

Evaluación electroquímica de inhibidores de corrosión para aceros austeníticos

Yosmari Adames Montero

Correo electrónico:yosmari@ceinpet.cupet.cu

Artículo Original

Briseida Fernández García

Correo electrónico:briseida@ceinpet.cupet.cu

Alexander Cueli Corugedo

Correo electrónico:alexander@ceinpet.cupet.cu

Yichsy Rivera Beltrán

Correo electrónico:yichsy@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba

Resumen

El empleo de inhibidores de corrosión es uno de los métodos más universales y por tanto difundidos para la protección de los metales porque se reducen sustancialmente las pérdidas por corrosión cuando se adicionan en pequeñas concentraciones. En el presente trabajo se realizó la evaluación electroquímica de dos inhibidores A y B para ser empleados en las limpiezas químicas de enfriadores de placas, en los cuales ocurren pérdidas de espesores hasta la perforación de las placas. La composición química del material arrojó que se trata de un acero inoxidable austenítico y se realizó el estudio metalográfico de la corrosión que manifiesta el acero de construcción de los enfriadores de placas. Las mediciones electroquímicas se efectuaron por las técnicas de resistencia de polarización, ruido electroquímico y barrido cíclico que conllevaron plantear que el tipo de corrosión que experimentó el acero evaluado fue localizada. La mejor eficiencia lograda fue con una concentración de 1 y 2 % del inhibidor A, mientras que el producto B alcanzó valores de eficiencia cercanas a 95 % con un 2 % de concentración de dicho inhibidor.

Palabras claves: corrosión, acero inoxidable austenítico e inhibidores

Recibido: 26 de marzo del 2013

Aprobado: 25 de noviembre del 2013

INTRODUCCIÓN

Ciertos metales y aleaciones como los aceros inoxidables que deben su estabilidad a delgadas películas pasivas de óxido, son los más propensos a desarrollar picaduras. Estas se originan en las imperfecciones superficiales y en lugares expuestos a daño mecánico, bajo condiciones en que la película es incapaz de regenerarse. Son particularmente temibles desde el punto de vista del desarrollo de picaduras, las soluciones que contienen iones cloruros aunque también se manifiestan en presencia de otros iones.

Numerosos materiales se corroen a una velocidad muy lenta, por ello, la selección de estos se hace sobre la base de su velocidad de corrosión. El acero inoxidable es uno de los materiales más comunes en la industria de procesos

químicos, aunque no siempre es el más conveniente, por ejemplo, en la industria del ácido sulfúrico se prefieren los recipientes revestidos con plomo.[1]

En instalaciones como por ejemplo, un tanque de almacenamiento de una solución de ácido sulfónico, se observaron daños por picaduras en las planchas de acero inoxidable y en las uniones soldadas luego de realizada una prueba de estanqueidad del tanque, previa a su uso [2]. Igualmente, en inspecciones realizadas a tubos de acero inoxidable de un condensador, durante tres paradas programadas se evaluó el estado general de los mismos en cuanto a la integridad de espesor de pared y distribución de indicaciones en su longitud. Se procedió a la extracción de 19 tubos con indicaciones puntuales mayores al 90 % de

disminución de espesor de pared y con fases cercanas a un agujero pasante [3].

Las estaciones depuradoras de aguas residuales requieren de un estudio pormenorizado del comportamiento de los materiales como aceros inoxidable a emplear en un medio tan peculiar y agresivo. Entre los agentes causantes del deterioro de los materiales cabe destacar el sulfuro de hidrógeno. En las aguas residuales, el origen más frecuente de este gas volátil es la reducción de sulfato llevada a cabo por bacterias sulfatorreductoras (BSR), capaces de oxidar materia orgánica acoplándola a la reducción de sulfato que dan paso a la biocorrosión [4].

El empleo de inhibidores de corrosión es uno de los métodos más universales y por tanto difundido para la protección de los metales frente al ataque del medio corrosivo en el que se utilizan, por lo que dentro de sus beneficios se encuentran que reducen sustancialmente las pérdidas por corrosión cuando se adicionan en pequeñas concentraciones. En ocasiones permiten la utilización de aleaciones más baratas y aumentan la vida útil en servicio de instalaciones y equipos [5].

