

## Electrochemical behavior study of AISI 304 and 316 in carbonate or chloride contaminated concrete

Valentina Millano, Miguel Sánchez, Oladis T. de Rincón, Douglas Linares y Nathalie Romero

Centro de Estudios de Corrosión, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.  
Maracaibo, Venezuela. TeleFax: +58-261-7598175. E-mail: millano\_v@yahoo.com

### Abstract

In this work the behavior of steel AISI-SAE 304 and 316 were studied in reinforced concrete, using prisms exposed in environments with chlorides, with chlorides incorporated or exposed with high contents of CO<sub>2</sub>. All of them with a a/c relation of 0.65, compressive strength of 150 Kg/cm<sup>2</sup> and they were at environments of 30 ± 5°C and 90% HR. At the same time, several electrodes of stainless steel AISI 304 were studied immersing them in pore water solution to different times and chloride ion concentrations from 1 and 2% p/p. The techniques of measurement used were: potential, linear polarization and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Stainless steel 304 and 316 reported average corrosion rates below 0.02 μA/cm<sup>2</sup>, for all the conditions evaluated in the reinforced concrete prism. Nevertheless, when comparing the values of corrosion rate obtained through EIS with those from linear polarization for the reinforcements that presented greater corrosion rates (≥0.1 μA/cm<sup>2</sup>), these were similar when the Nyquist diagram showed capacitive oxide film. On the contrary, when the corrosion rate were very low (<0.01 μA/cm<sup>2</sup>), the mathematical adjustment found limitation for the systems with high resistance polarization. The corrosion rates reported for AISI-SAE 304 in the pore water tests were greater (0.05 and 0.12 μA/cm<sup>2</sup>/1% NaCl; 0.24 and 0.05 μA/cm<sup>2</sup>/2% NaCl), after 6 and 336 hours, respectively; which indicates that the corrosion rate is increased with time of exposure for 1% of NaCl, not thus for 2%.

**Key words:** AISI304, AISI316, concrete, chloride, carbonation, EIS, LPR.

## Estudio electroquímico del comportamiento de los aceros AISI 304 y 316 en concreto contaminado con cloruros o carbonatado

### Resumen

En este trabajo se estudió el comportamiento del acero AISI 304 y 316 en concreto, utilizando probetas de concreto armado expuestas a medios con cloruros, incorporados éstos en la mezcla o expuestas a medios con alto contenidos de CO<sub>2</sub>, todas con una relación a/c de 0,65, resistencia a la compresión de 150 Kg/cm<sup>2</sup> y un medio ambiente de 30 ± 5°C y 90% HR. Adicionalmente, se evaluaron electrodos de acero AISI 304 inmersos en solución de agua de poro a diferentes tiempos de exposición y concentraciones de iones cloruro al 1 y 2% p/p base cemento. A tal efecto, se emplearon técnicas electroquímicas de medición de potencial, polarización lineal y Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS). Los aceros inoxidables 304 y 316 reportaron en promedio, velocidades de corrosión por debajo de 0,02 μA/cm<sup>2</sup>, para todas las condiciones evaluadas en las probetas de concreto armado. Sin embargo, al comparar los valores de velocidad de corrosión obtenidos a través de EIS con los de polarización lineal para los refuerzos que presentaron mayores velocidades de corrosión (≥0,1 μA/cm<sup>2</sup>), estas fueron similares donde los diagramas Nyquist análogamente mostraban la formación de óxidos poco capacitivos. Por el contrario, cuando las velocidades de

corrosión eran muy bajas ( $< 0,01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ), el ajuste matemático encontró limitación para los sistemas con elevadas resistencia a la polarización. Las velocidades reportadas para los AISI 304 en los ensayos de agua de poro fueron mayores ( $0,05$  y  $0,12 \mu\text{A}/\text{cm}^2/1\%$  NaCl;  $0,24$  y  $0,05 \mu\text{A}/\text{cm}^2/2\%$  NaCl), luego de 6 y 336 horas, respectivamente; lo cual indica que la velocidad de corrosión se incrementa con el tiempo de exposición para 1% de NaCl, no así para el 2%.

