios [2], Rosa Núñez [2], Heidi Hervert[3], Facundo Almeraya [4], Yarelys Martín.[5]*

1: Facultad de Ingeniería Civil-Xalapa, Universidad Veracruzana, Xalapa Ver., México.
2: Facultad de Ingeniería- Los Mochis. Universidad Autónoma de Sinaloa. Los Mochis, Sinaloa, México
3: Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Tamaulipas, México.
4: Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Chihuahua, Chih., México.
5: Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Área de Química. La Habana, Cuba

** E-mail: mbaltazar@uv.mx*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

Se evaluó el comportamiento electroquímico y mecánico de especimenes de concreto limpio y contaminado con 2 y 4% de NaCl (de la cantidad de agua), elaborados con dos tipos de cemento Compuesto e Impermeable, la dosificación de la mezcla de concreto fue en base a peso con dos relaciones agua/cemento 0.45 y 0.65. Los especimenes de estudio se expusieron en dos medios: agua limpia y solución al 3% de NaCl. La prueba para evaluar la presencia de corrosión del acero de refuerzo, fue el monitoreo de potenciales de media celda como lo indica la norma ASTM C-876-91, para el comportamiento mecánico se realizó la prueba a la compresión, norma ASTM C-39/C 39 – M - 99. El presente trabajo presenta los resultados de los primeros 4 meses de monitoreo, no se presenta una influencia importante del grado de contaminación del concreto expuesto, identificándose la influencia negativa del ataque de los cloruros en la corrosión del acero y en sus propiedades mecánicas.

Palabras Claves: *Concreto, Corrosión, Acero de refuerzo, Potencial de Corrosión, Cloruros*

Abstract

Was evaluated the electrochemical and mechanical behavior of specimens of concrete clean and contaminated with 2 and 4% of NaCl (of the weight of cement), elaborated with two types compound and waterproofe cement, the metering of the mixture of concrete was on the basis of weight with two rations water/cement 0,45 and 0.65. The study specimens were exposed in two means: clean water and solution to 3% of NaCl. The test to evaluate the presence of corrosion of the reinforcement steel, was the monitored of half cell potentials as it indicates norm ASTM C-876-91, for the mechanical behavior was made the compression test, norm ASTM C-39/C 39 - M - 99. This paper presents the results of the first 4 months of monitoring; there is no significant influence of level contaminated of the exposed concrete, identifying the negative influence of the attack of chlorides in the corrosion of steel and its mechanical properties.

Keywords*: Concrete, Corrosion, Reinforcement Steel, Corrosion Potential, Chlorides.*

1. NTRODUCCIÒN

La corrosión del acero de refuerzo es la causa más importante del deterioro prematuro de las estructuras de concreto reforzado [1]. E**s**tudios en E.U.A por parte de la NACE muestran que para 1998 en el territorio estadounidenses tan solo en lo que se refiere a puentes, los cálculos de costos directos anuales ascendían a US $3.800 millones[2]. El costo del ciclo de vida se ha convertido en un factor muy importante para los ingenieros constructores y profesionales en reparación, así como para las dependencias responsables de las estructuras, muelles, puentes, etc., esto debido al incremento en gastos de mantenimiento y reparación anticipadas[3].

El acero embebido en concreto se encuentra protegido contra la corrosión por pasivación, debida a la alcalinidad del agua en la solución de poros del

concreto que va de pH=12.2 o más grande. La alta alcalinidad del medio de un concreto de buena calidad hace que se forme una película pasiva sobre la superficie del acero embebido, la cual normalmente previene la disolución del acero[4]. Sin embargo, debido al comportamiento como una membrana semipermeable del conrceto se da el ingreso de sustancias o iones agresivos (cloruros, sulfatos) [5][6]. Estas sustancias agresivas, principalmente los cloruros y el pH del medio son de los parámetros que juegan un papel importante en el fenómeno de la corrosión[7].

