

SEM/EDS ANALYSIS OF CORROSION PROCESS OF INDUSTRIAL ALLOYS IN MARINE ENVIRONMENT

J. Cahuich¹, H. G. Heredia-Lanz¹, M. R. Sosa-Baz¹, P. Bartolo-Pérez², R. Orozco-Cruz³, J. Reyes¹, T. Pérez*¹

¹Centro de Investigación en Corrosión. Universidad Autónoma de Campeche, México.

²CINVESTAV-IPN, Departamento de Física Aplicada, Mérida, Yucatán, México.

³Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana.

*Corresponding author: T. Pérez, Email: tezperez@uacam.mx, Phone: 52 (981) 811 98 00 ext. 62800, Fax: 52 (981) 811 98 00 ext. 62899.

Recibido: Septiembre 2013. Aprobado: Febrero 2014.

Publicado: Marzo 2014.

ABSTRACT

This work presents a monitoring corrosion process occurred on 1045 carbon steel, 316 stainless steel and bronze coupons exposed in natural seawater during twelve months at the Bay of San Francisco de Campeche City (Campeche, Mexico). During the experimental stages, the growing of protective films, their morphology and elemental composition were analyzed by using SEM/EDS. The measurement of loss mass in all coupons indicate a diminution in corrosion rate along the time, consequence of the protective behavior demonstrated by corrosion products formed over the surfaces of the metallic samples. On the other hand, the results allowed the identification of elemental species associated to marine environment that had influenced the corrosion process suffered by the alloys and its influences on type of attack occurred over the surface of the alloys. In this order, while carbon steel showed generalized attack, bronze presented overlapping corrosion films over its surface, that were cracking periodically. On the other hand, although the stainless steel showed less corrosion rate, pitting of high depth were the form of attack, which is of very high risk for the integrity of the alloy.

Keywords: SEM/EDS, corrosion, marine environment, alloys.

ANÁLISIS MEDIANTE SEM/EDS DEL PROCESO DE CORROSIÓN DE ALEACIONES DE USO INDUSTRIAL EN UN MEDIO MARINO

RESUMEN

Se presenta el seguimiento durante un año del proceso de corrosión de aleaciones de acero al carbono 1045 e inoxidable 316 y bronce expuestos al agua de mar en la Bahía de la Ciudad de San Francisco de Campeche, (Campeche, México). Durante los ensayos, los especímenes observaron disminución en su velocidad de corrosión por pérdida de masa, lo cual demuestra una capacidad protectora por parte de los productos de corrosión formados sobre la superficie metálica. El crecimiento de la capa protectora, su morfología y composición química fueron analizadas mediante SEM/EDS. Los resultados obtenidos permitieron confirmar la presencia de elementos asociados al medio marino que influyen en la corrosión de las aleaciones y determinar el tipo de ataque ocurrido sobre su superficie bajo las condiciones de exposición. En este sentido, se observó que mientras el acero al carbono presentó un ataque de tipo generalizado, los productos de corrosión del bronce se estructuraban en capas superpuestas de aspecto compacto, que periódicamente se fracturaban. Por su parte, aunque el acero inoxidable mostró baja velocidad de corrosión, su forma de ataque por profundas picaduras, resultó de alto riesgo para la integridad de la aleación bajo las condiciones ensayadas.

Palabras clave: SEM/EDS, corrosión, medio marino, aleaciones.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países industrializados, el costo promedio de pérdida por la corrosión es de 3.5 al 4.5 % del Producto Nacional Bruto (PIB)[1]. Específicamente, en el ambiente marino se encuentran estructuras metálicas,

tales como plataformas de extracción petrolera, tuberías para transporte de combustible, cascos de barcos, hélices, así como diferentes sistemas de enfriamiento que utilizan el agua de mar y se oxidan durante su periodo de servicio,

poniendo en riesgo la integridad y seguridad de las estructuras. México es un país que cuenta con aproximadamente 10000 km de costas. De ellas 2600 km corresponden al Golfo de México, las cuales son parte fundamental en la economía del país, debido a que aproximadamente el 90% del petróleo que se produce en México es extraído de su litoral. La protección y preservación de esta infraestructura es por lo tanto de vital importancia. De ahí la necesidad de proponer técnicas, diseño y materiales adecuados para usos en áreas marinas tropicales [2].

Para este trabajo, se ubicó como zona de estudio, el medio natural costero del Golfo de México, frente a la Ciudad de San Francisco de Campeche (Campeche, México) y se evaluó la velocidad de corrosión de las aleaciones acero al carbono 1045, acero inoxidable 316 y bronce, después de un año de exposición al agua de mar. El estudio demostró que de entre las aleaciones ensayadas, el acero al carbono presentó la más alta velocidad de corrosión dada su mayor pérdida de masa. Resultados similares fueron obtenidos por Al-Fozan y Malik [3].

Con la realización de este trabajo, quedó en claro la importancia de caracterizar el comportamiento de metales en zonas costeras tropicales, así como la corrosividad del agua de mar sobre metales de uso ingenieril para conocer su nivel de deterioro y tomar medidas pertinentes para prolongar la vida útil de la infraestructura marina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante un ciclo anual comprendido entre los meses de noviembre de 2010 a octubre de 2011. Se prepararon y acondicionaron mediante pulido a espejo 16 especímenes cilíndricos de acero al carbono 1045 y acero inoxidable 316 (1.90 cm de diámetro por 1 cm de espesor) y bronce (2.22 cm de diámetro x por cm de espesor). Posteriormente se fijaron en un rack de malla metálica y se expusieron a un metro de profundidad a la acción del agua de mar en las instalaciones portuarias de Secretaría de Marina, en el

poblado de Lerma, aledaño a la ciudad de San Francisco de Campeche (Campeche, México).