**Palabras clave:** AISI304, AISI316, concreto, cloruros, carbonatación, EIS, Rp.

## Introducción

El uso de los aceros inoxidable como refuerzos, entre los cuales están los aceros inoxidable austeníticos, ha generado diversos estudios sobre el comportamiento de éstos en concreto. No obstante, es importante acotar que el fenómeno sobre la pasivación de los aceros inoxidable es complejo, y los estudios realizados sobre el comportamiento de los aceros inoxidable austeníticos en medios que simulan al concreto, no han encontrado evidencias que respalden el fenómeno de la pasividad, como resultado solo de la formación de una simple película de hidróxidos debido al elevado pH del concreto. Es así como algunas investigaciones proponen que la película pasiva de los aceros inoxidable no siempre contiene todos los elementos aleantes (Cr, Ni, Mn, Mo) [1] y de allí la estabilidad de ésta bajo diversas condiciones.

Sin embargo, no se ha definido claramente alguna relación entre los óxidos de la película pasiva y la estabilidad o no de la misma, es decir, sin definir congruencias entre el proceso o velocidad de corrosión de los aceros inoxidable en concreto armado o en soluciones alcalinas sometidas a agentes agresivos [2]. Un modo de analizar esta situación es a través de las técnicas electroquímicas y no electroquímicas de monitoreo y ensayo convencionales, con el propósito final de comparar este fenómeno de pasividad con otros sistemas donde es claramente conocido y demostrado; como es el caso, del proceso redox que toma lugar sobre el hierro y el acero al carbono, en medios fuertemente alcalinos como los encontrados en los poros del concreto [3].

Por su parte, los aceros inoxidable teóricamente sufren diferentes formas de corrosión que toman lugar sobre la película pasiva de estos aceros, como la corrosión intergranular, corrosión bajo tensión, espacios confinados y corrosión por picaduras [4], pero es este último el que puede ocurrir frecuentemente, debido a la exposición de

estas estructuras a ambientes marino [5], donde el ion cloruro es el agente perturbador de la estabilidad de la película pasiva de los aceros inoxidable como refuerzo, por la interacción de estos iones con los óxidos de dicha película; fenómeno que aun no ha sido claramente definido en el caso de concreto, por causa de las limitaciones de las técnicas empleadas en la actualidad. Debido a que el mecanismo de pasividad es definido como una interacción dinámica y no un estado estático; lo cual explica los errores por exceso que pueden cometerse en el cálculo de los potenciales críticos de picadura, con respecto al valor real. Esto debido al uso de velocidades excesivas de polarización alcanzadas mediante métodos potenciodinámicos [4].

De aquí que la evaluación del proceso de corrosión en la superficie de los aceros inoxidable requiere de técnicas que determinen lo más exactamente posible el inicio, propagación y susceptibilidad del material a sufrir corrosión localizada por picadura, sin olvidar que el cálculo de la velocidad de corrosión se encuentra limitada al desconocer la fracción real de la superficie afectada.

Es así como se plantea estudiar el comportamiento de los aceros inoxidable austeníticos 304 y 316 en concreto carbonatado o contaminados con cloruros, en base a evaluaciones del potencial en circuito abierto y su respuesta a través de técnicas de Polarización Lineal y Espectroscopia de Impedancia Electroquímica; con la finalidad de entender mejor el proceso que se lleva a cabo sobre la superficie de estos aceros bajo las condiciones y medios de exposición planteados.

## Parte Experimental

El material evaluado como refuerzos fueron barras corrugadas de aceros inoxidable austeníticos AISI-SAE 304 y AISI-SAE 316, seleccionadas de manera representativa al material empleado en estructuras de concreto armado. La

configuración e identificación de las probetas y electrodos, se realizó en función del medio de exposición a evaluar y de dos diseños de probetas de concreto identificadas como A y B.

**Probetas A:** son aquellas que contienen 1 y 2% p/p de cloruros en la mezcla en base cemento y dimensiones de 20×10×5cm, las cuales contienen en su interior dos electrodos de trabajo y un electrodo de grafito (Figura 1a). Se fabricaron un total de doce probetas, las cuales fueron evaluadas durante 990 días de exposición, bajo condiciones de  $90 \pm 2\%$  HR y  $30 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**Probetas B:** son probetas rectangulares expuestas a medios con cloruros o alto contenido de  $\text{CO}_2$ , con dimensiones de 25×12×12cm y 6 electrodos en su interior, cuatro electrodos de trabajo y dos de grafito, distribuidos según la Figura 1(b). Se fabricaron un total de veinte probetas, con la finalidad de exponer la mitad de ellas en ambiente artificial marino acelerado ( $90 \pm 2\%$  HR y  $30 \pm 5^\circ\text{C}$ ), evaluadas durante 1200 días y 1080 días de exposición para AISI-SAE 304 y AISI-SAE 316, respectivamente. El resto de las probetas B, se expusieron a medios con altos contenidos de dióxido de carbono durante un periodo de evaluación total de 90 días.