Se conoce que la acción retardadora de un inhibidor sobre la cinética de corrosión es resultado de una de las formas de actuación siguientes: de la adsorción de una delgada película, muchas veces monomolecular, sobre la superficie del material metálico sujeto a corrosión, de la formación de una capa pasiva, a veces de naturaleza desconocida y tan delgada que resulta inapreciable, de la formación por conversión superficial de una capa de productos de corrosión apreciable a simple vista y de la modificación de las características del medio.

De lo anterior se derivan muchas clasificaciones de los inhibidores teniendo en cuenta su composición, mecanismo, aplicación y por el proceso parcial que interfieren.

Además de las técnicas tradicionales [5], como resistencia de polarización lineal y barrido cíclico, son utilizadas en el estudio de inhibidores en diferentes medios, técnicas electroquímicas novedosas dentro de las cuales se encuentran:

Espectroscopía de ruido electroquímico: Sus características varían frecuentemente en el tiempo, siendo por esto la señal no estacionaria. La técnica proporciona información acerca de la cinética de reacción, o sea, la velocidad de corrosión, siendo posible la identificación del tipo de corrosión ya sea uniforme, generalizada o localizada.

El sistema a estudiar está compuesto por 5 enfriadores de placas de acero inoxidable, cuya función es enfriar el licor carbonato amoniacal rico en níquel y cobalto, pero además tiene cantidades considerables de calcio y magnesio que durante el enfriamiento se depositan hasta obstruir totalmente los espacios del enfriador. El ácido sulfúrico al 98 % que se emplea en la limpieza, se prepara a una concentración de 2 % donde se dosifica en ciclo cerrado. Cuando el ácido llega a un pH igual a 5 se bombea hasta el pozo de desechos.

Para no interrumpir el proceso, los enfriadores de placas son lavados independientemente, con una frecuencia normal de 36 h, pero principalmente en verano, se aumenta la frecuencia hasta 24 h. Según información de la empresa, durante las limpiezas ocurre la pérdida de espesores de las placas hasta su perforación, siendo necesario reponer anualmente 800 placas a un costo de 400 000 euros.

Ante esta situación, el cliente ha analizado la posibilidad del empleo de inhibidores para disminuir tales daños por lo que se plantea como **objetivos** del presente trabajo, determinar la influencia del acabado estructural en la corrosión presentada en el acero de las placas de los enfriadores, identificar mediante microscopía óptica el tipo de corrosión que presenta dicha aleación y evaluar la eficiencia de los inhibidores A y B a través las técnicas electroquímicas

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la investigación, se hizo necesario construir un sensor compuesto por tres electrodos del material de los enfriadores, una vez retirados del proceso para las mediciones electroquímicas. El sensor se sumergió en el agua de preparación de ácido sulfúrico (medio corrosivo) con el objetivo de evaluar la eficiencia de los inhibidores A y B. Para las mediciones electroquímicas se utilizó un electrodo de referencia de calomel saturado, el equipo multipropósito Field Machine, capaz de transmitir los valores de forma gráfica y numérica y un multímetro digital. Como medio de calentamiento para alcanzar la temperatura de ensayo se empleó una plancha de calentamiento con agitación y un termómetro para controlar el parámetro que se mide.

Métodos

El medio corrosivo se caracterizó mediante la determinación del pH, conductividad y cloruros, así como la composición química del material de construcción de los enfriadores de placas.

Para la caracterización de la estructura metalográfica del acero se prepararon muestras de diferentes zonas del enfriador (zona del agua de enfriamiento, zona de la soldadura y zona por donde fluye el licor que presentó una corrosión acelerada durante las limpiezas químicas). Las mismas fueron montadas en resina epóxica para su desbaste hasta esmeril no.1000 y pulida a espejo en paño con pasta de diamante de acuerdo con la norma [6]. La estructura fue revelada con una solución de 10 ml de HNO₃, 20 ml de HCl y 30 ml de agua destilada de acuerdo con la norma E 407-07 con la solución de ataque No.88 [7]. Fueron captadas las imágenes por una cámara digital acoplada al microscopio óptico de luz reflejada modelo Axiovert 25 de la Zeiss.

