

The Materials Research Society (MRS)

XI NACE Central Mexico Section

International Congress

XXI International Materials Research Congress 2012

Cancún, México

Citlalli Gaona Tiburcio

Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL.
Facultad de Ingeniería Mec. y Eléctrica, FIME
Centro de Investigación e Innovación en
Ingeniería Aeronáutica, CIIIA.
Carretera a Salinas Victoria Km. 23. Apocada.
Nuevo León. México
E-mail: citlalli.gaonat@uanl.mx

Claudia López Meléndez

Centro de Inv. en Mat. Avazados, S.C
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Ind.
Chihuahua. Chihuahua, Chih., México
E-mail: claudia.melendez@cimav.edu.mx

Adán Borunda Terrazas

Centro de Inv. en Mat. Avazados, S.C
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Ind.
Chihuahua. Chihuahua, Chih.,
E-mail: méxicodan.borunda@cimav.edu.mx

Patricia del Carmen Zambrano Robledo

Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL.
Facultad de Ingeniería Mec. y Eléctrica, FIME
Centro de Investigación e Innovación en
Ingeniería Aeronáutica, CIIIA.
Carretera a Salinas Victoria Km. 23. Apocada.
Nuevo León. México
E-mail: patricia.zambranor@uanl.edu.mx

Ariana Lisseth Alvarado Gutiérrez

Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL.
Facultad de Ingeniería Mec. y Eléctrica, FIME
Centro de Investigación e Innovación en
Ingeniería Aeronáutica, CIIIA.
Carretera a Salinas Victoria Km. 23. Apocada.
Nuevo León. México
E-mail: ariana.alvaradogt@uanl.edu.mx

Facundo Almeraya Calderón

Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL.
Facultad de Ingeniería Mec. y Eléctrica, FIME
Centro de Investigación e Innovación en
Ingeniería Aeronáutica, CIIIA.
Carretera a Salinas Victoria Km. 23. Apocada.
Nuevo León. México
E-mail: facundo.almerayac@uanl.mx

Centro de Inv. en Mat. Avazados, S.C
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Ind.
Chihuahua. Chihuahua, Chih., México
E-mail: facundo.almeraya@cimav.edu.mx

“STRESS CORROSION CRACKING OF 2024-T351 ALUMINUM FOR AERONAUTICAL APPLICATIONS”

ABSTRACT

This research presents the experimental results of the evaluation of aluminum 2024-T351 by stress corrosion cracking. The experimental results were obtained by the constant extension rate test technique (CERT), using three different extension rates (1×10^{-6} , 2×10^{-6} and 7×10^{-6} mm/s-1), using electrochemical noise technique. The specimens were immersed in two different concentrations of NaCl. The characterization was carried out by scanning electron microscopy (SEM) after the aluminum failed. The images showed that the aluminum alloy did not show pitting or other form of corrosion. The failure was caused by the mechanisms of stress applied to the alloy.

Keywords: SCC, aluminum alloy, electrochemical techniques

RESUMEN

Esta investigación presenta los resultados experimentales de la evaluación por Corrosión Asistida por Esfuerzo del aluminio 2024-T351. Estos resultados fueron obtenidos por el ensayo a velocidad de extensión constante (CERT), usando tres diferentes velocidades (1×10^{-6} , 2×10^{-6} and 7×10^{-6} mm/s-1), y la técnica de ruido electroquímico. Los especímenes estuvieron inmersos en dos diferentes concentraciones de NaCl. La caracterización se hizo con el microscopio electrónico de barrido (MEB) posterior a la falla del aluminio. Las imágenes mostraron que la aleación de aluminio no presentaron picado u otra forma de corrosión. La falla fue causada por el mecanismo de esfuerzos aplicados a la aleación.

Palabras clave: CAE, aleación de aluminio, técnicas electroquímicas

INTRODUCCIÓN

Cuando existe un esfuerzo mecánico sobre un metal o aleación que se encuentra en un medio corrosivo, puede originarse el agrietamiento del material metálico y posteriormente su rotura. El esfuerzo mecánico puede ser debido a tensiones residuales o a tensiones externas, en cuyo caso puede tener lugar el agrietamiento por corrosión asistida por esfuerzo (CAE), o bien tratarse de esfuerzos alternados, dándose entonces el fenómeno de corrosión por fatiga (CF) ^[1].