Cuatro especímenes de cada material fueron retirados trimestralmente. Tres de ellos se emplearon para determinar la velocidad de corrosión de cada aleación mediante ensayos gravimétricos, para lo cual fueron limpiados siguiendo los criterios de la Norma ASTM G1-03[4]. La velocidad de corrosión se obtuvo a partir de la siguiente ecuación [1]:

$$v_{corr} = \frac{\Delta m}{t\rho A} \quad (1)$$

donde:

Δm = Diferencia de masa entre el peso final y el peso inicial de la muestra después de cada periodo de exposición.

t = tiempo de exposición (año)

ρ = densidad del material (g/cm^3)

A = área de exposición (cm^2)

El cuarto espécimen se destinó para análisis morfológico y químico mediante SEM/EDS. Para ello se empleó un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-7600 que contaba con un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Velocidad de Corrosión.

La velocidad de la corrosión obtenida mediante ensayo gravimétrico para las diferentes aleaciones en la estación de ensayo después de cada periodo de exposición al agua de mar se muestra en la Tabla 1. En todos los casos se observó una disminución gradual de la tasa de corrosión con respecto al tiempo. En este sentido, los mayores valores de corrosión se observaron en el acero al carbono 1045, seguido de bronce y acero inoxidable 316.

Tabla 1. Velocidades de corrosión por pérdida de peso en agua de mar del Acero al carbono 1045, Acero inoxidable 316 y Bronce.

Velocidad de corrosión, v ($\mu\text{m}/\text{año}$)			
Tiempo (meses)	Acero al Carbón	Bronce	Acero inoxidable
3	221	101	3
6	203	90	2
9	156	46	0.5
12	128	35	0.2

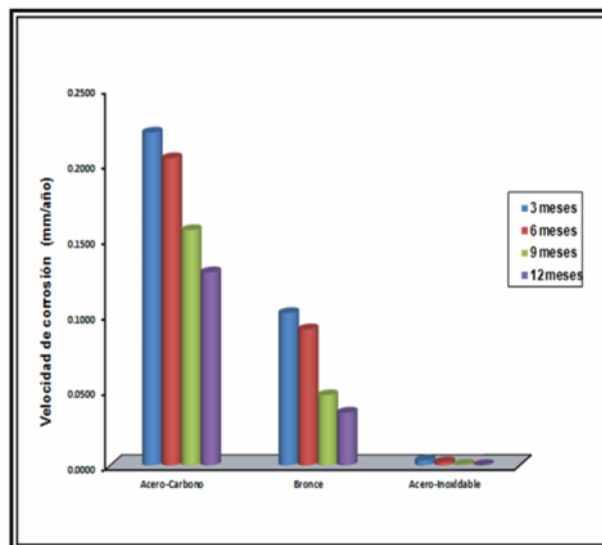


Fig.1. Seguimiento de las velocidades de corrosión por pérdida de peso del Acero al carbono 1045, Acero inoxidable 316 y Bronce.

El acero al carbono es un material de alta reactividad en agua de mar. Su considerable velocidad de corrosión se encuentra asociada a la alta porosidad y poca adherencia de sus productos de corrosión, lo que facilita su continuo desprendimiento, dejando la superficie metálica expuesta nuevamente a la acción del agua de mar. Genescá [5], menciona que la velocidad media de corrosión en agua de mar no contaminada para el acero de bajo contenido en carbono, es de $0.12 \mu\text{m}/\text{año}$. Los valores obtenidos después de un año de exposición resultaron considerablemente más elevados ($177.36 \mu\text{m}/\text{año}$), lo que infiere mayor agresividad en aguas litorales de Campeche. Por otra parte, la resistencia a la corrosión del acero inoxidable se debe a su contenido de cromo, cuya alta afinidad por el oxígeno permite la formación de una capa pasiva que evita la corrosión del hierro contenido en la aleación, lo que ayuda a retrasar la aparición de picaduras en la superficie del metal. Sin embargo, una vez que las picaduras se inician, a niveles altos de oxígeno la velocidad de propagación es mayor [6]. Esto resulta particularmente importante en presencia de iones cloruro, tal y como ocurre en agua de mar [7].

La Figura 1 ilustra visualmente la diferencia de velocidades de corrosión de las aleaciones y su disminución con el transcurso del tiempo.

Por su parte, el bronce es un material que muestra tasas de corrosión relativamente bajas, sin embargo, estos valores pueden incrementarse seriamente ante la presencia de ácidos oxidantes, oxidantes de metales pesados, sales, amoníaco y compuestos que contienen azufre [8]. Su comportamiento inicial en agua de mar se ve fuertemente influenciado por la presencia de sales disueltas como el cloruro de sodio y por las temperaturas cálidas características de zonas costeras tropicales. El bronce (al igual que las otras aleaciones), tiende a presentar una disminución de la velocidad de corrosión en etapas posteriores. Este comportamiento, es probablemente consecuencia de la fijación de organismos marinos incrustantes a la superficie metálica, ya que con el paso del tiempo el incremento de la biomasa sobre la superficie metálica, formó una barrera física protectora ante la acción corrosiva del agua de mar (Figura 2). El crecimiento de organismos marinos es objeto de estudio actualmente por su efecto en la corrosión de aleaciones en medio marino [9].

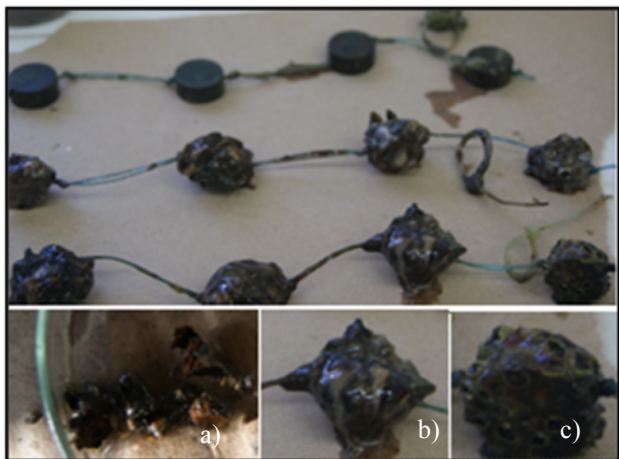


Fig. 2. Depósitos biológicos formados sobre la superficie de las aleaciones de a) bronce, b) acero inoxidable 316, c) acero al carbono 1045.

