

## Primeras etapas de corrosión de metales en agua de mar artificial: II. Acero inoxidable AISI 304

Karina Jauregui-Coto<sup>1</sup>, Lucien Veleva<sup>2</sup>, Gloria I. Bolio-López<sup>2</sup>,  
Daniel A. López-Sauri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Popular de la Chontalpa, Cárdenas, Tabasco, México; [gloriaivette.bolio@upch.edu.mx](mailto:gloriaivette.bolio@upch.edu.mx)

<sup>2</sup>Departamento de Física Aplicada, Laboratorio de Físicoquímica, CINVESTAV- Unidad Mérida, Yucatán, México; [veleva@mda.cinvestav.mx](mailto:veleva@mda.cinvestav.mx)

Recibido: 28-10-2013

Aceptado: 29-11-2013

### RESUMEN

En esta investigación se ha evaluado las primeras etapas del proceso de corrosión del acero inoxidable AISI 304 sumergido en agua de mar artificial en ausencia de incrustaciones de "bio-fouling" marino. Muestras planas del acero inoxidable AISI304 preparadas según la norma internacional ASTM G1 (2003), fueron sumergidas por cuatro meses en agua de mar artificial preparadas según la norma ASTM D1141 (2008). La velocidad promedio mensual de corrosión fue obtenida determinando la pérdida de masa. La mayor velocidad de corrosión de las muestras fue observada en el tercer mes de inmersión ( $0.40 \text{ g m}^{-2}$ ), alcanzando un valor final al cuarto mes de  $0.35 \text{ gm}^{-2}$  ( $4.4 \times 10^{-5}$  mm de penetración de la corrosión en el metal). El proceso de corrosión fue acompañado por una liberación (*runoff*) de iones de hierro de  $6.00 \times 10^{-7} \text{ g m}^{-2}$  en el agua de mar en el cuarto mes. El potencial de corrosión tuvo un valor inicial positivo (+0.045 V vs SCE) y después mostró una desviación hacia valores más negativos, alcanzando un valor de -0.35 V en el cuarto mes, debido a la ruptura de la capa pasiva del acero y la formación de múltiples picaduras, como consecuencia de los ataques de los iones agresivos de cloruros. Las imágenes SEM de la superficie del acero revelaron que las picaduras fueron formadas en los granos del acero y así mismo, en los límites entre estos, cuyos tamaños y área creció con el avance del proceso de corrosión. Los patrones de rayos-X mostraron los picos específicos correspondientes a la matriz del acero (Fe), así como los de los óxidos mixtos Cr<sub>0.19</sub>Fe<sub>0.7</sub>Ni<sub>0.11</sub>, que forman parte de la capa pasiva en la superficie del AISI 304. Con el desarrollo de las picaduras cambió la intensidad de estos picos.

**Palabras clave:** corrosión en agua de mar; corrosión acuosa del acero AISI 304, agua de mar artificial, runoff de hierro.

### ABSTRACT

In this research work the first stages of the corrosion process of AISI 304 stainless steel immersed in artificial sea water in the absence of marine bio-fouling has been studied. Flat Samples of AISI 304 stainless steel prepared according to the international standard ASTM G1 (2003) were immersed for four months in artificial sea water. The corrosion rate was determined by the mass loss of samples. The highest corrosion rate of AISI 304 samples ( $0.40 \text{ g m}^{-2}$ ) was observed at the third month of exposure in the seawater, reaching a final value of  $0.35 \text{ g m}^{-2}$  at the fourth month ( $4.4 \times 10^{-5}$  mm corrosion metal penetration). The corrosion process was accompanied by the release (*runoff*) of iron ions of  $6.00 \times 10^{-7} \text{ g m}^{-2}$  in seawater after fourth months of exposure. The corrosion potential had a positive initial value (+0.045 V vs. SCE) and then showed a shift to more negative values, reaching a value of -0.35 V at the fourth month, due to rupture of the steel passive layer and the formation of multiple pits, as a result of the attack of the aggressive chloride ions. SEM images of the steel surface revealed that the pits were formed in the steel grains and at the boundaries between them, whose size and area grew with the progress of the corrosion process. The X-ray diffraction patterns showed the specific peaks corresponding to the matrix of the steel (Fe), and the Cr<sub>0.19</sub>Fe<sub>0.7</sub>Ni<sub>0.11</sub> mixed oxides, which form part of the passive layer on AISI 304 surface. With the development of pitting corrosion the intensity of those peaks changed.