La CAE es muy peligrosa, se presenta cuando materiales metálicos son sometidos a la acción conjunta de esfuerzos de tracción y a un medio corrosivo específico, estos sufren el fenómeno de agrietamiento por corrosión y esfuerzo debido al cual presenta nucleación, crecimiento y propagación de grietas a niveles muy bajos de esfuerzos mecánicos. Este un tipo de corrosión localizada puesto que se puede propagar sin ningún daño visible que pueda ser observado, y se asocia con un proceso donde la disolución anódica inicia en un sitio localizado y es continuado a lo largo de caminos específicos en el material. La composición de la aleación, la concentración de especies corrosivas y la intensidad del esfuerzo influyen en este proceso ^[2].

El agrietamiento que ocurre en este caso, se considera un proceso electroquímico que puede acelerarse por la aplicación de una corriente anódica, siempre que exista un camino químicamente reactivo en el metal anódico, y o puede ser detenido por una corriente catódica, descartando así la acción mecánica como responsable única del proceso ^[3].

El Ruido electroquímico son fluctuaciones aleatorias del potencial o de la corriente de un material sujeto a corrosión y es una técnica que no altera el estado del sistema en estudio, ya que no existe perturbación externa para la realización de las mediciones. Uruchurtu Ch. empezó a trabajar esta técnica en 1984, y afirmaba que "el ruido electroquímico parece reflejar la suma individual de los eventos aleatorios, y el valor cuadrado medio (raíz cuadrática r.m.s.) de amplitud de estos eventos o desviación estándar se ha visto que provee la *huella dactilar* de la cantidad de metal disuelto, dependiendo de la combinación metal-medio ambiente" ^[4]. La técnica de ruido electroquímico es sensible a las fluctuaciones de potencial causadas por fenómenos de repasivación - despasivación, y es ideal para una evaluación rápida de la susceptibilidad de un material a la corrosión por picaduras antes de que aparezca el primer indicio de que se esté formando alguna.

La aleación de aluminio (AA) 2024-T351 es ampliamente utilizada en la industria de la Aeronáutica debido a su relativamente baja densidad, excelentes propiedades mecánicas y buena resistencia a la corrosión. Hay estudios recientes que muestran el comportamiento electroquímico de esta aleación ^[5]. En este trabajo el objetivo fue determinar la susceptibilidad de la aleación al fenómeno de CAE. Se emplearon para ello la técnica CERT (prueba a velocidades de extensión constante), y la de Ruido Electroquímico. La aleación se expuso a un medio agresivo de 3.5 y 5% de NaCl, a diferentes velocidades de deformación ^[6]. Los especímenes ensayados fueron caracterizados por el microscopio óptico y el microscopio electrónico de barrido (MEB).

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para los ensayos de deformación se empleó la maquina CERT a diferentes velocidades de extensión, de acuerdo a la norma ASTM G 129 ^[7]. El material empleado fue una barra de aluminio 2024 - T351, maquinada como lo indica la norma NACE Standard TMO177-96. El monitoreo de Ruido Electroquímico ^[8] se obtuvo con un Potenciostato-Galvanostato/ZRA, tomando 1 dato/seg.

Los electrodos utilizados fueron: platino como auxiliar, Ag/AgCl de referencia y el aluminio como electrodo de trabajo. Cada probeta se caracterizó empleando microscopio óptico, microscopio estereoscópico y microscopio electrónico de barrido.