Cuando las condiciones de servicio cambian y el concreto se altera, o a través de el penetran sustancias agresivas, de las cuales la penetración de los iones cloruro se considera la más importante [8]**,** la corrosión de las varillas se desencadena con una triple consecuencia: El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido

debido a las presiones que ejerce el óxido al generarse, el concreto puede fisurarse o desintegrarse la adherencia varilla-concreto disminuye o desaparece.

Para muchos investigadores el parámetro más importante que activa la corrosión en el acero de refuerzo es la concentración de cloruros libres, totales o por la relación (Cl^-/OH^-), pero hay que tener en cuenta que en el inicio de la corrosión influyen diferentes factores como lo son los proporcionamientos del concreto, el tipo de cemento, calidad de los agregados, relación agua/cemento, humedad relativa, condiciones de la superficie, medio ambiente entre otros [9]**.**

Se han estudiado acciones correctivas como uso de inhibidores de corrosión, cubierta epóxica de las varillas, removimiento electroquímica de los cloruros, y que en ocasiones han fallado en proveer protección satisfactoria para el acero de refuerzo [10], el utilizar un cemento especial de tipo impermeable se considera una acción preventiva para estructuras que estén expuestas a medios agresivos, como muelles, puentes, edificios, lo que traería como resultado un periodo de vida útil o de servicio mayor y con ello una reducción en los costos de mantenimiento preventivo y correctivo.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales para la elaboración del concreto

Cemento CPC 30R y Cemento CPC 30R Impermeable [11]**.**

Agregado Grueso: Grava volcánica de 24mm,

Peso específico (Ss) = 2.76, Absorción =0.5%

Agregado fino: Arena cuarzosa, Modulo de Finura (MF)= 3.5,

Peso específico (Ss)= 2.63, Absorción= 2.2 %

Agua: Potable

2.2 Diseño de mezclas y elaboración de especimenes

Se diseñaron dos diferentes mezclas de concreto con relación agua/cemento = 0.45 y 0.65 [12], la tabla 1 muestra la dosificación de ambas. Los especimenes de concreto (cilindros 15x30cm), se elaboraron en base a las Normas ASTM C470-87 y C192-81.

Tabla 1. Dosificación de las mezclas de concreto

Materiales Kg	*Rel. a/c 0.45*	*Rel. a/c 0.65*
Agua	204	204
Cemento	456	316
Grava	477	477
Arena	1269	1415

2.3 Características del acero de refuerzo

En cada espécimen se embebió una varilla corrugada de acero 1018 de 3/8" de diámetro, como electrodo de trabajo, colocándoles una franja de 5 cm. de cinta de fluorocarbono en la parte superior, para evitar que se presenten zonas de aeración diferencial, concentración de sales o corrosión por hendidura [13], además se pintaron con pintura epóxica para tener un área determinada susceptible a la corrosión, ver figura 1.

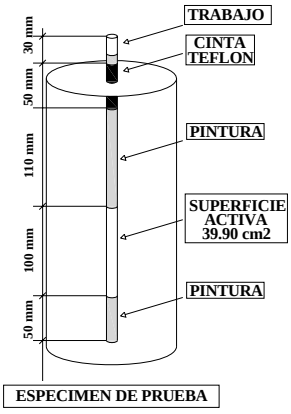


Figura 1. Espécimen de concreto

2.4 Descripción de la nomenclatura

Para la identificación de los diferentes parámetros de estudio, se asignó una nomenclatura a los especimenes para el monitoreo de corrosión (tabla 2, y otra a los especimenes para evaluar su comportamiento mecánico (tabla 3), como se indica a continuación:

Tabla 2. Nomenclatura especimenes para evaluar la corrosión

Relación a/c=0.45		*Relación a/c=0.65*	
4IBC	4PBC	6IBC	6PBC
4IBL	4PBL	6IBL	6PBL
4I2C	4P2C	6I2C	6P2C
4I2L	4P2L	6I2C	6P2L
4I4C	4P4C	6I4C	6P4C
4I4L	4P4L	6I4L	6P4L

4 y 6 indica la relación a/c, 0.45 y 0.65.