Análisis SEM/EDS

La cuarta probeta, se empleó para analizar los productos de corrosión formados sobre la superficie corroída de las probetas metálicas empleando SEM/EDS. Los análisis se realizaron después de tres, seis, nueve y doce meses de exposición en el medio marino.

Acero al Carbono.

Las Figuras 3 a 6, corresponden a las imágenes SEM obtenidas en el acero al carbono 1045, así como sus respectivos espectros EDS. Durante el análisis al microscopio electrónico se observó que desde periodos iniciales, el metal sufrió un proceso de corrosión uniforme, con productos de corrosión de aspecto homogéneo, que sin embargo con el paso del tiempo aumentaban en espesor y heterogeneidad.

En la Tabla 2, se presenta el seguimiento de la composición química en los productos de corrosión de los especímenes de acero al carbono. Se observa la variación de elementos en las diferentes etapas de la exposición.

Los espectros EDS correspondientes a la muestras de acero al carbono muestran al Fe como elemento predominante en los productos de corrosión, ya que es el elemento mayoritario de la aleación. Su contenido varía con el paso del tiempo hasta hacerse máximo después de doce meses de de exposición. Este comportamiento

también fue observado con otros elementos microaleantes como C y Si, aunque en el primero de los casos, su incremento también es consecuencia de la acumulación continua de depósitos calcáreos originados por la incrustación de organismos marinos como caracoles y conchas [10]. Por su parte, la concentración en peso de Si solo comenzó a notarse en los productos de corrosión a partir del noveno mes de exposición, como consecuencia de una mayor disolución del metal base [11].

Como elementos ajenos a la aleación, se observaron S, Ca, y Cl, los cuales forman parte de diversas sales disueltas en el agua de mar. El primero se encuentra en forma de sulfatos de calcio (CaSO_4) y potasio (K_2SO_4). Por su parte, el Ca también está presente en agua de mar como carbonato de calcio (CaCO_3) [5], mientras que el Cl se encuentra en forma sales de magnesio (MgCl_2), potasio (KCl) y sodio (NaCl).

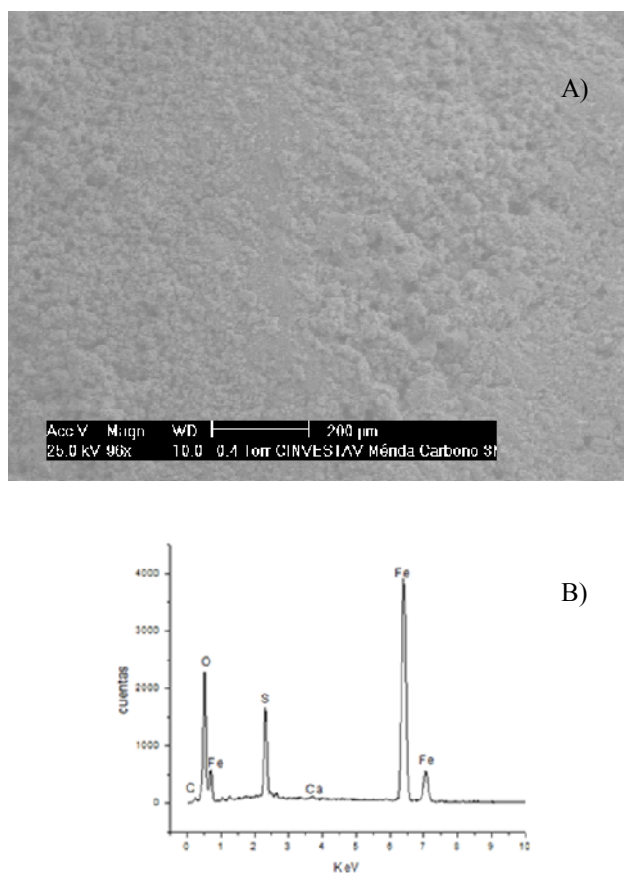


Fig. 3. Acero al carbono a los 3 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

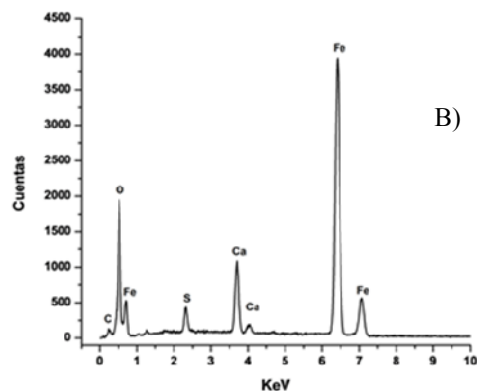
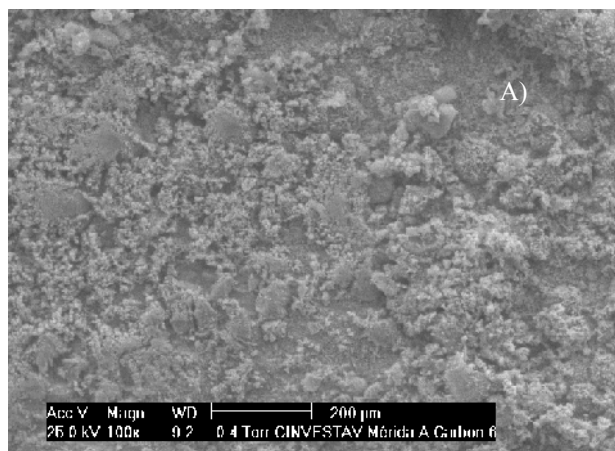


Fig. 4. Acero al carbono a los 6 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

Las Figuras 7 a 10, muestran las micrografías SEM y los espectros EDS correspondientes de las muestras de bronce retiradas después de tres, seis, nueve y doce meses de exposición. Los productos de corrosión formados sobre la superficie del bronce presentan formación de pátinas originadas por la oxidación del metal, así como también por la reacción de especies química presentes en el agua de mar. Estas pátinas, actúan como un revestimiento que protege al metal contra su deterioro [12].