**Keywords:** sea water corrosion; AISI 304 stainless steel corrosion; artificial sea water; iron runoff.

## I. INTRODUCCIÓN

La característica de ser inoxidable (resistente a la corrosión) la proporciona al AISI 304 principalmente el contenido de Cr, debido a la formación de una capa pasiva o película delgada de óxido crómico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), muy densa y con poros de tamaños pequeños, que impiden la penetración de moléculas de oxígeno y agua hacia la matriz del metal (Brooks *et al.*, 1998; Ryan *et al.*, 1998; Sedriks, 1996; Bellangery and Rameau, 1995; Hermas *et al.*, 1995; Sato, 1990). Debido a esta película, este acero es químicamente resistente en muchos ambientes (condiciones atmosféricas, agua dulce, suelos húmedos, concreto), pero siempre en ausencia de iones cloruros ( $\text{Cl}^-$ ). La película pasiva en AISI 304 contiene los óxidos de Cr-Ni-Fe principalmente y es extremadamente delgada (2 a  $5 \times 10^{-7}$  mm de espesor) y presenta un aspecto de espejo. Sin embargo, los iones de halógenos (como los cloruros) son agentes muy agresivos y pueden romper esta película pasiva, penetrando en sus poros, ocasionando al acero una corrosión localizada conocida como corrosión por picaduras.

En México, se ha reportado la existencia del primer muelle construido de acero inoxidable tipo AISI 304 como material de refuerzo del concreto, en el mar Caribe (puerto de Progreso, estado de Yucatán, en 1937-1941) que, hasta la fecha se conserva en buenas condiciones (Abbott, 1999). Sin embargo, el muelle construido de concreto con acero al carbono bajo, ha sido destruido por la acción del agua del mar (iones de cloruros) hace muchos años atrás y esta estructura ha tenido una vida útil muy corta (Veleva *et al.*, 1998; Castro *et al.*, 1997). Actualmente, muchos puentes en el mundo han sido construidos de acero inoxidable AISI 304 o 316, sin el uso de concreto. México no tiene experiencia y datos sobre el comportamiento de estos dos tipos de acero en las condiciones del mar.

El agua de mar es un medio muy agresivo para los metales y causa severos daños de corrosión a las estructuras metálicas en muy cortos lapsos de tiempo, convirtiéndolas paulatinamente en productos de corrosión, hasta su destrucción completa. Además, estos productos pueden contaminar el medio ambiente. La presencia de iones de  $\text{Cl}^-$ , como parte del agua del mar, agentes altamente corrosivos para el acero inoxidable, da lugar a la posterior formación de productos iniciales de corrosión, como  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{MnCl}_4$  en las trazas de manganeso del acero (Sedriks, 1996). Un factor que adicionalmente propicia la corrosión de los metales es el biológico, debido a la existencia de una amplia gama de micro- y macro-organismos marinos (Scotto *et al.*, 1985). Los desechos de su vida biológica pueden actuar también como agentes corrosivos, lo que acelera el proceso de corrosión del metal. Con el tiempo, los micro- y macro-organismos se incrustan en la superficie metálica, un fenómeno conocido hoy como *bio-fouling* marino. Para separar la influencia del factor biológico en el proceso de corrosión, ensayos con muestras del metal de interés se pueden llevar en agua artificial de mar, cuya composición está propuesta por la norma internacional ASTM-D1141-98. Esto permite estudiar el perfil de velocidad de corrosión del acero inoxidable en sus etapas iniciales, por ejemplo, simulando la zona de inmersión en agua de mar.

El objetivo de este estudio fue analizar las primeras etapas de corrosión del acero inoxidable AISI 304, expuesto durante cuatro meses en agua artificial de mar, en la ausencia de micro-organismos, con la finalidad de registrar su velocidad de corrosión, los cambios del potencial de corrosión; así mismo, caracterizar el ataque corrosivo y los cambios superficiales del acero como consecuencia de los iones agresivos de cloruros.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Objeto de estudio

#### Muestras de acero inoxidable

Se estudiaron muestras de acero inoxidable AISI 304 (66.345 - 74% Fe, 18-20% Cr, 8-10.5% Ni, 0.08% C) de dimensiones, 20x20x1 mm las mismas que fueron preparadas según la metodología de la norma internacional (ASTM G1, 2003), previamente desengrasadas con alcohol etílico y pesadas en balanza analítica (0.001 g), para tomar su masa inicial ( $M_{\text{inicial}}$ ). Posteriormente, fueron sumergidas por triplicado en 100 ml de agua artificial de mar (a 21-22°C) en recipientes plásticos, sujetadas con un cordel de PVC (ASTM G52, 2000).