I y P se refiere al tipo de cemento, impermeable y normal compuesto respectivamente.

B indica un concreto limpio, el 2 un concreto contaminado con 2% de NaCl y el 4 un concreto contaminado con el 4% de NaCl.

C y L representan los medios de exposición, C para un medio contaminado con 3% de NaCl y L para un medio limpio.

Tabla 3. Nomenclatura especimenes resistencia a la compresión

Relación a/c=0.45		*Relación a/c=0.65*	
4IB-7	4PB-7	6IB-7	6PB-7
4IB-28	4PB-28	6IB-28	6PB-28
4IB-90	4PB-90	6IB-90	6PB-90
4I2-7	4P2-7	6I2-7	6P2-7
4I2-28	4P2-28	6I2-28	6P2-28
4I2-90	4P2-90	6I2-90	6P2-90
4I4-7	4P4-7	6I4-7	6P4-7
4I4-28	4P4-28	6I4-28	6P4-28
4I4-90	4P4-90	6I4-90	6P4-90

4 y 6 indica la relación a/c, 0.45 y 0.65.

I y P se refiere al tipo de cemento impermeable y normal compuesto, respectivamente.

B indica un concreto limpio, el 2 un concreto contaminado con 2% de NaCl y el 4 un concreto contaminado con el 4% de NaCl.

7, 28 y 90 indican días en que fueron ensayados a la compresión.

2.5 Arreglo de la celda electroquímica

Los especimenes estuvieron expuestos en dos medios agua limpia de la red y el agresivo, solución al 3 % de NaCl, los resultados que se presentan son de los primeros 4 meses de experimentación, un mes de etapa de curado y 3 meses de exposición, los potenciales de corrosión o de media celda se midieron en base a la norma ASTM C-876-91[14], se utilizó un electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, $Cu/CuSO_4$, el arreglo experimental se muestra en la figura 2.

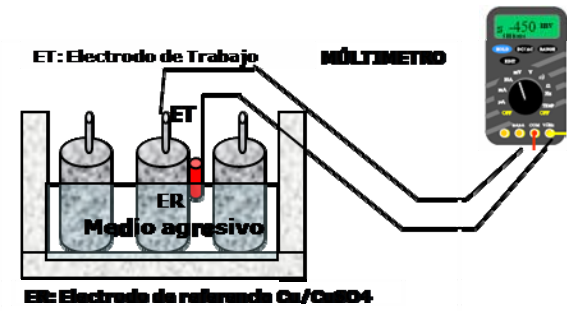


Figura 2. Celda Electroquímica de Experimentación

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resistencia a la compresión

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión axial sin confinamiento de acuerdo con ASTM C39-03 [15], a los 7, 28 y 90 días, los resultados se presentan en las siguientes figuras. Se observa que los concretos contaminados con 2 y 4 % de NaCl, sufrieron una disminución en su resistencia a la compresión de más del 20% en ambas relaciones a/c 0.45 y 0.65, tanto para el cemento compuesto normal como para el impermeable. Esta disminución es muy significativa dado que es el parámetro que rige hasta estos momentos el diseño de las estructuras de concreto reforzado que se edifican alrededor del mundo.