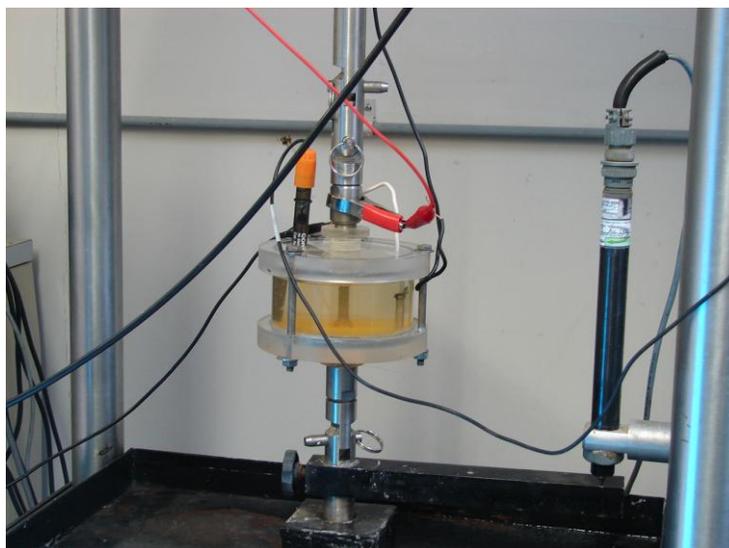


Imagen 1. Arreglo experimental de corrosión asistida por esfuerzo

RESULTADOS

En los resultados de las pruebas que se hicieron sometiendo a tensión el espécimen, se observa que no hay gran diferencia entre el esfuerzo máximo de los ensayos en el medio inerte y en los medios agresivos, comparando con los valores teóricos del esfuerzo máximo de la aleación (norma ASTM B211) ^[9], ver tabla 1. En la figura 1 se muestra la curva esfuerzo-deformación obtenida a una velocidad de extensión de $1 \times 10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$, y se observa un comportamiento similar en los tres medios analizados, mostrando que el medio corrosivo no influye en el crecimiento de las grietas y en la falla del material.

Tabla 1 Resultados de las curvas esfuerzo-deformación

Velocidad de extensión (mm/s^{-1})	Velocidades de deformación ($/\text{s}^{-1}$)	Medio	Esfuerzo máximo (kg/mm^2)	Tiempo de falla (h)
1×10^{-6}	8.1×10^{-7}	Glicerol	48.616	72.06
	8.2×10^{-7}	NaCl 3.5 %	47.791	73.54
	8.9×10^{-7}	NaCl 5 %	47.797	78.03
2×10^{-6}	1.7×10^{-6}	Glicerol	48.603	36.00
	1.7×10^{-6}	NaCl 3.5 %	48.053	35.24
	1.6×10^{-6}	NaCl 5 %	48.517	37.30
7×10^{-6}	5.9×10^{-6}	Glicerol	48.659	10.00
	6.2×10^{-6}	NaCl 3.5 %	47.532	10.00
	6.0×10^{-6}	NaCl 5 %	47.644	11.03

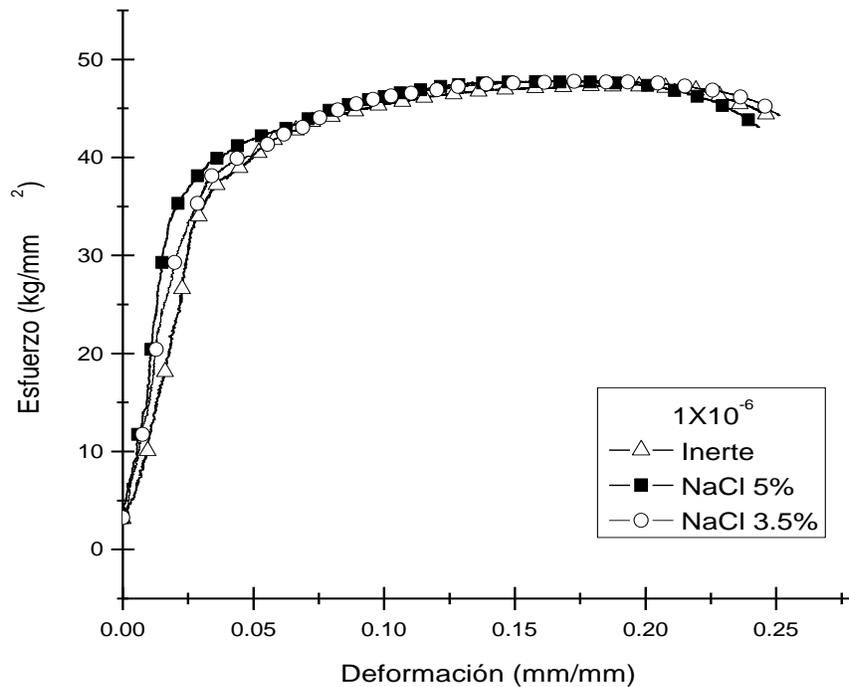


Figure 2. Curva de esfuerzo-deformación del AA y a una velocidad de extensión de $10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$ en los tres medios ensayados