El agua de mar artificial, según la norma ASTM D1141-98, contiene en general las siguientes sales ( $\text{g L}^{-1}$ ): 24.53 NaCl; 5.20  $\text{MgCl}_2$ ; 4.09  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 1.16  $\text{CaCl}_2$ ; 0.695 KCl; 0.201  $\text{NaHCO}_3$ ; 0.101 KBr; 0.027  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0.025  $\text{SrCl}_2$ ; 0.003 NaF y nitratos de varios metales (Ba, Mn, Cu, Zn, Pb y Ag), cuya concentración es desde 0.0000994 hasta 0.00000049, respectivamente.

## 2.2 Equipos

Se utilizó un Potenciostato/galvanostato "GAMRY Instruments", ZRA serie G750, del Laboratorio de Físicoquímica del CINVESTAV-Mérida, México para el monitoreo del potencial de corrosión E<sub>corr</sub> a circuito abierto (o.c.p.) sin polarización externa.

La concentración de los iones de hierro liberados durante la exposición del acero AISI 304 en agua de mar artificial fue determinada con un Espectrofotómetro HANNA HI 83200 Multiparameter Ion Specific Meter.

Otros equipos e instrumentos del Laboratorio de Microscopia del CINVESTAV-Mérida, México que se utilizaron fueron los siguientes:

- Difractómetro de rayos-X Siemens D5000 Diffractometer, para la determinación de las fases cristalinas de los productos de corrosión de cobre.
- Microscopio electrónico de barrido (SEM) Phillips, para el estudio de la morfología (topografía) de las superficies de las muestras de AISI 304, para analizar el ataque corrosivo provocado por el agua de mar.

## 2.3 Métodos y técnicas

### Medición de parámetros hidroquímicos del agua de mar

Durante la exposición de las muestras de acero inoxidable AISI 304 en agua del mar, se midió mensualmente el valor del pH del agua, así como la concentración de los iones de Fe liberados del acero por medio de la técnica de espectrofotometría.

### Análisis superficial de las muestras de acero AISI 304

Las fases cristalinas de los productos de corrosión del acero inoxidable se evaluaron con la técnica de difracción de rayos-X (XRD), con el método de haz rasante.

La morfología (topografía) del ataque corrosivo en las superficies de las muestras corroídas del acero inoxidable fue evaluada a base de las imágenes tomadas con un microscopio electrónico de barrido (SEM).

### Potencial E<sub>corr</sub> y velocidad de corrosión

El potencial de corrosión E<sub>corr</sub> fue registrado a circuito abierto (*open circuit potential*, o.c.p.) con el potenciostato/galvanostato, utilizando como electrodo de trabajo una de las muestras de acero inoxidable AISI 304 y como electrodo de referencia electrodo de calomel saturado (SCE). Como electrodo auxiliar se empleó alambre de Pt en la así formada celda electroquímica.

La velocidad promedio mensual de corrosión de las muestras de acero inoxidable fue obtenida al determinar su pérdida de masa después de su exposición en agua de mar artificial. Al ser retiradas, para eliminar los productos de corrosión de su superficie, se les aplicó un decapado químico en una solución de 60 ml de ácido nítrico (10%, 20 min, a 60°C), según la metodología de la norma ISO 8407 (1991). Así decapadas fueron pesadas y determinada su masa final ( $M_{\text{final}}$ ). La velocidad mensual de corrosión  $V_{\text{corr}}$  (pérdida de masa) y el índice de penetración  $P$  (disminución del espesor de la placa) se calcularon mediante las fórmulas (1) y (2), respectivamente (Raichev *et al.*, 2009:28):

$$V_{\text{corr}} = (M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}})/A$$

donde:  $M_{inicial}$  y  $M_{final}$  son las masas (g), inicial y final de la placa de ensayo; A - el área efectiva de la placa metálica en exposición ( $m^2$ ).

$$P = V_{corr} / \rho_{acero\ inoxidable} \quad (2)$$

donde: P es la penetración de la corrosión, representada como disminución del espesor de la muestra del metal en ensayo ( $\mu m$ );  $V_{corr}$ , la velocidad mensual de corrosión ( $g\ m^2$ );  $\rho_{acero\ inoxidable}$ , la densidad del acero inoxidable ( $7.94\ gcm^{-3}$ ).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 2.1 Proceso de corrosión del acero inoxidable AISI 304 en el agua de mar artificial

Durante la exposición de las muestras de acero inoxidable en el agua de mar, el pH en los primeros dos meses permaneció constante ( $pH \approx 7$ ), mostrando posteriormente una tendencia hacia valores más alcalinos, alcanzando en el cuatro mes un valor alrededor de  $pH=7.4$ , que es ligeramente más ácido que el pH inicial del agua de mar artificial ( $pH = 8.2$ ). Estos cambios en pH están relacionados con los avances del proceso de corrosión que ocurre en la superficie del acero y sus peculiaridades. Entre estas particularidades es importante notar la liberación de iones de hierro en el agua del mar artificial desde la superficie del AISI 304, cuya matriz está formada principalmente del elemento Fe (66.345- 74%).