La determinación de la velocidad de corrosión del acero en el medio se realizó mediante las normas: ASTM G-59-97 [8], ASTM G-3-89 [9], ASTM G-102-89 [10], reprobadas en el 2003 y 2004 las dos últimas. Para determinar de forma cualitativa y cuantitativa el tipo de corrosión que manifiesta

el acero en las condiciones evaluadas se empleó la norma ASTM G-199-2009 [11]. (Ruido electroquímico). Para establecer el estado activo o pasivo de la aleación de aluminio se empleó la norma (barrido "cíclico").

Se prepararon tres medios para la evaluación de los inhibidores: blanco I: agua de preparación de H_2SO_4 , blanco II: agua de preparación de $H_2SO_4 + 2\% H_2SO_4$ (1), blanco III: agua de preparación de $H_2SO_4 + 2\% H_2SO_4$ (2). Los ensayos se realizaron a temperatura entre: 30-34 °C y las concentraciones ensayadas según información del cliente en ambos inhibidores fueron: 0,25 %, 0,5 %, 1 % y 2 %.

Los datos experimentales obtenidos por la técnica electroquímica, LPR se procesaron estadísticamente. Se aplicó el método de rechazo de valores según Dixon. Para la incertidumbre se utilizó un factor de cobertura de 2 y un nivel de confianza de 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la composición química

La composición química define al acero de la plancha como un acero inoxidable austenítico que responde a la norma AISI/SAE 316L (tabla 1).

Este tipo de acero con un contenido de 2 a 4 % de Mo, aumenta su resistencia a la corrosión en ácido sulfúrico, cloruros y ácidos orgánicos. También mejora su respuesta mecánica, reduce la rotura de la pasividad, especialmente en medios ricos en cloruro, e incrementa la resistencia a la corrosión por picadura y por grietas o fisuras en distintos medios. Por otro lado, el molibdeno ayuda al cromo presente en el acero inoxidable a formar la capa pasiva y previene la despasivación dentro de las grietas o fisuras [4].

La resistencia a la corrosión intercrystalina del acero objeto de estudio, se logra añadiendo elementos estabilizadores como son Ti o Nb y contenidos bajo en carbono inferior a 0,03%. El acero mejora su resistencia al ácido sulfúrico si se aumentan los contenidos de Ni y Mo y se adiciona además Cu, así se obtienen aceros que contienen 20 % de Cr, 25 % de Ni, 4,5 % de Mo y 1,5 % de cobre, presentando una resistencia excelente en los medios sulfúricos y clorhídricos [12]. Dicha resistencia al ataque del medio activo sulfúrico, se le atribuye a una pasividad provocada por el mismo medio a que está expuesto, es decir, el metal se repasiva espontáneamente. La adición de nitrógeno a aceros inoxidables austeníticos modifica el potencial de picadura, aumentando el intervalo pasivo del metal [13].

Se plantea que los iones halógenos tienen marcado efecto de penetración en las películas pasivas e inducen a la picadura en estos tipos de aceros inoxidables, por lo que es preciso tomar ciertas precauciones cuando se está en presencia de los mismos, en lo que se refiere a su empleo en contacto con productos químicos. Se reporta que la velocidad de corrosión aumenta con la concentración de cloruro de sodio hasta 4 % aproximadamente. Al sobrepasar este valor, aumento de concentración, produce poca variación.

Corrosión observada al microscopio en la superficie del acero del enfriador posterior a la limpieza química con la solución sulfúrica

Se evidencia un ataque localizado como resultado de la corrosión que experimenta el acero en presencia del ácido sulfúrico. Este comportamiento podría atribuirse a diferentes causas: presencia de iones halogenuros, concentración de sulfúrico superior al valor límite donde el material permanece pasivo, temperatura de limpieza superior a la establecida para la concentración del ácido y factores internos (acabado estructural y deformación plástica), (figura 1).