Para alcanzar altos contenidos de dióxido de carbono y evaluar el comportamiento electroquímico de los aceros AISI 304 y 316 en este medio, las probetas B fueron colocadas dentro de una cámara de carbonatación [6], la cual simula un ambiente con altas concentraciones de dióxido de carbono, y así acelerar el proceso de carbonatación en el concreto. La humedad relativa dentro de la cámara se mantuvo entre 60%-70%, a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  con una concentración de  $\text{CO}_2$  dentro de la cámara de 4,2% a 4,3% mol $\text{CO}_2$ /molaire, la presión entre 103,3-110,3 KPa (15-16 psi). La cámara operó bajo estas condiciones de manera continua y las mediciones electroquímicas se realizaron periódicamente. Sin embargo, luego de carbonatadas ambos tipos de probetas se evaluaron bajo condiciones de alta humedad relativa  $90 \pm 2\%$  y temperatura entre 25 y  $36^\circ\text{C}$ , expuestas a partir de los 20 días luego de carbonatado el concreto.

El diseño de mezcla se realizó para una resistencia a la compresión de 150 Kg/cm<sup>2</sup> (15 MPa), con el objeto de logra simular una estructura de baja resistencia, para una relación de agua/cemento de 0,65.

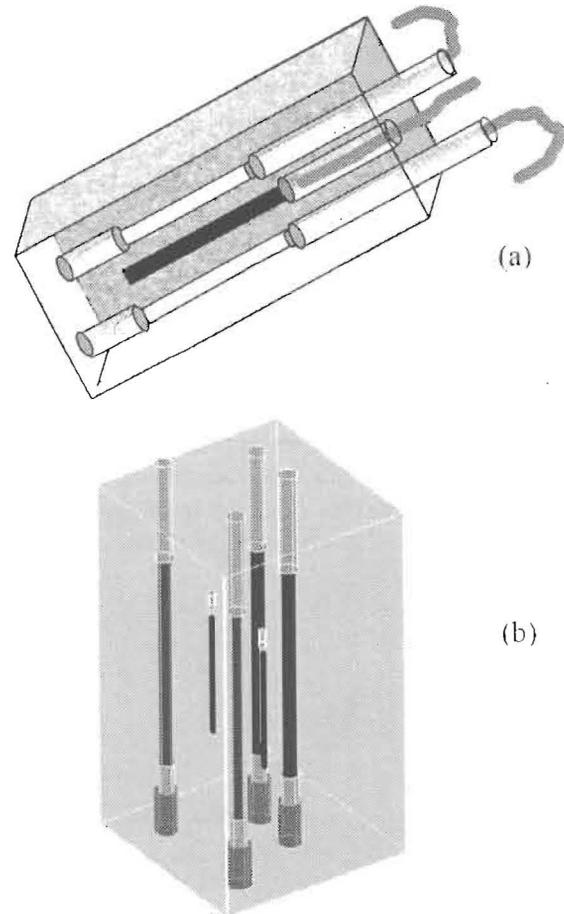


Figura 1. Configuración y distribución interior de los pares de electrodos de trabajos y electrodos de grafito en las probetas de concreto armado, con cloruros incorporados (A), y expuestas a medios con cloruros o carbonatadas (B).

Para los ensayos en agua de poro fueron elaborados electrodos, de igual composición que los refuerzos en las probetas de concreto, con barras corrugadas de acero inoxidable 304. Se empleó Teflón (PTFE) de alta densidad específica como material soporte para la construcción del cuerpo de los electrodos y sus componentes.

La solución de agua de poro, constituida por NaOH, KOH,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (8,3 g/L; 23,3 g/L; 2,0 g/L, respectivamente) fue preparada con diferentes concentraciones de iones cloruro 1 y 2% p/p. Para cada experimento se utilizó un volumen de 150 mL de solución fresca. Es importante resaltar que para cada ensayo se midió el pH de la solución, encontrando promedios de 12,8 de pH.