Durante las etapas iniciales de exposición, los productos de corrosión se distribuyen de manera homogénea sobre la superficie del metal, formando capas sucesivas, que en algunos puntos adquieren aspecto de ampollas que en etapas posteriores se fragmentan, dejando expuesta la superficie metálica a la acción del agua de mar (Figura 7-A). Estas estructuras tienden a desaparecer después de

seis meses de exposición, momento en el cual los productos de corrosión adquieren mayor uniformidad y espesor. Su continuo crecimiento en meses posteriores deja descubierta la aparición de discontinuidades en formas de grietas que se forman en la superficie de la pátina [12].

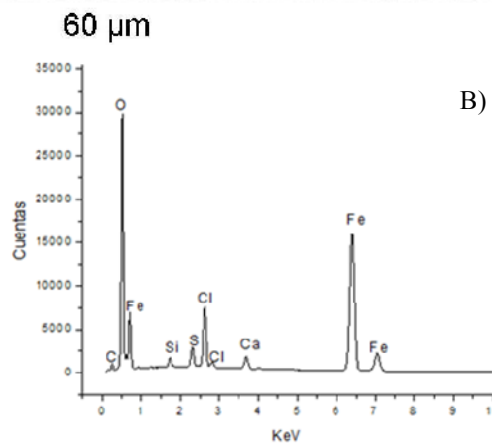
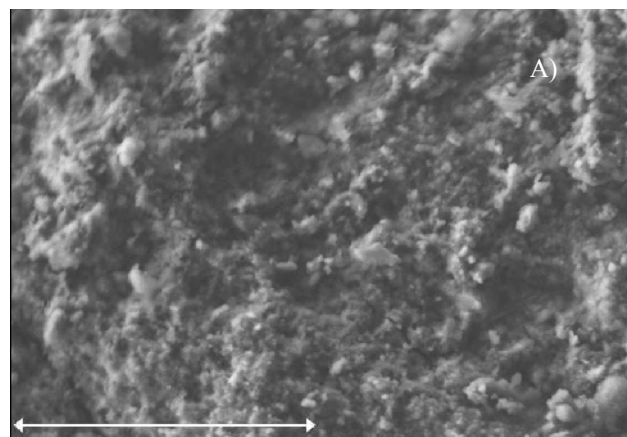


Fig. 5. Acero al carbono a los 9 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

Así mismo, se pudieron observar algunos depósitos calcáreos e incrustaciones de origen marino.

Las Figuras 7 y 8, que corresponden a la aleación de bronce, mostraron productos de corrosión formados después de 3 y 6 meses de exposición que contenían O y Cu como elementos de mayor abundancia, así como Zn, Pb y Sn que se encontraron en bajas cantidades en la aleación. Se observaron también incrustaciones marinas formando depósitos ricos en Ca y Si. También se detectó

la presencia de elementos como Na y Cl, que son constituyentes del agua de mar [5]. El cloro, es de gran importancia ya que es uno de los elementos que causa mayor daño a las aleaciones de cobre, pues es capaz formar productos de corrosión inestables.

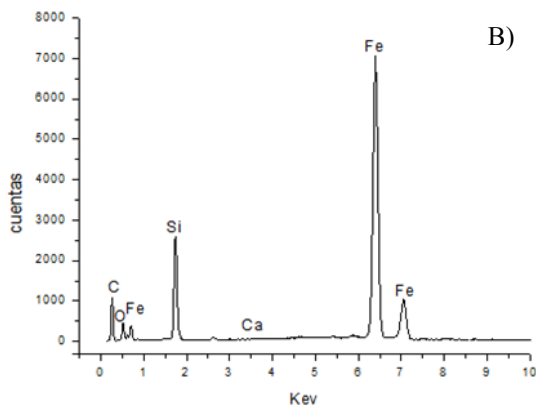
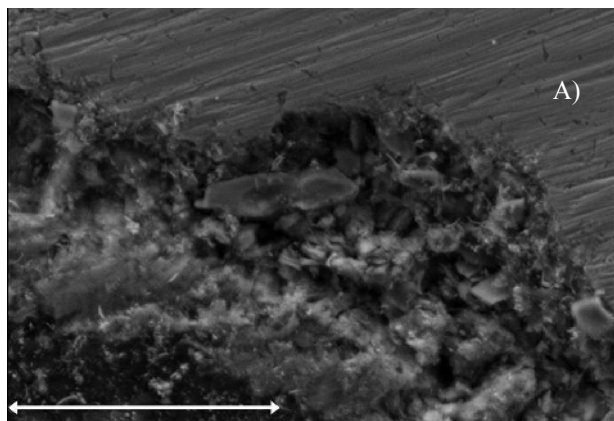


Fig. 6. Acero al carbono a los 12 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

La Figura 9, muestra pequeños agrietamientos sobre las películas de corrosión de bronce, formados después de 9 meses de exposición, probablemente a consecuencia de su crecimiento, la cual después de 12 meses de exposición, alcanza espesores de entre 25 y 60 μm (Figura 10-A). En ellas se puede apreciar también un aumento relativo en los elementos como C, Si Mg y S.

Tabla 2. Porcentaje en peso de la composición química de los productos de corrosión del acero al carbono.

ACERO AL CARBONO				
Elemento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
	% Peso	% Peso	% Peso	% Peso
Fe	62.02	63.36	39.82	67.39
O	28.39	27,94	45.83	---
S	9.27	2.22	1.63	---
Ca	0.33	6.48	1.23	0.07
Cl	---	---	5.5	----
C	---	---	5.27	24.83
Si	---	---	0.72	7.54

Bronce.