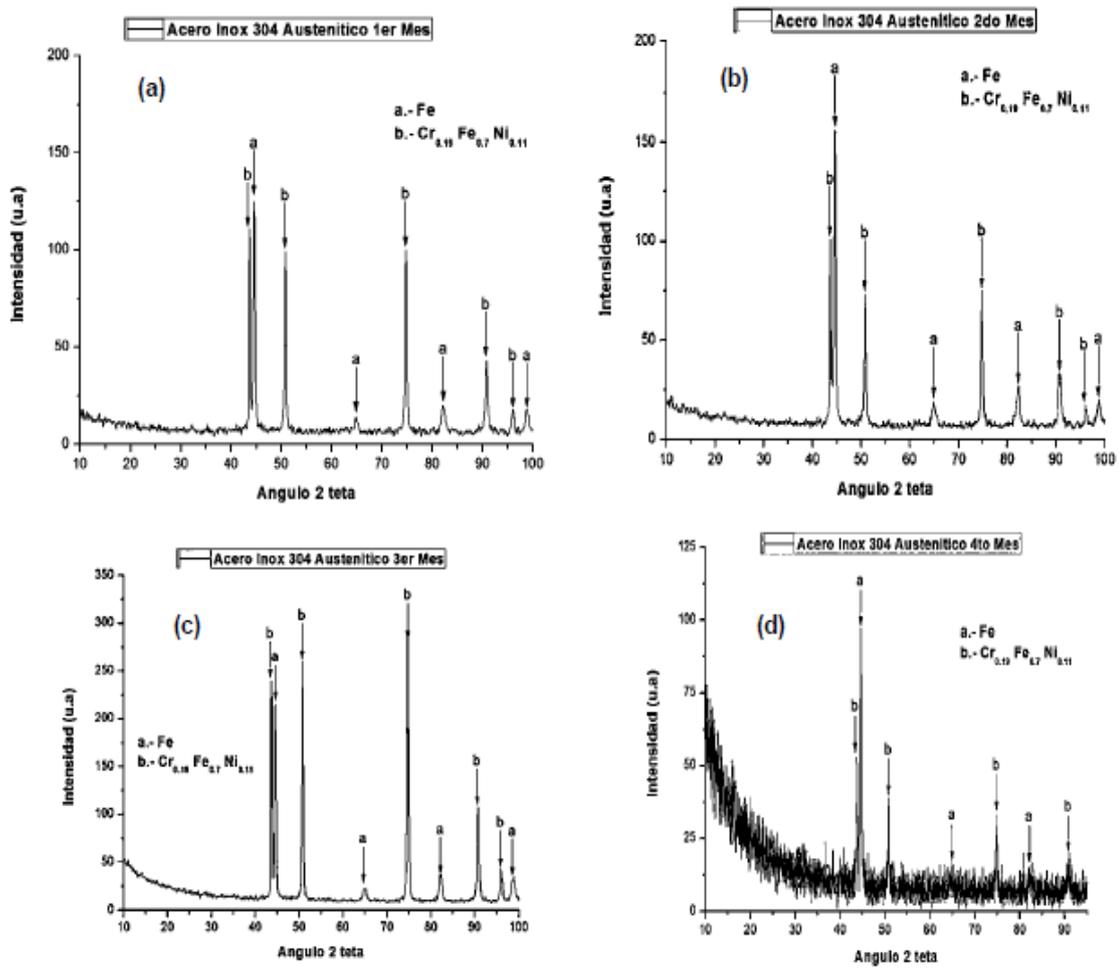
La Tabla 1 presenta la concentración de iones de hierro ( $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ ) liberados durante los cuatro meses de exposición de las muestras del AISI 304 en el agua de mar. Este proceso es conocido en la literatura como *runoff* del metal, cuando parte de los productos de corrosión son disueltos desde la superficie del metal en forma de iones y estos caen en el ambiente que lo rodea. En este proceso influye mucho el pH del medio ambiente, el cual determina la posible disolución de algunos productos de corrosión de un metal dado. Los iones de hierro son considerados de alto riesgo de punto de vista ecológico en aguas y en la biosfera.