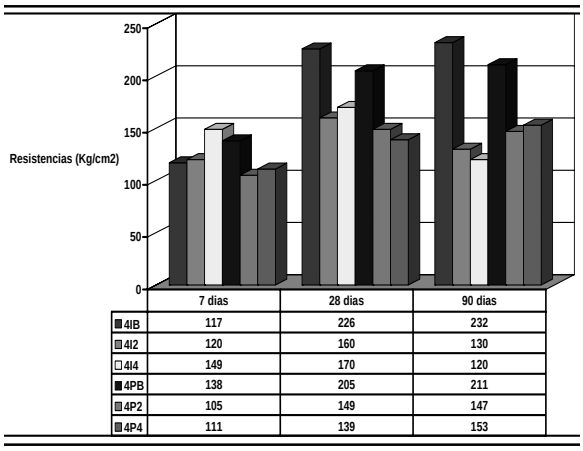


Figura 3. Resistencia a la compresión concreto relación a/c = 0.45

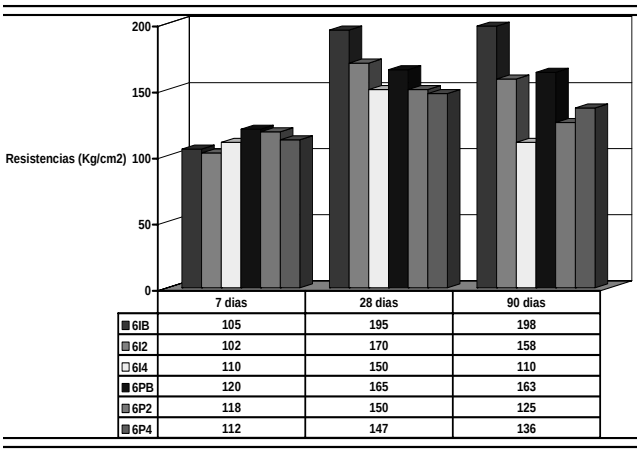


Figura 4. Resistencia a la compresión concreto relación a/c = 0.65

3.2 Potenciales de Corrosión

El monitoreo de potencial de media celda en los especimenes fue en la zona del centro como lo recomienda la literatura [16]. La interpretación de los valores de los potenciales de corrosión fue en base la Norma ASTM C876-91, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Potenciales de corrosión en concreto reforzado.

Potenciales de corrosión Norma ASMT C876-91	
Potenciales más positivos que -200 mV	Riesgo de que ocurra corrosión es del 10%;
Si esta entre –200 y –350 mV	se tiene una incertidumbre
Si son más negativos que –350 mV	se tendrá una probabilidad del 90% de que se esté corroyendo el acero

En la figura 5, se observa una tendencia de todos los especimenes de presentar potenciales de corrosión que nos indican de acuerdo a la norma ASTM C-876-91 incertidumbre de que se este desarrollando la corrosión, teniendo los especimenes de relación 0.45 los valores más positivos, indicando un mejor comportamiento que los de 0.65.

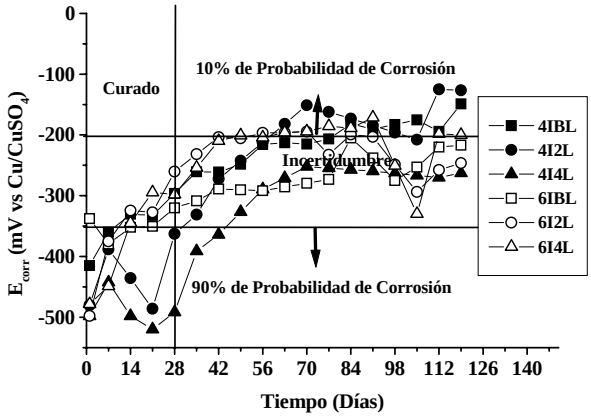


Figura 5. Especimenes cemento impermeable expuestos en un medio limpio.

En la figura 6, se observa la influencia determinante del medio agresivo, presentando una tendencia en todos los especimenes, después de la etapa de curado a valores de potenciales más negativos conforme al paso del tiempo, ubicándolos en una rango que nos indica un 90% de probabilidad de corrosión de acuerdo a ASTM C-876-91, se puedo observar también que los especimenes con valores menos negativos son los de relación 0.45, son más resistentes al efecto del medio agresivo.