Caracterización del acabado estructural del acero del enfriador

Después de desbastada y pulida la muestra, aún se aprecia la profundidad del ataque que experimentó el acero (figura 2).

La presencia de carburos en los límites del grano y en la matriz de la aleación se evidenció en el estudio realizado. La estructura básica de los aceros inoxidables del tipo 316L es monofásica de austenita, que se logra mediante un tratamiento térmico de temple adecuado. La estructura le confiere al acero una mayor resistencia a la corrosión. La microestructura correspondiente a la muestra que se analiza, está constituida por austenita y carburos de cromo.

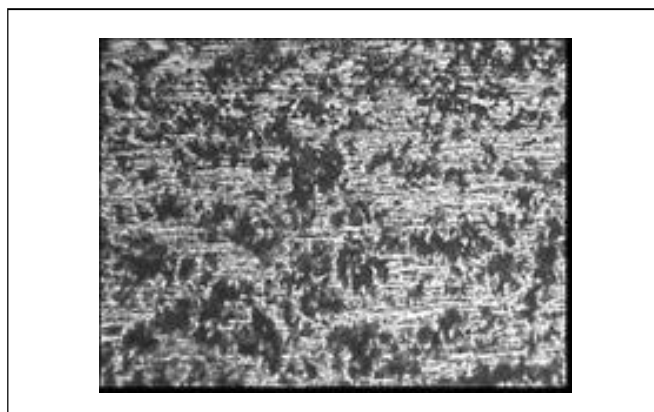


Fig. 1. Corrosión que experimenta el acero del enfriador en una zona de la muestra después de la limpieza química 200X

Tabla 1 Composición química del acero inoxidable objeto de ensayo										
Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb %	Resto Fe %
Acero	0,03	0,35	1,19	0,025	0,002	17,73	11,59	2,05	0,03	67,003



Fig. 2. Corrosión en el acero del enfriador en una zona de la muestra por donde fluye la solución de limpieza química después del desbaste y pulido 200X

Asimismo, se observa que los carburos se encuentran precipitados en la matriz de austenita y en los límites de grano, que provoca la disminución de la resistencia a la corrosión de la aleación. La presencia de estos carburos en la microestructura de la aleación, pudiera asociarse al hecho de que el material recibió durante el proceso de soldadura, un calentamiento tal que provocó la precipitación de carburos en esas zonas. La corrosión es debida a la precipitación de carburos en los bordes de grano y la consiguiente pérdida de cromo de las zonas adyacentes, que quedan vulnerables a la corrosión y se encuentra favorecida por las tensiones locales existentes en los bordes de granos como consecuencia de la precipitación de los carburos (figura 3) [14].

Análisis de otros factores internos presentados en el acero de los enfriadores que intervienen en el proceso corrosivo

Se destacan granos fraccionados escalonados que se asocian a que el acero experimentó tensiones que podrían atribuirse al conformado realizado en el proceso de construcción del enfriador y/o al impacto recibido en los puntos de soldadura (figura 4).

La corrosión intensa que experimenta la aleación objeto de estudio es del tipo localizada, causada por factores internos presentes en el material y el contenido de cloruros en el agua.

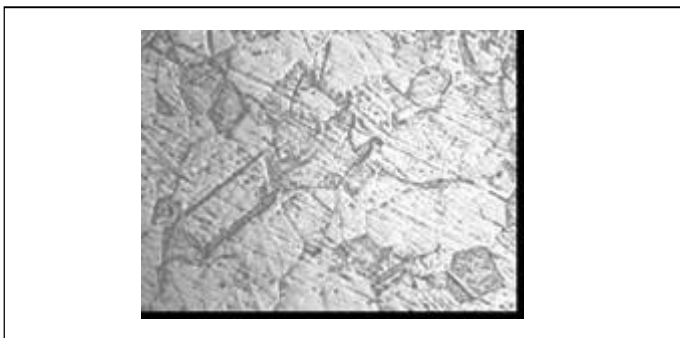


Fig. 3. Presencia de carburos en la matriz de la austenita y en los límites del grano (1 000X)