En forma simultánea al ensayo mecánico, se realizó el monitoreo de ruido electroquímico, lo cual es posible, debido a que es una técnica no destructiva ^[10]. En las figuras 2 a 4 se presentan las series de tiempo en corriente y en potencial, a una velocidad de extensión de $1 \times 10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$.

En figura 2 se pueden observar los resultados del medio inerte, y es claro que el potencial no presenta fluctuaciones severas ni potenciales negativos; por lo tanto aparece como ruido blanco ^[11-12]. Sin embargo, en los medios corrosivos, las fluctuaciones del potencial son negativas y de baja intensidad, debido a la activación del espécimen con el medio (Figuras 3 y 4). A las velocidades de extensión de $2 \times 10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$ y $7 \times 10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$, se observó un comportamiento similar.

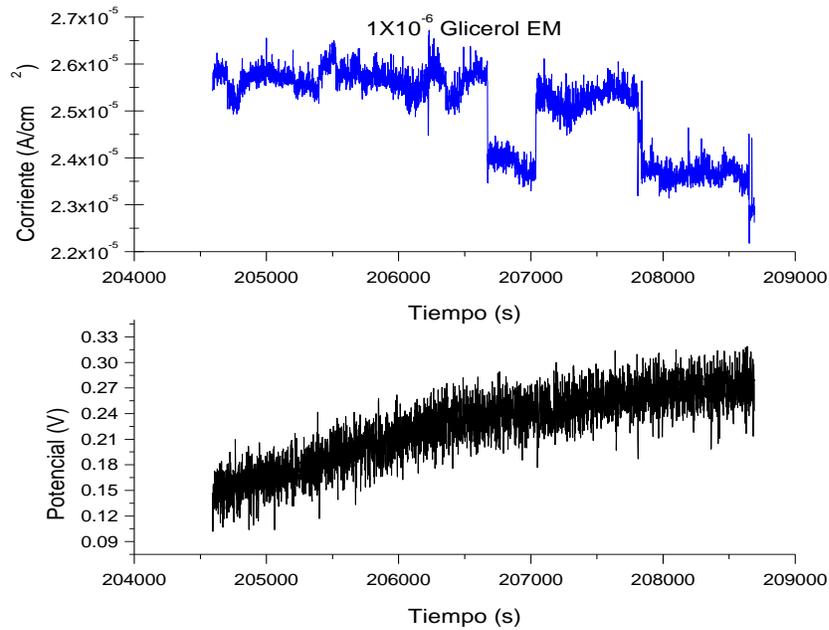


Figura 3. Series de tiempo corriente y potencial de la zona del esfuerzo máximo a una velocidad de deformación de $1 \times 10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$; en Glicerol