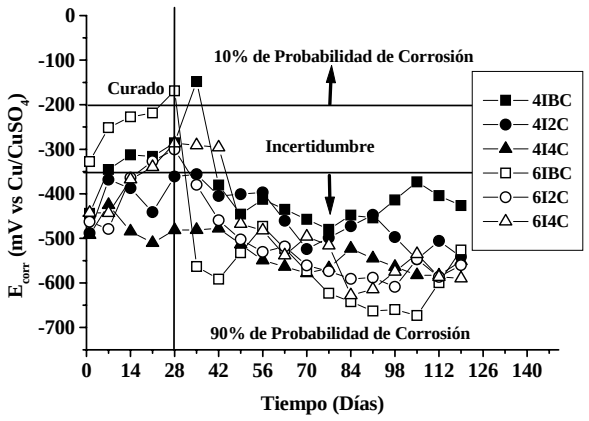


Figura 6. Especimenes cemento impermeable expuestos en un medio al 3% de NaCl

En la figura 7, se observa una tendencia de todos los especimenes a presentar valores de de potenciales de corrosión más positivos conforme transcurre el periodo de exposición, con un comportamiento muy homogéneo de todos ellos y ubicándolos de acuerdo a la norma ASTM C-876-91 con una probabilidad de corrosión del 10%, no se observa alguna influencia del tipo de cemento o del grado de contaminación del hormigón hasta este punto de la experimentación.

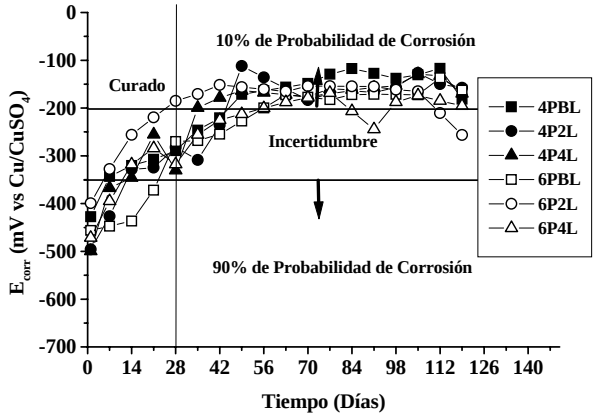


Figura 7. Especimenes cemento ordinario expuestos en un medio limpio.

En la figura 8, se observa también como en los especimenes de cemento impermeable, la influencia determinante del medio agresivo, presentando una tendencia en todos los especimenes, a presentar valores que nos indican 90% de probabilidad de corrosión, si bien dos de ellos en algún lapso de la experimentación presentaron potenciales más nobles, al final del periodo reportado caen en valores más negativos indicando la presencia del fenómeno de corrosión.

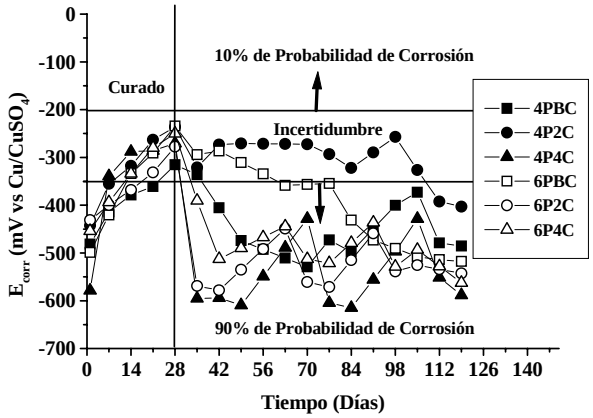


Figura 8. Especimenes cemento ordinario expuestos en un medio al 3% de NaCl.

4. CONCLUSIONES

Potencial de corrosión:

Los especimenes de cemento impermeable expuestos a un medio limpio reportan potenciales que indican incertidumbre de que exista corrosión, de acuerdo a la norma ASTM C-876-91, se observa poca influencia del grado de contaminación de ambos concretos. Los especimenes de cemento compuesto normal presentan un comportamiento mejor y más homogéneo que los de cemento impermeable, ubicándolos en un 10% de probabilidad de corrosión de acuerdo a la norma y observando casi nula la influencia de la relación a/c y el grado de contaminación del concreto.