Las técnicas empleadas para la recolección de datos fueron técnicas electroquímicas de Medición del Potencial de Corrosión ( $E_{cor}$ ), Polarización Lineal ( $R_p$ ,  $\pm 10$  mV vs potencial de corrosión, a una velocidad de barrido de 0,28 mV/s), Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS,  $10^5$  Hz hasta  $10^{-2}$  Hz con 10 mV rms); y como técnica no electroquímica, se realizó la inspección visual de los aceros AISI 304 expuestos a solución de agua de poro. Simultáneamente, se realizaron análisis fisico-químicos para determinar el perfil de cloruros en las probetas de concreto armado expuestas a medios con iones cloruros, siguiendo el procedimiento para el análisis del contenido de cloruro soluble en concreto, descrito en el método RILEM TC 178-TMC [7], y la identificación del frente de carbonatación en las probetas expues-

tas a medios con dióxido de carbono, utilizando fenolftaleína como indicador de color.

### Resultados y Discusión

En las Figuras 2 y 3, se muestra el comportamiento electroquímico representativo de los refuerzos de aceros inoxidable 304 y 316 en las probetas de concreto contaminadas y expuestas a medios con cloruros, probetas tipo A y B, respectivamente. En estas Figuras (2a y 3a), se observa que el rango de potenciales promedios estuvo entre -50 y -275 mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub>, mientras que la velocidad de corrosión (Figuras 2b y 3b), se mantuvo por debajo del umbral de velocidad considerado como riesgo por corrosión ( $0,1 \mu A/cm^2$ ). Sin embargo, los AISI-SAE 304 y

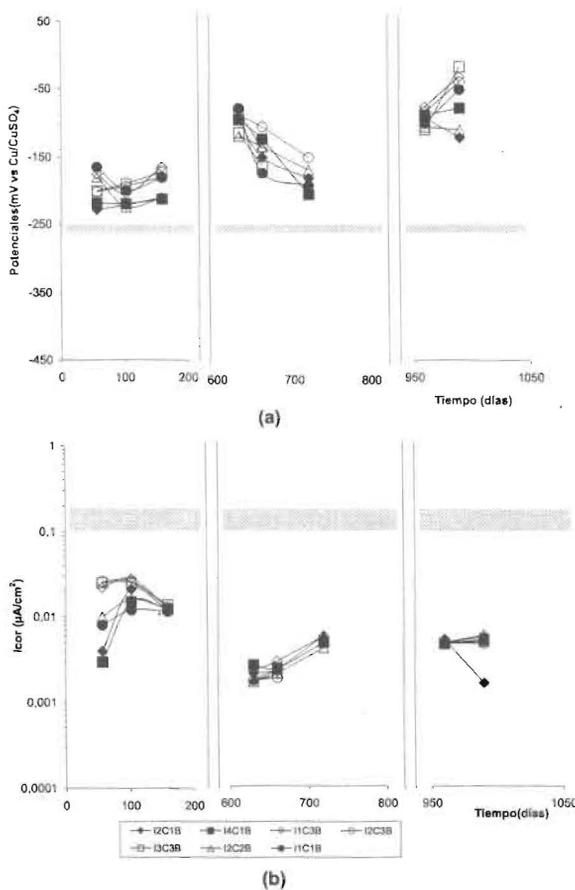


Figura 2. Monitoreo del Potencial y velocidad de corrosión, para refuerzos de AISI-SAE304, probetas tipo A, en concreto con cloruros incorporados, 1% (fondo negro) y 2% (fondo blanco) base cemento.

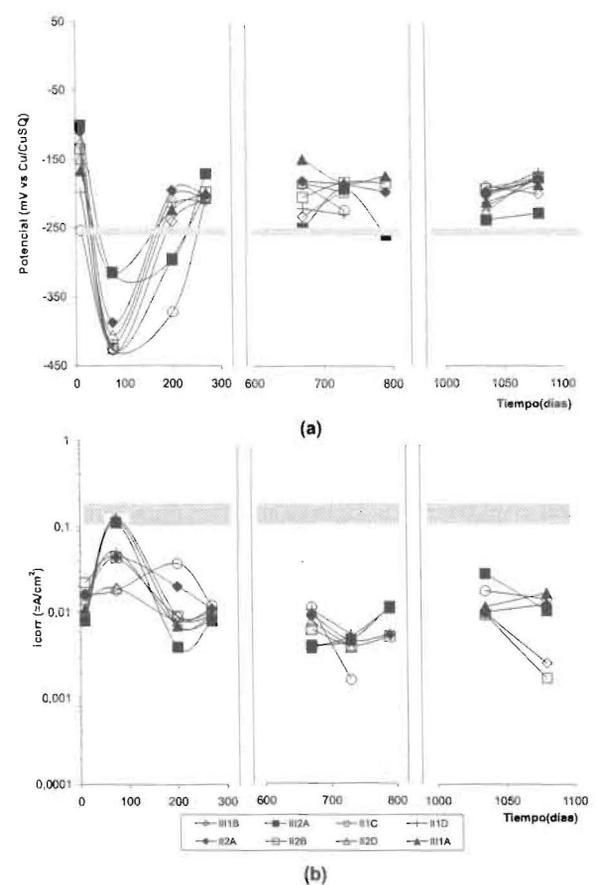


Figura 3. Monitoreo del Potencial y velocidad de corrosión, para refuerzos de AISI-SAE316, probetas tipo B, en concreto expuesto a medios con cloruros.