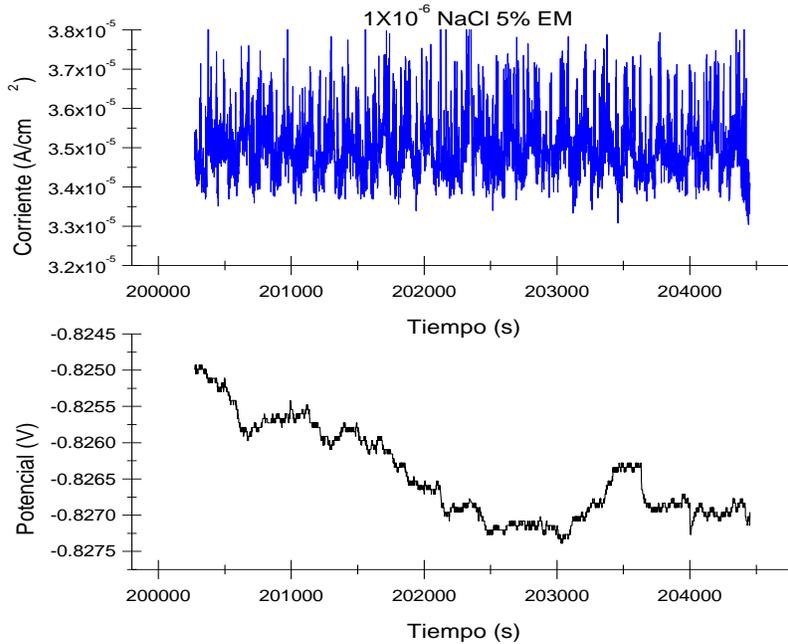


Figura 4. Series de tiempo corriente y potencial de la zona del esfuerzo máximo a una velocidad de deformación de $1 \times 10^{-6} \text{ mm/s}^{-1}$; en NaCl al 3.5%

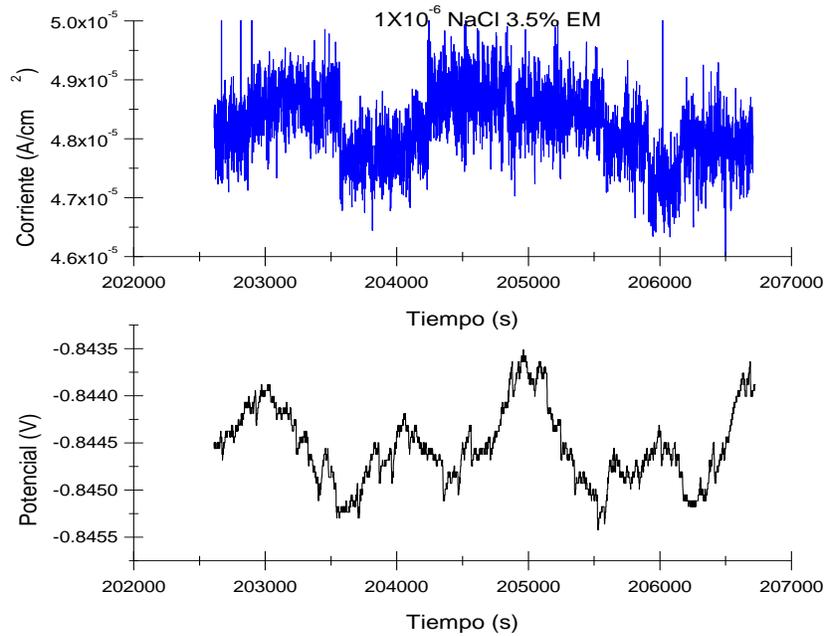


Figura 5. Series de tiempo de la zona de esfuerzo máximo, a una velocidad de de 1×10^{-6} mm/s⁻¹; en NaCl al 5%

Se realizaron pruebas de ruido electroquímico a especímenes sin tensión, y se observa (figura 6), que el potencial se encuentra en un intervalo entre -0.682 y -0.690 V, que corresponde a ruido blanco, y esto es debido a que la aleación se encuentra en un medio inerte, donde la corriente está en el orden de 10^{-10} A/cm².