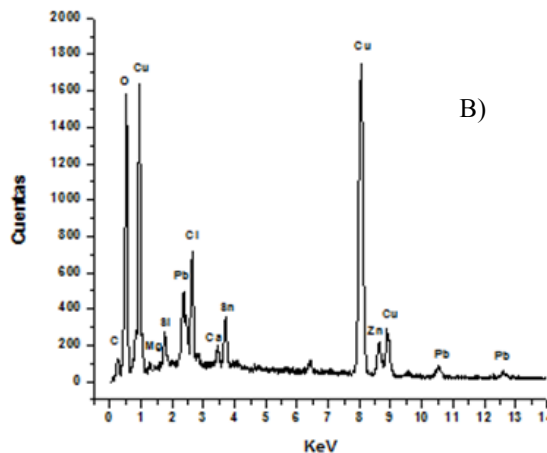
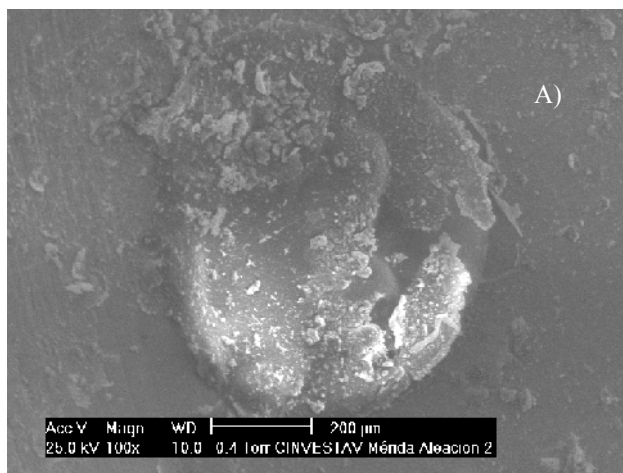


Fig. 7. Bronce a los 3 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

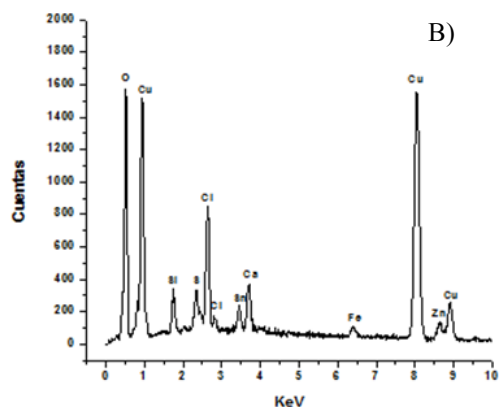
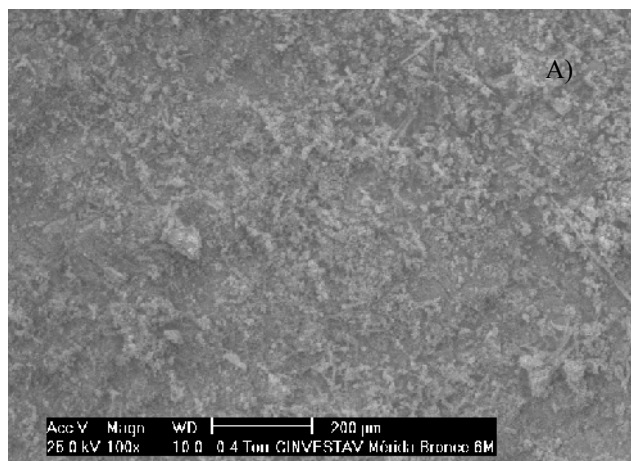


Fig. 8. Bronce a los 6 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

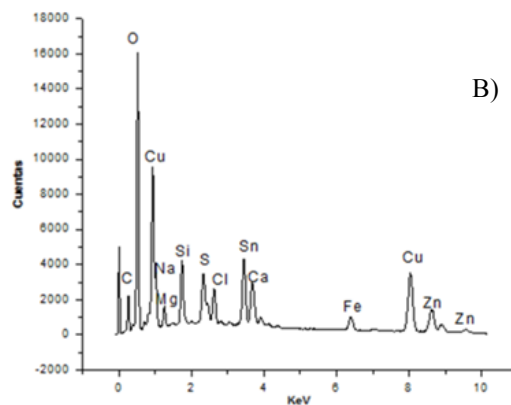
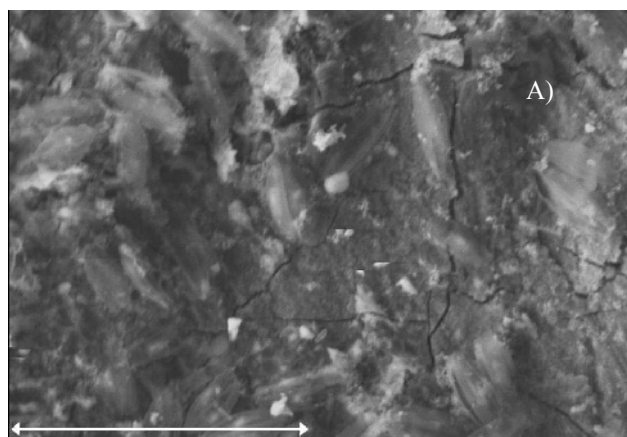


Fig. 9. Bronce a los 9 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

Se observó también disminución del contenido de Ca en la capa de corrosión con el paso del tiempo. El depósito de esta especie se origina en organismos marinos incrustantes que se fijan a la superficie del metal, como fue observado en el caso del acero al carbono, sin embargo la liberación de elementos tóxicos de la aleación de bronce, como Cu Sn o Pb [13], y su incorporación a los productos de

corrosión crea condiciones agresivas para la colonización *in situ* por parte de estas especies lo que se refleja en la pobre proporción de Ca observado en sus productos de corrosión. El Zn, por su parte, es un elemento perteneciente a la aleación que se agrega para mejorar su resistencia a la corrosión en agua de mar [13].