316 en concreto expuesto a medios con cloruros mostraron a los 75 días de evaluación (Figura 3), potenciales en el orden de  $-400$  mV vs Cu/CuSO<sub>4</sub> e incremento de la densidad de corriente, correspondiente a alta potencialidad corrosiva; y algunos refuerzos alcanzaron velocidades de corrosión mayores a  $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ; momento en que los cloruros libres a nivel de barra alcanzaron los  $15000$  ppm Cl<sup>-</sup> base cemento. No obstante, a partir de los 200 días y el resto del periodo de evaluación, los potenciales fueron mayores a  $-250$  mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub> correspondiente a baja potencialidad corrosiva.

Por su parte, estos aceros en probetas de concreto carbonatado, probetas tipo B, mostraron la misma tendencia (Figura 4), registrando valores de potenciales mayores a  $-150$  mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub> en condiciones de  $60 \pm 5\%$  de humedad relativa. Mientras que para condiciones de alta humedad relativa  $90 \pm 2\%$  los valores de potenciales disminuyeron hasta alcanzar rangos promedios entre  $-30$  a  $-230$  mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub>. Cabe destacar que el porcentaje de humedad relativa alrededor del  $60\%$  corresponde a condiciones excelentes para la carbonatación del concreto, más no para un proceso de corrosión [8]. Sin embargo, para ambas condiciones estos aceros presentaron velocidades de corrosión menores a  $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , encontrándose durante todo el periodo de evaluación en niveles de baja a despreciable potencialidad corrosiva.

La técnica de polarización lineal mostró valores de alta resistencia a la polarización para ambos tipo de refuerzo en concreto contaminado con cloruro (por difusión o incorporados) o carbonatado, obteniéndose valores de velocidad de corrosión menores, en varios órdenes de magnitud, al rango de riesgo despreciable para el acero al carbono en concreto ( $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) [8] (Tabla 1).

Por otro lado, a través de la técnica de EIS se obtuvieron valores de resistencia a la transferencia de carga similares a los encontrados con la técnica de polarización lineal, obtenidos del ajuste al circuito eléctrico equivalente de randles sencillo modificado, para los aceros AISI 304 y 316 en probetas de concreto contaminado con cloruros o carbonatadas, correspondiente a niveles de riesgo por corrosión despreciable. Cabe destacar que los valores de velocidades de corrosión menores a  $0,01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  (Figura 5a) calculados a tra-

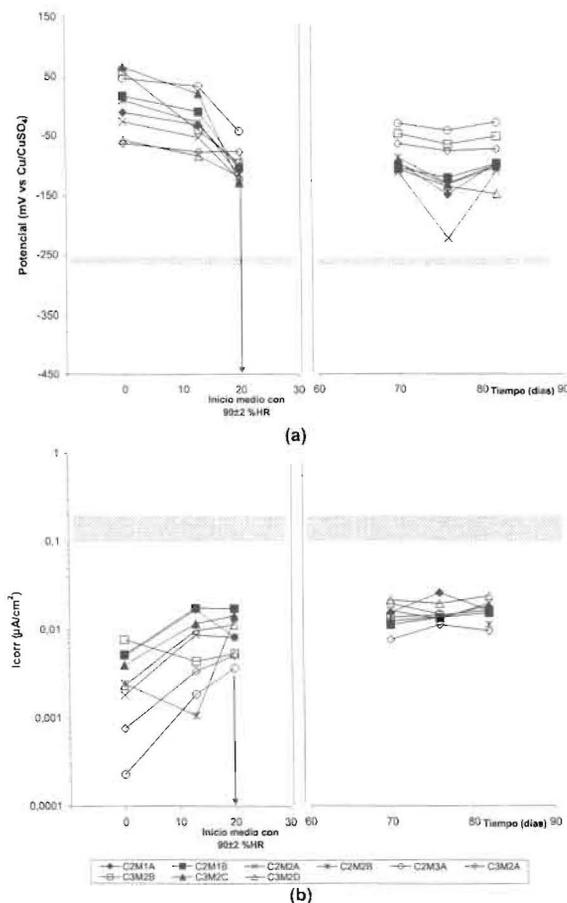


Figura 4. Monitoreo del Potencial y Velocidad de Corrosión, de los refuerzos de AISI 304 y AISI 316, probetas tipo B, en concreto carbonatado en medios de moderada y alta Humedad Relativa.