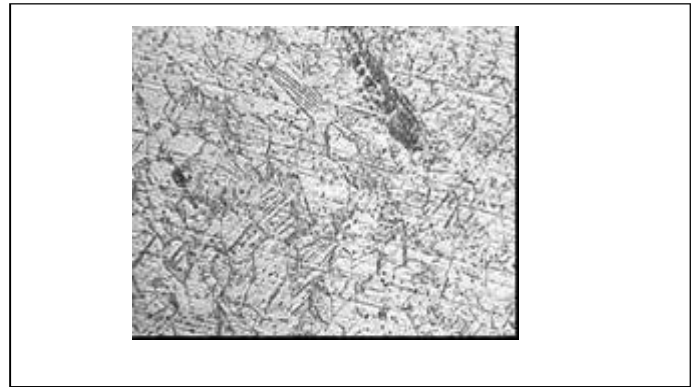


Fig. 4. Zona aledaña a los puntos de soldadura donde aparecen granos fraccionados que revelan que el material ha experimentado una deformación plástica 500X

Caracterización de las dos muestras de agua de preparación de ácido sulfúrico para limpieza química

La caracterización físico-química del agua de preparación de ácido sulfúrico en dicha empresa, la que clasifica como un medio ligeramente básico, es conductora de la corriente, así como la concentración de iones cloruros es de 9,66 mg/L y 8,33 mg/L para las dos muestras de agua utilizadas en los ensayos (tabla 2).

El acero inoxidable objeto de investigación es similar al AISI 316 que es bastante resistente a pequeñas variaciones de pH del agua. No obstante, un pH ácido o muy alcalino, combinado con otros factores (presencia de iones cloruro), favorecerá los procesos de corrosión en el acero inoxidable. Como concepto general, es conveniente situar los valores de pH en el rango de 7,5-8,5 [15].

En este caso para la primera agua utilizada (1) en la evaluación del aditivo A, el pH está ubicado dentro del rango que se especifica sin añadir el 2 % de H_2SO_4 , pero cuando este último se añade, el medio se convierte en ácido ($pH \approx 3$). Con relación a la segunda agua empleada (2), el pH es ácido y no se encuentra dentro del rango establecido para trabajar este material.

En dicho acero es conveniente no superar la concentración de 1,0 mg/L de cloruros porque junto con la temperatura acelerará los procesos de corrosión en forma muy significativa. Como se observa, la concentración de cloruros (9,66 mg/L y 8,33 mg/L) de las dos aguas utilizadas superan la concentración establecida, que unido al efecto de la temperatura y pH ácido podría provocar un aumento considerable de la velocidad de corrosión [12].

Tabla 2
Parámetros físico-químicos evaluados de las agua de preparación de ácido sulfúrico

No. Muestra	Cl (mg/L)	pH	Conductividad (μS)
1	9,66± 0,04	7,94± 0,10	178± 0,4
2	8,33 ± 0,03	6,65± 0,10	153,2± 0,03

Se plantea además que el acero de las placas cumple la composición química de diseño, y con un contenido del 2, 05 % de molibdeno junto con el cromo brindarían la resistencia más grande a la corrosión en el medio que se investiga. El material objeto de estudio, por sus características de acabado estructural se encuentra sensibilizado a la corrosión, independientemente de la velocidad de fluido (no tomada en cuenta en el estudio) y la presencia de cloruros en el medio que se analiza. Se presentan precipitados de carburos de cromo en los límites de los granos, que debilita la zona próxima a los mismos volviéndose anódica con respecto a su matriz. Se evidencia una deformación plástica por la forma y distribución de los granos. Por lo antes expuesto, se asevera que el material está propenso a un ataque corrosivo [14, 15].