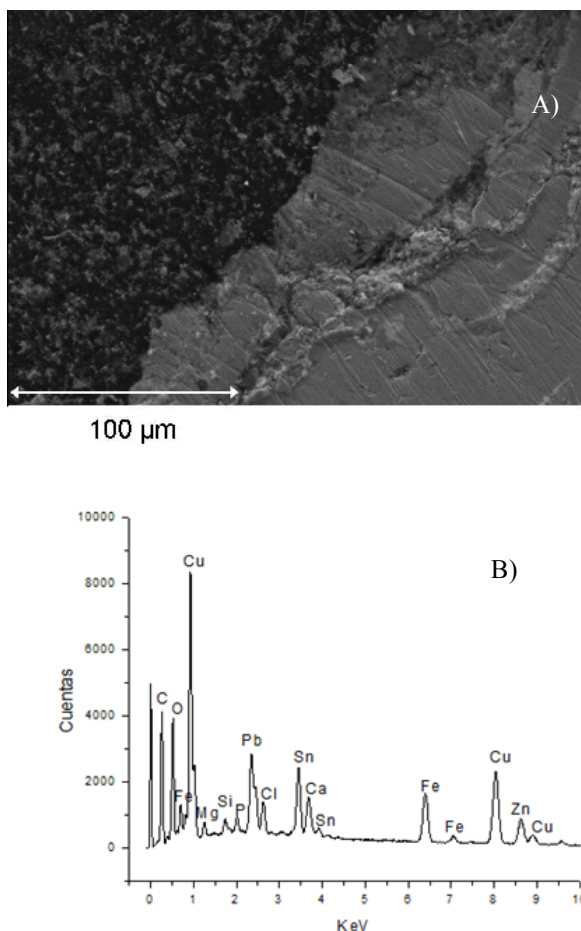


Fig. 10. Bronce a los 12 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) Composición elemental mediante EDS.

Tabla 3. Porcentaje en peso de la composición química de los productos de corrosión del bronce.

BRONCE				
Elemento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
	% Peso	% Peso	% Peso	% Peso
Cu	41.94	48.12	16.58	16.81
O	27.39	31.46	42.68	20.58
C	7.24	---	11.82	29.81
Zn	5.1	4.05	8.28	7.53
Cl	4.22	6.78	1.82	1.23
Sn	2.1	3.43	9.7	8.34
Ca	1.59	2.03	0.74	0.34
Si	1.44	2.75	2.68	---
Mg	0.66	---	1.32	0.69
Pb	8.32	---	---	8.02
S	---	1.91	1.47	---
Fe	--	--	1.97	6.01
Na	--	--	0.93	--
P	--	--	--	0.63

La Tabla 3 presenta la composición química para los especímenes de bronce. Se observa la variación de elementos en las diferentes etapas de la exposición.



Fig. 11. Ataque localizado sobre el Acero Inoxidable.

Acero Inoxidable.

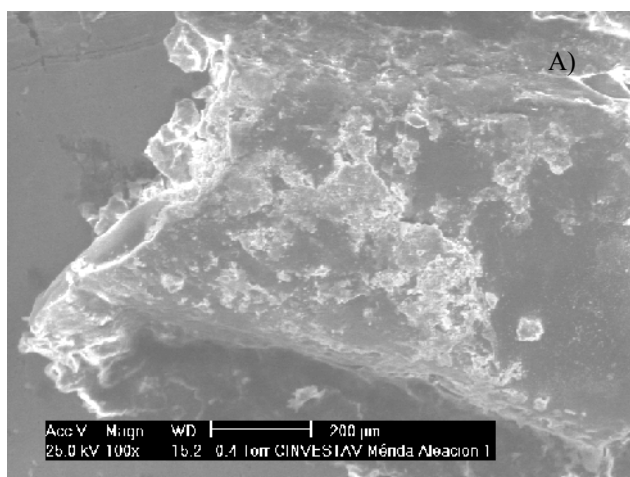
Las Figuras 12 a 15, corresponden al acero inoxidable 316 después de 3, 6, 9 y 12 meses de exposición al agua de mar en la estación de ensayo. En ellas se pueden apreciar detalles de la lenta evolución de la formación de las películas de corrosión sobre la superficie metálica. Su aspecto macroscópico muestra heterogeneidades que corresponden a ataque localizado sobre la superficie del metal.

En el caso del acero inoxidable, se pudo apreciar que una misma serie es susceptible de mostrar diferentes grados de daño, tal y como lo demostró la distribución aleatoria de las picaduras en la superficie de esta aleación (Figura 11). Así mismo, y a diferencia de lo observado con las probetas de acero al carbono y bronce, no se observó colonización generalizada de organismos incrustantes sobre su superficie.

Las imágenes SEM correspondientes a cada periodo de exposición demuestran que a partir de los 9 meses, aparecen grietas sobre películas de corrosión y el desarrollo de picaduras (Figuras 12-15). La Figura 14-A.2

muestra una picadura de cerca de 100 micrómetros de diámetro, que correspondió a cerca del 33 % del espesor de la probeta de acero inoxidable sobre la cual se formó, lo que da una idea general de la gravedad del ataque. Se sabe, que en aceros austeníticos con clasificación 316, los iones cloruro pueden originar procesos de corrosión por picadura, que se caracteriza por pérdida mínima de material, (del orden de micrómetros), pero que pueden adquirir una profundidad considerable, lo que ocasiona estragos en piezas sometidas a esfuerzos mecánicos [14, 15].

En la Tabla 4, se presenta la composición química de los productos de corrosión para los especímenes de acero inoxidable 316. Se observa la variación de elementos en las diferentes etapas de exposición.



Del análisis de composición elemental de la superficie corroída de las probetas de acero 316 se observó la presencia de metales componentes de la aleación (Fe, C, Si, Cr, Ni y Mo), así como cantidades minoritarias de elementos de origen marino como Mg, Ca, Cl, y N.

Estos últimos, (incluyendo cantidades variables de C) se incorporan mediante diversos mecanismos de reacción a los productos de corrosión, a partir de sales de sulfato, nitrato, carbonato y cloruro disueltos en el agua de mar. Por su parte, componentes de la aleación como Fe, y Cr son liberados del material base como lo demuestra su proporción con respecto a su concentración en la aleación [16, 17].