vés de la técnica de EIS, involucraron valores elevados de resistencia con respecto a los observados con el método de PL, y capacitancias en el rango de  $10^{-9}$  F/cm<sup>2</sup>, lo cual señala posibles efectos capacitivos, o películas pasivas altamente resistentes [9, 10]. Este tipo de diagramas fue encontrado para los aceros inoxidables 304 y 316, en concreto con cloruros incorporados, 1 y 2%, y en concretos carbonatados, sin evidencias de solapamientos con posibles procesos de transferencia de masa en el intervalo de medianas y bajas frecuencias evaluado.

Al mismo tiempo, las capacidades cercanas a  $60 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ , indicativos de procesos de transferencia de carga fueron encontrados para los aceros con velocidades mayores a  $0,01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  (Fi-

Tabla 1  
Valores promedios de potenciales y velocidades de corrosión, de los AISI 304 para una probeta de concreto expuesta a medios con cloruros (12C3B) y carbonatadas (C3M2C), para algunos días de evaluación, Probetas tipo B

Tiempo (días)	304 Cl <sup>-</sup>			304 CO <sub>2</sub>			
	E <sub>cor</sub> (mV vs Cu/CuSO <sub>4</sub> )	i <sub>cor</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )		E <sub>cor</sub> (mV vs Cu/CuSO <sub>4</sub> )	i <sub>cor</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )		
		PL	EIS		PL	EIS	
55	-218	0,034	-	0	66	0,007	-
70	-192	0,056	-	10	21	0,006	0,007
1080	-137	0,015	-	20	-129	0,011	0,012
1140	-185	0,024	0,01	70	-104	0,011	0,016
1170	-189	0,025	0,01	76	-138	0,018	0,010
1200	-186	0,028	0,01	82	-109	0,015	0,010