**Tabla 1.** Concentración de iones de Fe liberados durante la exposición de muestras del acero inoxidable AISI 304 expuestas en el agua artificial de mar

Tiempo (meses)	1	2	3	4
Iones de Fe liberados ( $g\ m^{-2}$ )	$1.60 \times 10^{-6}$	$7.30 \times 10^{-7}$	$4.20 \times 10^{-6}$	$6.00 \times 10^{-7}$

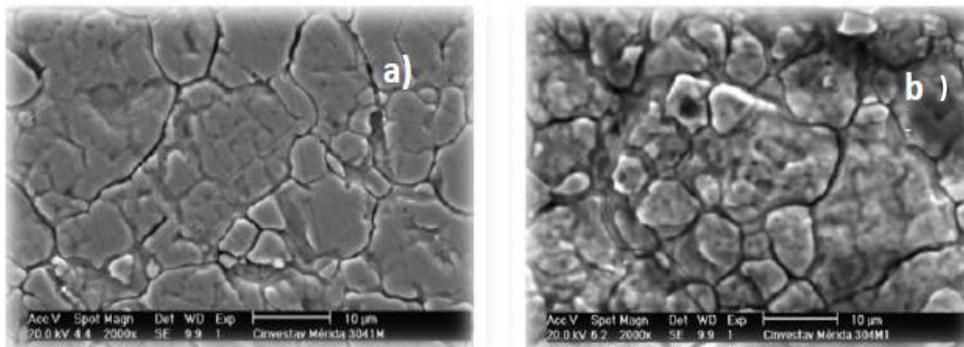
Como se puede notar, en el primer mes han sido liberados  $1.60 \times 10^{-6}\ gm^{-2}$  iones de hierro, cuya concentración muestra tendencias de disminución o aumento, según el avance del proceso de corrosión. Este proceso (*runoff*) es debido al ataque corrosivo de los iones cloruros del agua del mar que logran la destrucción de la capa pasiva de una forma localizada, formándose picaduras y productos de corrosión del hierro, que llenan estos sitios de corrosión. La disminución en la liberación de iones de hierro se podría atribuir a la barrera física entre el acero y el agua del mar, formada por los productos de corrosión en las picaduras, así mismo a la tendencia del acero de rehacer la capa pasiva y cubrir las picaduras recién formadas (repasivación del acero inoxidable).

Los cuatro difractogramas de rayos-X del acero inoxidable AISI 304 (Fig. 1) muestran el espectro principal de este acero, con los picos característicos de Fe (la matriz del acero) y de los óxidos mixtos  $Cr_0.19Fe_0.7Ni_0.11$  que forman parte de la capa pasiva (estado pasivo del acero). Como se puede observar, la intensidad relativa de estos picos cambia con el desarrollo de la corrosión en el tiempo, debido a varios procesos: formación de picaduras y productos de corrosión en ellas; disolución parcial de estos productos y liberación (*runoff*) de iones de hierro en el agua de mar; y tendencia de repasivación de los sitios corroídos. Los cambios en las intensidades relativas de los dos picos principales son estrechamente relacionados y con los datos presentados en la Tabla 1.



**Fig. 1.** Difractograma de rayos-X (XRD) del acero inoxidable después de exposición durante cuatro meses en agua del mar artificial.

Las imágenes del SEM (Figs. 2 a 4) muestran el ataque corrosivo que ocurre en la superficies del AISI 304, expuestas durante los cuatro meses en el agua de mar artificial. Como se puede observar, la formación de las primeras picaduras no es uniforme desde sus etapas iniciales (Fig. 2).

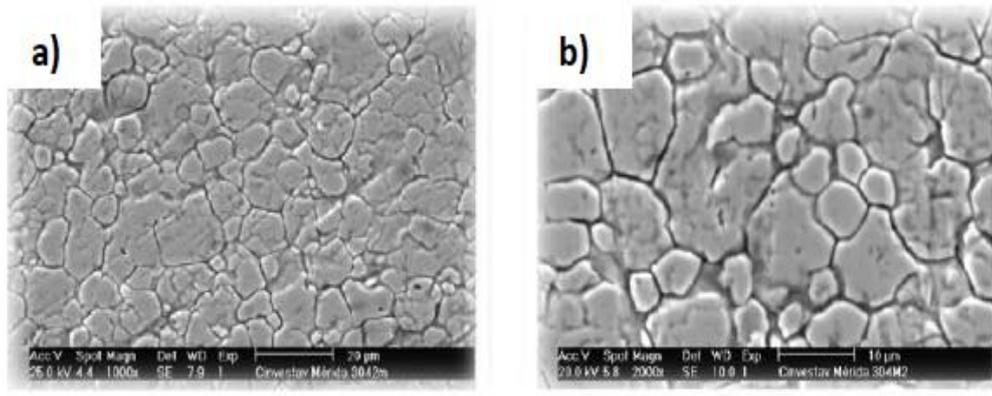


**Fig. 2.** Morfología (SEM 2000x) de: (a) la superficie del acero inoxidable AISI 304 después de 1 mes de exposición en agua de mar artificial y, (b) la superficie liberada (decapada) de productos de corrosión.