Los especimenes de cemento impermeable y expuestos a una solución al 3% de NaCl (medio agresivo) reportan todos con el paso del tiempo, potenciales que indican un 90% de probabilidad de corrosión, esto en base a la norma ASTM C-876-91, se observa poca influencia del grado de contaminación de ambos concretos, teniendo los valores mas negativos los especimenes de relación a/c=0.65. Los especimenes de cemento compuesto normal presentan también al transcurrir el tiempo de exposición valores más negativos ubicando todos los especimenes con una probabilidad de corrosión del 90%.

Resistencia mecánica:

La mayor resistencia a la compresión la presentaron los especimenes de relación a/c = 0.45, teniendo mayor resistencia los especimenes elaborados con el cemento impermeable.

La resistencia en los especimenes de relación a/c= 0.45 contaminados con 2% de NaCl, disminuye entre un 31% a 44% y en los especimenes de a/c= 0.65 entre un 25% a 20%.

La resistencia en los especimenes de relación a/c= 0.45 contaminados con 4% de NaCl, disminuye de 30% a 49 % y en los especimenes de relación a/c de 0.65 la resistencia disminuye de 20% a 45%.

El parámetro determinante en el presente estudio fue el medio agresivo influyendo directamente en la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo y disminuyendo la resistencia a la compresión de ambos concretos.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a PROMEP por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto de investigación, autorizado por la SES mediante oficio no. PROMEP/103.5/07/2753. con cargo a el "Proyecto de Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo PROMEP".

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Li, C.Q., Melchers, R.E., Lawanwisut, W. Magazine of Concrete Research; Vol. 57,2005 , p557

Supplement to Materials Performance, 4, Julio 2002

[2] Ping Gu, S. Elliot, J.J. Beaudoin and B. Arsenault, "Corrosion Resistance of Stainless Steel in Chloride Contamined Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 8, pp. 1151-1156, (1996).

[3] G.S. Duffó, W. Morris, I. Raspini, C. Saragovi, " A study of steel rebars embedded in concrete during 65 years", Corrosion Science, 46, pp. 2143-2157, (2004).

[4] Andrade C. Revista Iberoamercana de Corrosión y Protección, Vol XV. No. 4, 1984.

[5] S.C. Kranc and A.A. Sagües; Polarization Current Distribution and Electrochemical Impedance Response of Reinforced Concrete When Using Guard Ring Electrodes, Electrochemica Acta, Vol. 38, No. 14 pp. 2055-2061, (1993).

[6] C. Andrade, Matériaux et Constructions, RILEM 29, pp. 40-46, 97-104, (1996).

[7] Oladis Trocónis de Rincón y Miembros de la Red DURAR. "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).

[8] C. Alonso, C. Andrade, M. Castellote and P. Castro, "Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in standardized OPC mortar", Cement and Concrete Research, No. 30, pp. 1047-1055, (2000).

[9] Ping Gu, S. Elliot, J.J. Beaudoin and B. Arsenault, "Corrosion Resistance of Stainless Steel in Chloride Contamined Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 26, No. 8, pp. 1151-1156, (1996).

[10] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. NMX-C-414-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de prueba, 2004.

[11] Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, IMCYC 2004, pp. 29-34.

[12] Baltazar M.A., "Corrosión por Sulfatos en Concreto Reforzado", U.A.CH, 2000.

[13] Standard Test for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete, Annual Book of ASTM Standars, C876-91, Vol. 04.02, Philadelphia (1992).

[14] ASTM Standard C39/C39M-04, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, vol. 4.02

[15] Baltazar Z. M., "Comportamiento de la corrosión del acero al carbono e inoxidable embebido en concreto y en presencia de NaCl y Na_2SO_4." Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Chihuahua, Chih., México. 2005.