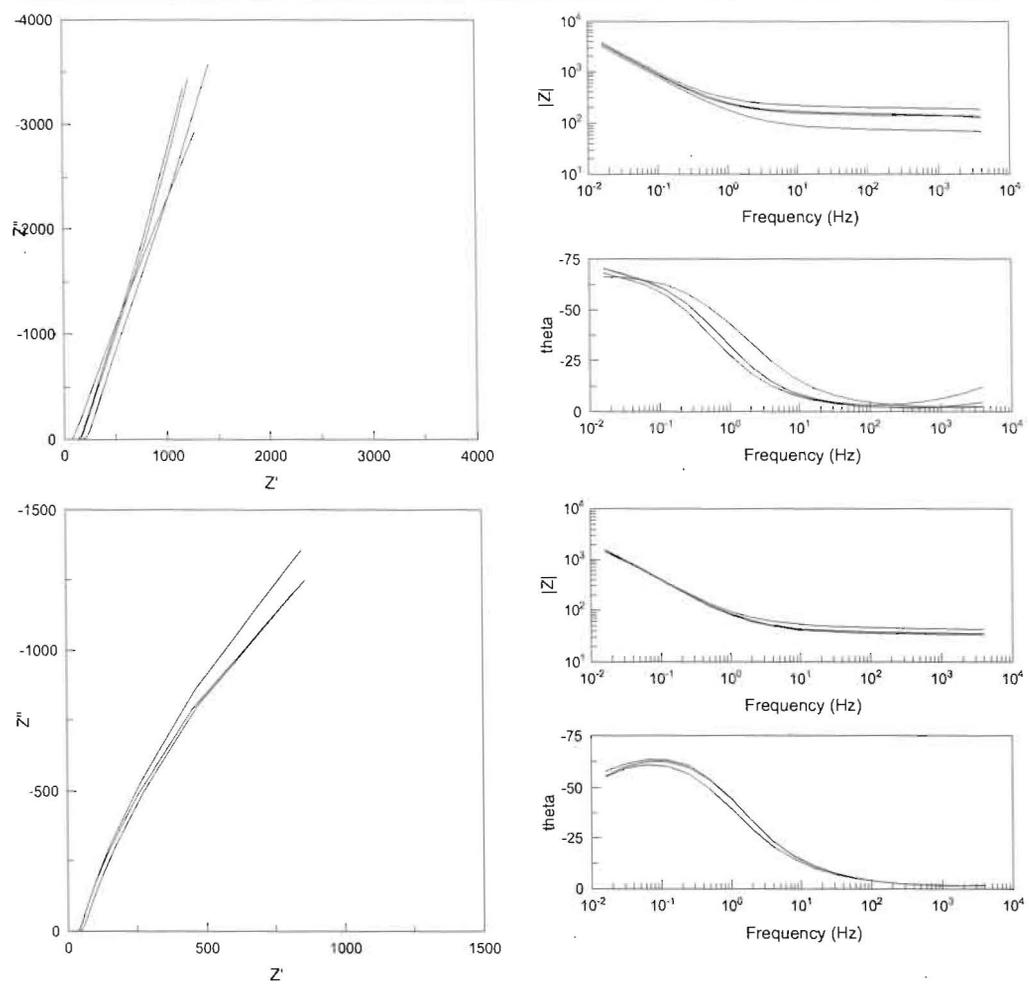


Figura 5. 5a Diagrama de Nyquist Y Bode de un acero inoxidable AISI 316 con velocidad de corrosión  $< 0,01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . 5b AISI 304 con velocidades de corrosión  $> 0,01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , ambos en concreto expuesto a medios con cloruros a diferentes tiempos de exposición.

gura 5b), respuesta típica de los aceros inoxidables 304 y 316 en concreto expuesto a medios con cloruros, los cuales presentan la configuración tipo B y poseen más de 3 años de evaluación.

En los ensayos acelerados, el comportamiento del potencial de corrosión de los AISI 304 a diferentes tiempos de exposición en agua de poro indicó baja potencialidad corrosiva; valores entre  $-87$  mV y  $-115$  mV y entre  $-109$  mV y  $-170$  mV vs Cu/CuSO<sub>4</sub>, para 1 y 2% de Cl<sup>-</sup> base cemento, respectivamente.

El acero inoxidable AISI 304 en agua de poro con 1% de cloruro (Tabla 2), mostró una mayor tendencia a la corrosión, con leves descensos de la resistencia a la polarización al incrementarse el tiempo de exposición, es decir, velocidades de corrosión mayores para 336 horas de exposición ( $0,09\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) y menores para 24 horas de exposición ( $0,05\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ), comportamiento esperado, pero sin daños aparentes de corrosión durante la inspección visual. Sin embargo, los resultados arrojados a través de las técnicas de EIS y Polarización Lineal para el acero AISI 304 en agua de poro al 2% (Tabla 3), mostraron menores velocidades de corrosión con el incremento del tiempo de exposición,  $0,24$  y  $0,05\mu\text{A}/\text{cm}^2$  para 6 y 336 horas respectivamente, indicativo de posible proceso de corrosión inicial de la película pa-

siva del acero seguida del fenómeno de repasivación, aunado al acceso restringido del oxígeno a mayores concentraciones de NaCl.

Este comportamiento fue verificado utilizando inspección visual en los electrodos expuestos a los diferentes tiempos de exposición, encontrando para los aceros 304 expuestos a 6h en agua de poro al 2% p/p, picaduras representativas de corrosión localizada.

Del mismo modo que para la técnica de Polarización Lineal la velocidad de corrosión del AISI 304 en agua de poro para ambas concentraciones, se encontró por debajo del nivel de riesgo por corrosión. Mientras que las capacitancias alcanzaron rangos entre 1 a  $60\mu\text{F}/\text{cm}^2$ , indicativo de procesos de transferencia de carga, correspondientes a velocidades mayores de  $0,01\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , análogo a lo obtenido para estos refuerzos en concreto.

Los análisis fisico-químicos realizados al concreto expuesto a medios con cloruros, evidenciaron concentraciones de hasta 4% y 6% p/p de cloruro en base a cemento a nivel de las barras, para los aceros inoxidables austeníticos AISI316 y 304, respectivamente; concentraciones diez veces mayores al umbral de cloruros límite ( $0,4\%$  p/p) para iniciar y propagar el proceso de corrosión sobre aceros al carbono en concretos [8]. Presentando las probetas de concreto tipo B, ex-

Tabla 2

Resultados promedio de los ajustes de los espectros de Impedancia obtenidos para aceros AISI 304 en solución de agua de poro con 1% de cloruro de sodio.