Los granos de los metales que forman parte de la aleación del AISI 304 (matriz de Fe y los aleantes Ni, Cr) son irregulares en sus tamaños (Fig.2). En esta etapa inicial de un mes las primeras picaduras, formadas debido al ataque localizado de cloruros presentes en el agua del mar, tienen tamaños < de

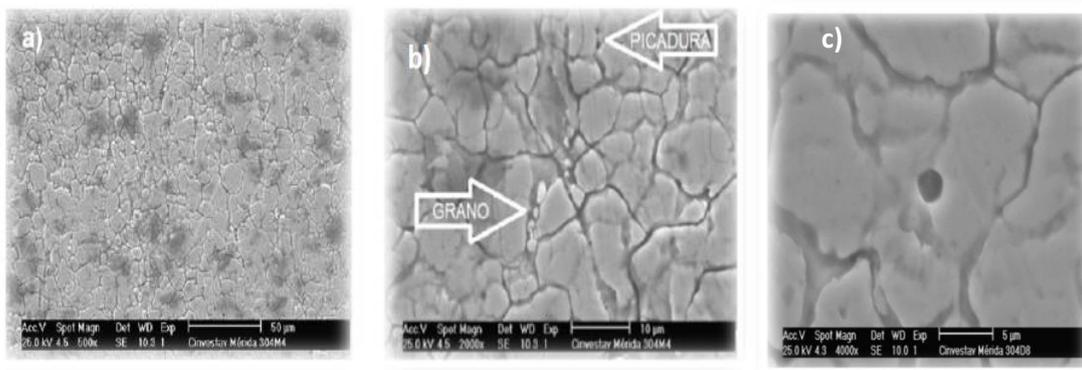
1-2 $\mu$ M. Su distribución es principalmente en los granos de AISI 304 y menos en los límites entre estos (Fig. 2b).

En la Figura 3 (a) se muestra la morfología (SEM) de la superficie de AISI 304 después del segundo mes de exposición en agua de mar artificial. Las picaduras formadas son de diferentes tamaños, considerando las pequeñas como inicio de corrosión en estos sitios, mientras que las de tamaños mayores son formadas con anterioridad.



**Fig. 3.** Morfología (SEM) de: (a) la superficie del acero inoxidable AISI 304 después de 2 meses de exposición en agua de mar artificial (1000x) y (b) la superficie liberada (decapada) de productos de corrosión (2000x).

A los cuatro meses de exposición en el agua artificial de mar (Fig. 4), en la superficie del AISI 304 se pueden observar manchas oscuras (Fig. 4a), debido al mayor ataque de corrosión en estas áreas. El tamaño de las picaduras no es uniforme: menores tamaños de picaduras recientes y con tamaño muy grande (hasta 2.5-3.0  $\mu$ m) las que fueron formadas previamente (Fig.4 c).



**Fig. 4.** Morfología (SEM) de: (a) la superficie del acero inoxidable AISI 304 después de 4 meses de exposición en agua de mar artificial y (b – c) la superficie de acero inoxidable liberada (decapada) de productos de corrosión (2000x y 4000x).

## 2.2 Velocidad de corrosión y potencial de corrosión

En la Tabla 2 se presentan las velocidades de corrosión  $V_{corr}$  del acero inoxidable AISI 304 para tiempos de exposición de 1, 2, 3 y 4 meses en agua del mar artificial; así mismo, la penetración de la corrosión  $P$  (disminución del espesor de las placas del acero).

Como se puede observar, la velocidad mayor de  $V_{corr}$  se presentó en el tercer mes ( $0.40 \text{ g m}^{-2}$ ) con una tendencia a disminuir ligeramente alcanzando un valor final de  $0.35 \text{ g m}^{-2}$  al cuarto mes.

Estos valores son una consecuencia de la liberación de iones de Fe en el agua del mar durante el ataque corrosivo de la superficie de AISI 304 (formación de picaduras), cambio en el valor del pH y los procesos de repasivación (formación de nuevos óxidos de Ni y Cr en los sitios de ataque), todos discutidos anteriormente.