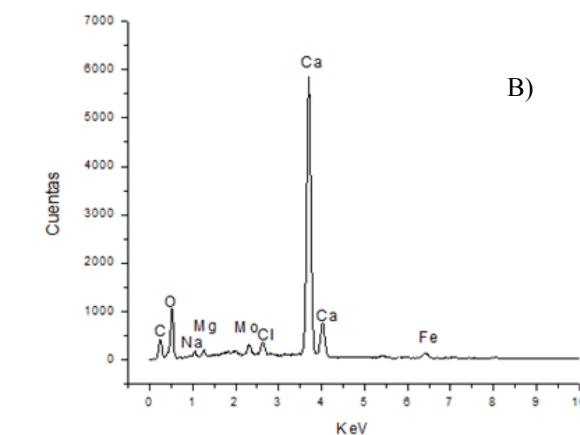
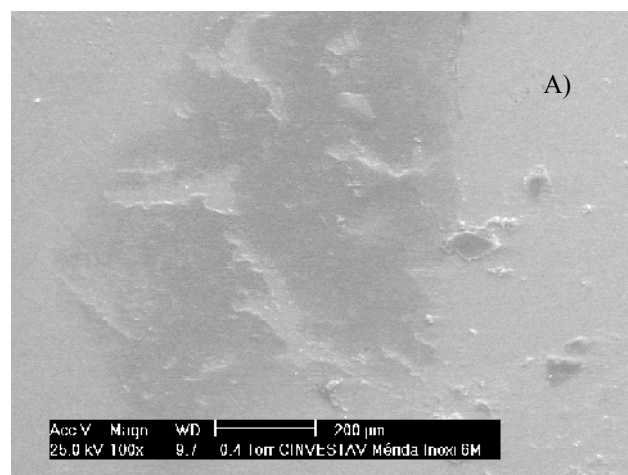


Fig. 13. Acero inoxidable a los 6 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

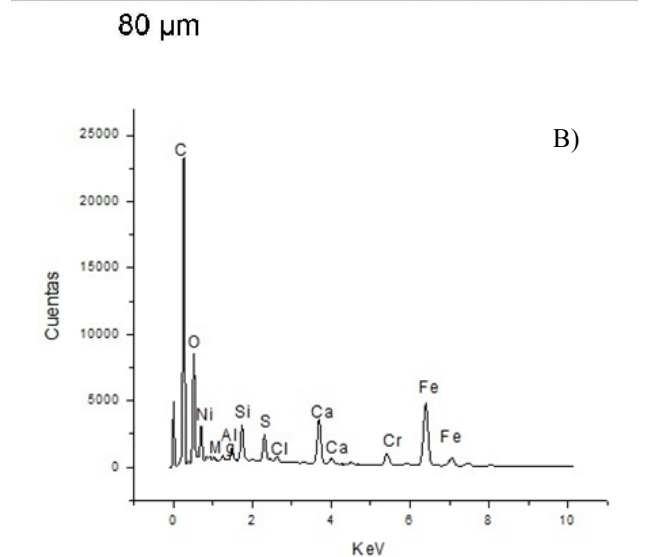
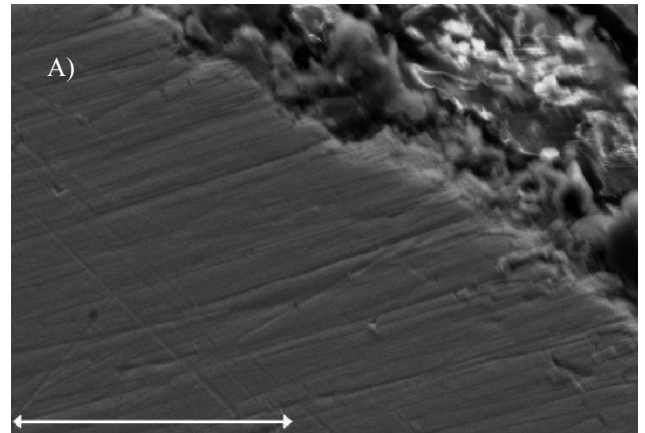
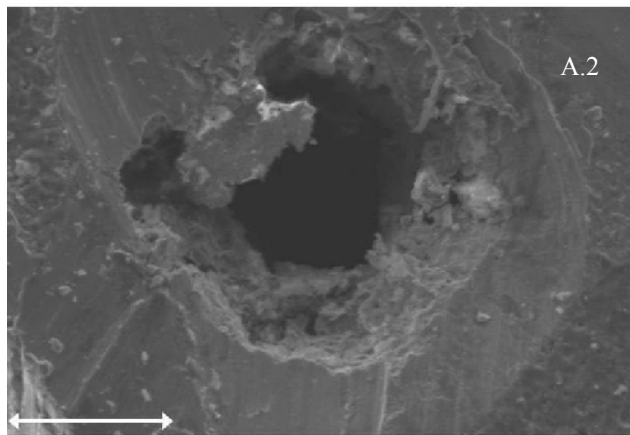
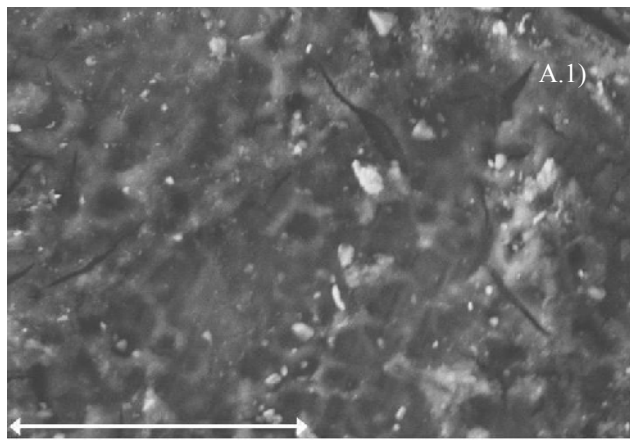


Fig.15. Acero inoxidable a los 12 meses de exposición en agua marina. A) Morfología mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

Fig.14. Acero inoxidable a los 9 meses de exposición en agua marina. A.1) Morfología, A.2) Picadura mediante SEM, B) composición elemental mediante EDS.