Tiempo(h)	Re( $\Omega$ )	Rt(K $\Omega$ .cm <sup>2</sup> )	Capacidad( $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ )	$i_{\text{cor}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
24	16,21	531,2	1,12	0,05
96	15,7	516,5	42,83	0,05
336	11,7	215,7	34,44	0,12

Tabla 3

Resultados promedio de los ajustes de los espectros de Impedancia obtenidos para aceros AISI 304 en solución de agua de poro con 2% de cloruro de sodio

Tiempo(h)	Re( $\Omega$ )	Rt(K $\Omega$ .cm <sup>2</sup> )	Capacidad( $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ )	$i_{\text{cor}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
6	6,67	108,52	37,77	0,24
24	4,04	264,26	39,51	0,09
96	6,98	411,72	58,09	0,06
336	7,90	545,68	40,33	0,05

puestas a medios con cloruros, el doble del tiempo de exposición con respecto a las tipo A con incorporación de cloruros. Al mismo tiempo, el frente de carbonatación en las probetas de concreto sin barras, alcanzó espesores mayores a 2,5 cm, profundidades superiores a la ubicación de los refuerzos.

### Conclusiones

1.- Los refuerzos de aceros inoxidables AISI 304 y 316 expuestos en concretos contaminados con cloruros presentaron velocidades de corrosión despreciables ( $< 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ).

2.- La película pasiva de los aceros AISI 304 y 316 en concreto carbonatado no es susceptible a algún tipo de corrosión bajo las condiciones evaluadas, encontrando velocidades de corrosión hasta de tres ordenes de magnitud menores a los valores referidos como despreciables o atribuibles a condiciones de pasividad del acero al carbono como refuerzo.

3.- Los aceros inoxidables 304 evaluados en agua de poro al 1% p/p de  $\text{Cl}^-$ , presentaron incrementos de la densidad de corrosión con el aumento del tiempo de exposición, pero con valores por debajo del riesgo despreciable de corrosión.

4.- Los aceros inoxidables 304 evaluados en agua de poro al 2% p/p NaCl, presentaron signos de picaduras a las 6 horas de exposición.

5.- A través de las técnicas electroquímicas utilizadas para evaluar los aceros AISI 304 y 316, en probetas de concreto contaminado con cloruros, no se puede adjudicar alguna susceptibilidad a sufrir corrosión localizada bajo las condiciones estudiadas.

### Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) por el financiamiento aportado, base fundamental para la elaboración del presente trabajo.

### Referencias Bibliográficas

1. Veleva, L., Alpuche-Aviles M., Graves-Brook M., Wipf D. "Voltametry and surface analysis of AISI 316 stainless steel in chloride-containig simulated concrete pore enviroment". *J. Electroanal. Chem.* Vol. 578, No. 1. (2005) 45-53.
2. Clayton C.R., Olejford I., Marcus P., Oudar J. "Corrosion Mechanisms in Theory and Practice, Marcel Dekker", Inc, New York (1995), 157.
3. Albani O.A., Zerbino J.O., Vilche J.R., Arvia A. "A comparative electrochemical and ellipsometric study of the iron electrodes in different alkaline electrolytes" *Electrochim. Acta*, Vol. 31, No. 11, (1986). 1403-1411.
4. González Fernández, J.A. "Control de la Corrosión, Estudio y Medida por Técnicas Electroquímicas", Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid. España, (1989).
5. Pedferri P., Bertolini L., Bolzoni F., Pastore T. "Behavior of Stainless Steel in Concrete". *WorkShop Maracaibo*, (1997).
6. Linares, D, Sánchez, M. "Construcción, operación y puesta en funcionamiento de una cámara de carbonatación acelerada". *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 26, No. 1 (2003) 34-44.
7. Analysis of water soluble chloride content in concrete. RILEM TC 178-TMC. *Materials and structure*, Vol. 35, November 2002, pp. 586-588.
8. Rincón T. de O., Andrade C., y Colaboradores. "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado". CYTED. Segunda Edición. (1998).
9. Feliú, V., González, J.A., Andrade, C., y Feliu, S. "Equivalent Circuit for Modelling the Steel-Concrete Interface. I. Experimental Evidence and Theoretical Predictions" *Corr. Scien.* Vol. 40, No. 6, (1998), 975-993.
10. Andrade, C., Castelo, V., Alonso, C. and González, J. A. "The Determination of the Corrosion Rate of Steel Embedded in concrete by the polarization resistance and AC Impedance Methods". ASTM STP 906, V. Chaker, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (1986) 43-63.

Recibido el 27 de Julio de 2005

En forma revisada el 06 de Noviembre de 2006