**Tabla 2.** Velocidades promedio mensuales de corrosión  $V_{corr}$  y cambio de la penetración de corrosión  $P$  (disminución del espesor) de las muestras de acero inoxidable AISI 304 durante los 4 meses de exposición en el agua artificial de mar (ecuaciones 1 y 2)

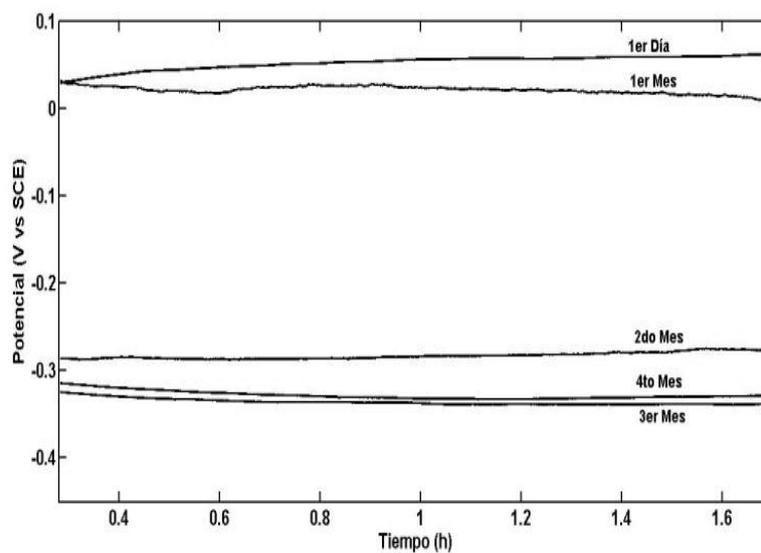
Tiempo (meses)	1	2	3	4
$V_{corr} (\text{gm}^{-2})$	0.23	0.37	0.40	0.35
$P (\text{mm})$	$2.9 \times 10^{-5}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$	$4.4 \times 10^{-5}$

Estos valores son una consecuencia de la liberación (*runoff*) de iones de Fe en el agua del mar, durante el ataque corrosivo (formación de picaduras) en la superficie de AISI 304, del cambio en el valor del pH del agua de mar y de los procesos de repasivación (formación de nuevos óxidos de Ni-Cr-Fe) de las picaduras recientes.

La Figura 5 muestra la evolución del potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) del acero inoxidable a circuito abierto (sin polarización externa), en función del tiempo de exposición en agua de mar artificial.

El potencial inicial tuvo un valor positivo de  $+0.045 \text{ V}$  (vs SCE, electrodo de calomel) y después del primer mes mostró una desviación hacia valor más negativo de  $-0.005 \text{ V}$ .

En los meses posteriores  $E_{corr}$  se desplazó bruscamente hacia valores más negativos, alcanzando aproximadamente  $-0.35 \text{ V}$  en el tercer y cuarto mes. Este hecho indica la ruptura de la capa pasiva debido a la formación de múltiples picaduras y de esta manera pérdida de la pasividad del acero en el tiempo.



**Fig. 5.** Potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) del acero AISI 304 a circuito abierto vs calomel (SCE) a diferentes meses de exposición en agua artificial de mar: 1 día; 1, 2, 3 y 4 meses.

#### IV. CONCLUSIONES

- Muestras planas de acero inoxidable AISI 304 fueron sumergidas por cuatros meses en agua de mar artificial (agua del acuario), con la finalidad de descartar la bio-corrosión debida a la incrustación de bio-organismos presentes en el mar (*bio-fouling*), enfocándose al desarrollo del proceso de corrosión en su ausencia de bio-corrosión.
- La mayor velocidad de corrosión  $V_{\text{corr}}$  ( $0.40 \text{ g m}^{-2}$ ) del acero AISI 304 se presentó en el tercer mes de exposición en agua de mar artificial, observándose una tendencia a ligera disminución al final del cuarto mes ( $0.35 \text{ gm}^{-2}$ ), acompañado por una liberación (*runoff*) de iones de hierro de  $6.00 \times 10^{-7} \text{ g m}^{-2}$  en el agua de mar.
- El potencial de corrosión  $E_{\text{corr}}$  tuvo un valor inicial positivo ( $+0.045 \text{ V vs SCE}$ ) y después del primer mes mostró una desviación hacia valores más negativos, alcanzando un valor más negativo de  $-0.35 \text{ V}$  en el tercer y cuarto mes. Este hecho indica la ruptura de la capa pasiva debido a la formación de múltiples picaduras como consecuencia del ataque de los iones agresivos de cloruros y de esta manera, pérdida de pasividad del acero en el tiempo.
- Las imágenes del SEM revelaron que el ataque corrosivo no tiene uniformidad, sino picaduras localizadas en los granos del acero y límites entre estos, cuyos tamaños y área creció con el avance del proceso de corrosión.
- Las difractogramas de rayos-X mostraron picos específicos correspondientes a la matriz del acero (Fe) y a los óxidos mixtos  $\text{Cr}_0.19\text{Fe}_0.7\text{Ni}_0.11$  que forman parte de la capa pasiva del AISI 304. Con el desarrollo de las picaduras la intensidad de estos picos cambió.