Tabla 4. Porcentaje en Peso, de la Composición Química obtenida del Acero Inoxidable.

ACERO INOXIDABLE 316				
Elemento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
	% Peso	% Peso	% Peso	% Peso
Fe	26.62	1.96	14.37	14.61
O	31.89	40.37	21.58	---
Ca	27.37	38.21	0.93	3.61
Cr	7.52	---	4.09	1.88
Ni	3.61	---	1.87	0.94
S	1.37	---	1.5	1.39
Si	0.81	---	0.54	1.69
Mn	0.8	---	0.38	---
C	---	13.19	38.28	74.68
Mo	---	1.97	---	---
Na	---	1.69	1.82	---
Cl	---	1.44	2.36	0.38
Mg	---	1.16	0.46	0.27
N	---	---	11.45	---
Al	---	---	0.38	0.56

CONCLUSIONES

1. El análisis SEM/EDS mostró las particularidades del proceso de corrosión de los metales expuestos. Se observó un crecimiento homogéneo de óxidos para el acero al carbono. En cuanto al acero inoxidable, sobre la superficie se depositaron compuestos de tipo calcáreo y el ataque localizado del tipo de picadura. Para el bronce se percibió un crecimiento de productos de corrosión en capas, que presentaron rompimientos de manera periódica. En todos los casos se hizo notoria la incorporación de elementos del agua de mar sobre la superficie.

2. De las tres aleaciones estudiadas, el acero al carbono fue el que presentó el mayor deterioro de corrosión en su superficie describiéndose como un daño negativo. Por el contrario, el acero inoxidable fue el metal con mayor

resistencia a la corrosión, sin embargo presentó corrosión localizada inducida por la presencia de iones cloruro, la cual avanzó hacia el interior del metal. En el bronce la corrosión fue a nivel superficial, sin embargo sus productos se formaron en capas, lo que redujo el avance del proceso de corrosión. Para las 3 aleaciones, se observó que la velocidad de corrosión fue disminuyendo con el tiempo de exposición.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto PROMEP “Mapa de corrosividad de agua de mar en regiones costeras de México”. Se agradece el apoyo prestado por la Secretaría de Marina (Sector Naval 7) y al CINVESTAV Unidad Mérida, a través del proyecto: YUC-2008-C06-108160. Desarrollo de infraestructura científica para el estudio de biomateriales, macromoléculas y nanomateriales, así como al Ingeniero Wiliam Cauich, por el apoyo técnico prestado durante los análisis SEM/EDX.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ávila J., Genescá J. (1987). “*Más allá de la Herrumbre*”. 1^{ra} Edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- [2] Husain E. E, Narayanan T. N, Taha-Tijerina J. J., Vinod S., Vajtai R., and Ajayan P. M. (2013) “Marine Corrosion Protective Coatings of Hexagonal Boron Nitride Thin Films on Stainless Steel”, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 5: 4129–4135
- [3] Al-Fozan S. A. and Malik A. U. International Desalination Association (IDA) World Congress Conference held at Singapore in 2005.
- [4] ASTM G1-03 (2001). Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.
- [5] Genescá J. (1994). “*Más allá de la Herrumbre III: Corrosión y medio ambiente*”. 1^{ra} Edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

- [6] Farro N., Veleva L., Aguilar P. (2009). "Copper Marine Corrosion: I. Corrosion Rates in Atmospheric and Seawater Environments of Peruvian Port" *The Open Corrosion Journal* 2: 130-138
- [7] Schweitzer A. (2007). "Fundamentals of metallic corrosion atmospheric and media corrosion of metals. Corrosion Engineering Handbook". 2nd Edition, Florida, USA.
- [8] Levin M., Wiklund P., Leygraf, C. (2012) "Bioorganic compounds as copper corrosion inhibitors in Hydrocarbon media" *Corrosion Science* 58: 104–114
- [9] Vedaprakasha L., Dineshramb R., Ratnamb K., Lakshmi K., Jayarajb K., Mahesh Babub S., Venkatesanb R., Shanmugam A. (2013) "Experimental studies on the effect of different metallic substrates on marine biofouling", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 106:1–10.
- [10] Barba, L., Rodríguez, R., Córdoba, J. (1991). "Manual de técnicas microquímicas de campo para la arqueología". Cuaderno de investigación. ISBN 968-36-2184-8. 1^{ra} Edición. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM. México, D. F.
- [11] Este P., Sáenz L. (2004). "Evaluación de la Resistencia a fatiga y límite de fatiga de aceros de medio y bajo carbón". Órgano de Divulgación Científica y Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. ISSN (versión impresa): 1316-6832. Venezuela.
- [12] Núñez L., Reguera E., Corvo F., González E., Vázquez C. (2005). "Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island" *Corrosion Science* 47:461-484
- [13] Martín W., Castellanos-Gonzales L., Hernández-Ferreira A. (2003). "Estudio de la corrosión de uniones de latón en redes de distribución del agua". Centro de estudios de Desarrollo de la Oleohidráulica y Neumática. Facultad de Mecánica, Universidad de Cienfuegos, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba.
- [14] Anderson B. (2001). *The 8 types of corrosion*. Transferring Expert Knowledge Migas. Indonesia. M.E. 464.
- [15] Galvele J., Duffó G. (2003). "Degradación de materiales-I: Corrosión". Instituto Sabate: Buenos Aires. UNSAM – CNEA, Argentina.
- [16] Wallen B. (1990). "Some factors affecting stainless Steel corrosion in seawater". Avesta Corrosion Management. S-77480. Sweden.
- [17] Zaragoza-Ayala A., Orozco Cruz R. (1999). "Crevice and pitting corrosion behavior of stainless steels in seawater", NACE No. 320.