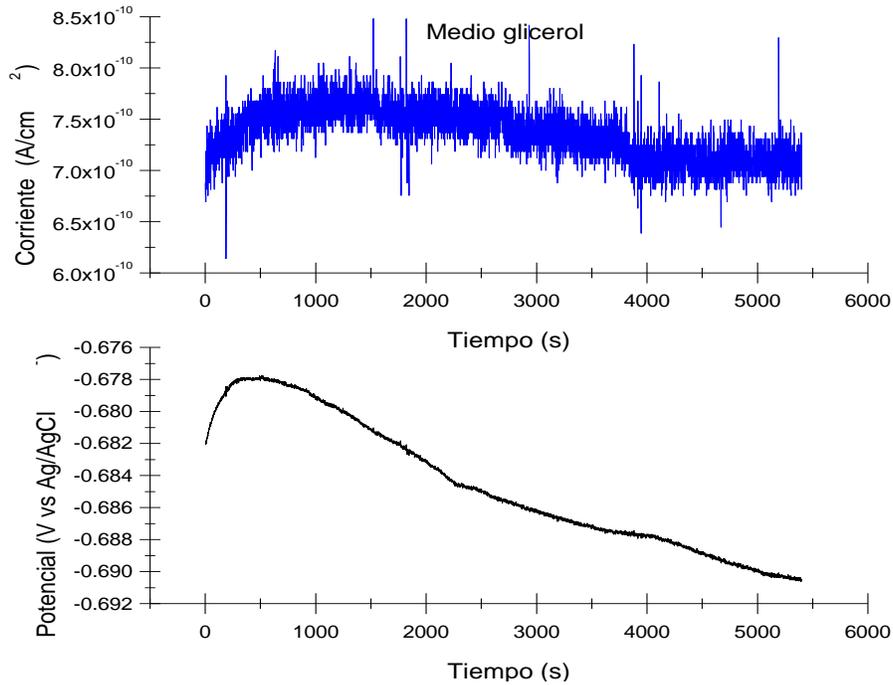


Figura 6. Series de tiempo en el medio inerte (glicerol); sin tensión.

En los resultados de las series de tiempo en corriente y potencial en los medios agresivos, con 3.5 y 5 % de NaCl, los potenciales fueron similares, fluctuando en un intervalo entre -0.950 y -0.650 V, como se puede observar en las figuras 7 y 8; el potencial aumenta hasta alcanzar el aproximado al del medio inerte. Se puede apreciar, en la figura 4, que la corriente fluctúa en el orden de 10^{-9} A/cm² para un medio con 3.5%NaCl, mientras que en un medio con 5% de NaCl ésta fluctúa entre 10^{-9} y 10^{-10} A/cm² (figura 5). El tiempo de exposición de la aleación para cada uno de los medios analizados fue de 1.5 horas.

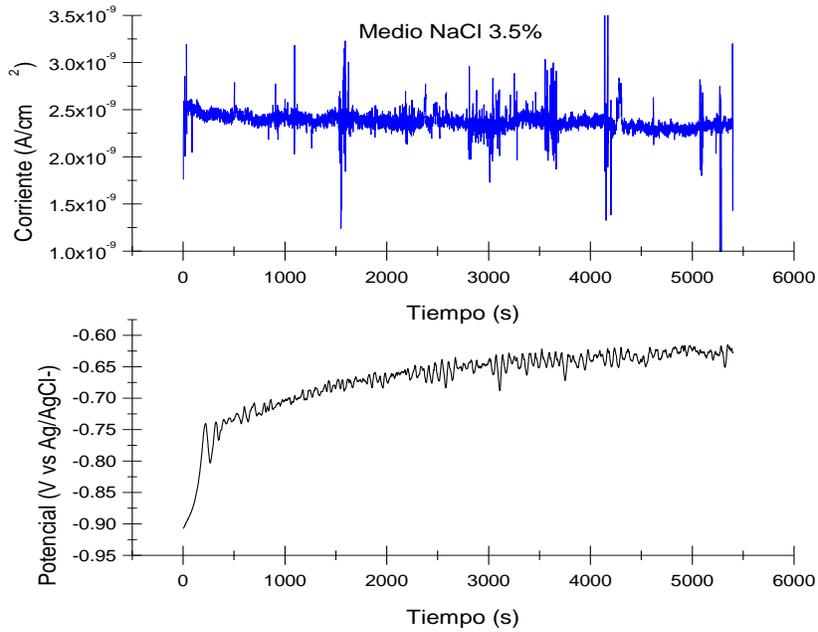


Figura 7. Series de tiempo, en corriente y potencial en el medio agresivo (NaCl 3.5%), sin tensión