#### AGRADECIMIENTOS

Karina Jauregui Coto agradece el apoyo económico (beca) obtenido por el CONACYT (Proyecto CB-2012-01-No.178110) para la realización de su tesis de Licenciatura, durante la estancia en el CINVESTAV-Mérida, Yucatán; así mismo al CCyTET del estado de Tabasco, México. En este trabajo contribuyó la IQ Gloria Acosta con el análisis de rayos-X y la Bióloga Ana Ruth Cristóbal Ramos como operadora del SEM.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, C. J. 1999. **Steel Corrosion Solution**, Concrete Engineering International, pp. 38-43.
- ASTM G1. 2003. **Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens**, ASTM International.
- ASTM G52. 2000. **Standard Practice for Exposing and Evaluating Metals and Alloys in Surface Seawater**, ASTM International.
- ASTM D1141-98. 2008. **Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water**. ASTM International.
- BELLANGER, G., RAMEAU, J. 1985. **Efeccts of Triiated Hydrogen Peroxide in Tritiated Water Containing Cl<sup>-</sup> and CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> on the Behavior of Welded Type S32550 Duplex Stainless Steel**, Corrosion Science, **40(12)**.
- BROOKS, A. R., CAYTON, C.R., DOSS, K., LU, Y. C. 1998. **On the Role of Cr in the Passivity of Stainless Steel**, Journal of Electrochemical Society, **133(12)**: 2459-2464.
- CALLAGHAN, B. G. 1993. **The Performance of a 12% Chromium Steel in Concrete in Severe Marine Environments**, Corrosion Science, Vol. 35, Nos. 5-8: 1535-1541.

- CASTRO, P., VELEVA, L., BALANCÁN, M. 1997. **Corrosion of Reinforced Concrete in a Tropical Marine Environment and Accelerated Tests**, Construction and Building Materials, Vol. 11, pp. 75-81.
- HERMAS, A. A., OGURA, K., TAKAGI, S., ADACHI, T. 1995. **Effects of Alloying Additions on the Corrosion and Passivation Behaviors of type 304 Stainless Steel**, Corrosion, 51(1), 3-10.
- ISO 8407 INTERNATIONAL STANDARD. 1991. **Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens**.
- JOHNSON, M. 1995. **Corrosion Tests and Standards (Application and Interpretation)**, Stainless Steels, ASTM, E.U., p. 481.
- MEXINOX Folleto. 1984. **Introducción a los aceros inoxidables y resistentes a las altas temperaturas**, pp. 8-12.
- RAICHEV, R., VELEVA, L., VALDEZ, B. 2009. **Corrosión de metales y degradación de materiales**. Departamento de Editorial Universitaria, Baja California.
- RYAN, M. P., LAYCOCK, N.J., NEWMAN, R.C., E ISAACS, H.S. 1998. **The Pitting Behavior of Iron- Chromium Thin Film Alloys in Hydrochloric Acid**, Journal of Electrochemical Society, **154(5)**, 1566-1571.
- SATO, N. 1990. **An Overview of the Passivity of Metals**, Corrosion Science, 31(1).
- SCOTTO, V., DI CINTIO R., MARCENARO, G. 1985. **The Influence of Marine Aerobic Microbial Film on Stainless Steel Corrosion Behavior**. Corrosion Science, 25(3):185-194.
- SEDRIKS, A. 1996. **Corrosion of Stainless Steels**, 2nd edition, Wiley-Interscience, USA, pp. 1-13, 79-98.
- SHREIR, L., JARMAR, R., BURSTEIN, G. 1994. **Corrosion (Metal/Environment Reactions)**, Vol. 1, 3<sup>rd</sup>edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp.3:34-3:76.
- (SSC). 1999. **Stainless Steel in Concrete**. European Federation of Corrosion Publications, No. 18, Fakenham, UK, pp. 1-29.
- VELEVA, L., CASTRO, P., HERNANDEZ-DUQUE, G., SCHORR, M. 1998. **The Corrosion Performance of Steel and Reinforced Concrete in a Tropical Humid Climate**, Corrosion Reviews, ISSN 0048-7538, M. Schorr, Ed., Freund Publishing House, London, England, pp. 235-284.