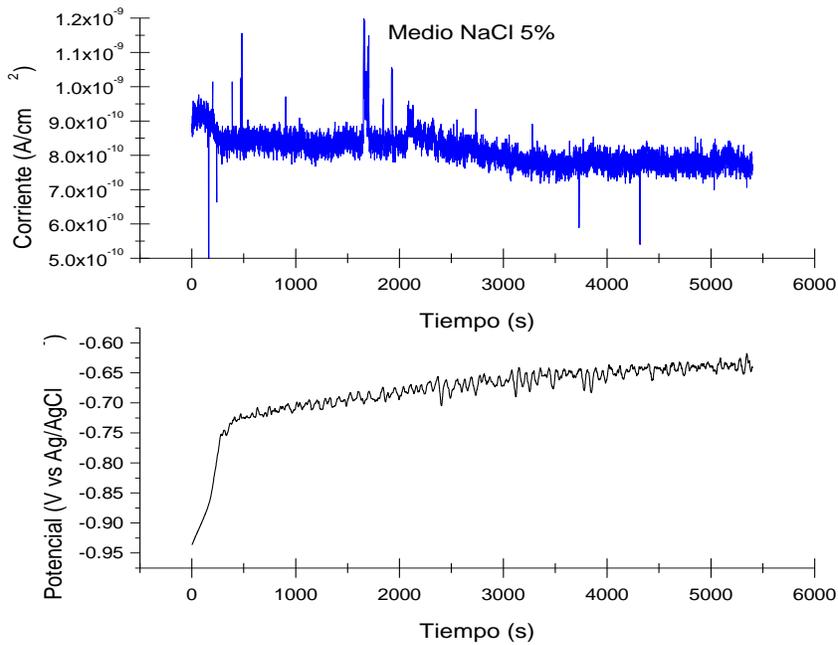


Figura 8. Series de tiempo, en corriente y potencial en el medio agresivo (NaCl 5%), sin tensión

CONCLUSIONES

Se pudo observar el comportamiento del material en condiciones de esfuerzo y corrosión, empleando la técnica de ruido electroquímico.

El tipo de fractura en todas las probetas fue dúctil tipo copa-cono, caracterizada por la coalescencia de micro-cavidades.

La falla se debió a la tensión mecánica a que estaban sometidos los especímenes, el medio agresivo no influyó para que ocurriera la fractura de la muestra. No se observaron picaduras, causa común de inicio de grieta.

La aleación no presenta susceptibilidad a la Corrosión Asistida por Esfuerzo en medios de cloruro de sodio al 3.5 y 5%.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo a la UANL y al proyecto Promep /103.5/12/3585.

REFERENCIAS

1. Gaona C. *Tesis de Doctorado CIMAV 1999.*
2. McIntyre. D.R. "Environmental cracking". *Process Industries Corrosion - The theory and practice.* Ed. Moniz and Pollock, NACE. Houston, Texas.1986.
3. Logan, H.L. *Stress corrosion cracking of metals.* New York, 1966.
4. Uruchurtu Ch. J. *Ph. D. Thesis UMIST. Manchester England, 1984.*
5. Dutra C, Pereira M, Codaro E eNakarazato R. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.* Volumen 22, 2002, (42).
6. *ASTM G47-98 Standard Test Method for Determining Susceptibility to Stress-Corrosion Cracking of 2xxx and 7xxx Aluminum Alloy Products.*
7. *ASTM G-129 Standard Practice for Slow Strain Rate Testing to Evaluate the Susceptibility of Metallic Materials to Environmentally Assisted Cracking. (1995).*
8. P.A. Cottis, S. Turgoose "Electrochemical Impedance and Noise" *Corrosion Testing Made Easy. Series NACE, Houston TX, USA (1999).*
9. *ASTM B 211M: Standard Specification for Aluminum and Aluminum – Alloy Bar, Rod, and Wire (1995).*
10. López Meléndez C. *Tesis de Maestría. CIMAV (2006) México.*
11. J.M. Malo, J. Uruchurtu "La Técnica de Ruido Electroquímico para el Estudio de la Corrosión" *Fundamentos Técnicas Electroquímicas Editor J. Genescá UNAM (2002).*
12. K. Hladky, J. L. Dawson" *The measurement of corrosion using electrochemical 1/f noise" Corrosion Science 22 No. 3 (1982) p.p. 231-237.*