Ensayos electroquímicos

Resistencia de polarización lineal

Se reportan las velocidades de corrosión promedio de 10 corridas para cada ensayo realizado. En las condiciones de Blanco I y Blanco II las velocidades de corrosión (V_{corr}) son pequeñas. Además, el acero inoxidable en el agua de preparación de ácido sulfúrico (Blanco I), al adicionar el inhibidor al medio casi no manifiesta ningún cambio, lo que se puede cuantificar en el resultado alcanzado de la eficiencia.

Para la segunda condición (Blanco II) si se comprueba que al adicionar el 2 % del ácido se obtiene una mayor velocidad de corrosión. Al adicionar el producto A en el medio de ensayo, no se obtienen eficiencias relevantes para inhibir la corrosión a concentraciones de 0,25 % y 0,5 %, pero a concentraciones superiores (1 y 2 %) el producto exhibe buenas eficiencias en dicho medio (95,0 y 96,7 %). Cuando se analiza la condición de Blanco III, el aditivo 2 a 0,25 % no inhibe la corrosión de la aleación objeto de investigación, pero a partir de 0,5 % aumenta su eficiencia a valores regulares hasta alcanzar 94 % para un 2 % de concentración del inhibidor. La mejor eficiencia la presenta el producto A a las concentraciones de 1 y 2 %, y el inhibidor B al 2 % (tabla 3).

El producto A evaluado por las técnicas electroquímicas no es eficiente a las concentraciones de 0,25 y 0,5 %, pero a 1 y 2 % exhibe las mejores eficiencias (95 y 96,8 %) en la inhibición del proceso de corrosión de la aleación que se investiga.

El inhibidor B no es eficiente a la concentración de 0,25 % pero a 2 % logra su mejor resultado (94 %).

Espectroscopía de ruido electroquímico

Para conocer el tipo de corrosión de forma cualitativa que experimenta el acero en las condiciones de ensayo, se aplicó la técnica de ruido electroquímico en voltaje y corriente, que

Tabla 3 Velocidades de corrosión de los inhibidores A y B y su eficiencia en los medios evaluados mediante técnica de resistencia de polarización			
Ensayos	V_{corr} (mm/año)	Inc. Medición U $n= 10, K= 2$ $\alpha =0,05$	Eficiencia η (%)
Blanco I a 30-34 °C (1)	0,026044	$\pm 0,01259$	-
(1)+0,25 % inhib A	0,016183	$\pm 0,00602$	35
(1)+0,5 % inhib A	0,022031	$\pm 0,00189$	15
Blanco II a 30-34° C (2)	0,087447	$\pm 0,05467$	-
(2)+0,25 % inhib A	0,035827	$\pm 0,00862$	59
(2)+0,5 % inhib A	0,034772	$\pm 0,00489$	60
(2)+1 % inhib A	0,004141	$\pm 0,00097$	95,0
(2)+ 2 % inhib A	0,002777	$\pm 0,00123$	96,7
Blanco III a 30-34 °C (3)	0,044420	$\pm 0,00490$	-
(3)+0,25 % inhib (B)	0,08268	$\pm 0,03975$	No inhibe
(3)+0,5 % inhib (B)	0,01655	$\pm 0,00253$	63,8
(3)+1 % inhib (B)	0,014158	$\pm 0,00137$	69,4
(3)+2 % inhib (B)	0,0023	$\pm 0,00149$	94,8

en corrosión, aparece comúnmente como eventos discretos que se asocian al crecimiento y muerte de picaduras. En el ensayo correspondiente al Blanco I a temperatura entre 30 y 34 °C, se observan variaciones de potencial relacionadas con descensos de dicha magnitud, seguidas de recuperaciones exponenciales concernientes a eventos localizados o formación de capas pasivas que se rompen, características del material que se evalúa al ponerse en contacto con el agua de preparación de H₂SO₄, (figura 5)

También se analiza por la misma técnica, la condición de Blanco II a temperatura entre 30 y 34 °C sin y con inhibidor A a 0,25 % de concentración. Con relación a los potenciales se observan fluctuaciones de dicha magnitud y su tendencia es hacia valores más positivos, las densidades de corriente en dicha condición son más bajas que en el sistema inhibido (figura 6).

Se presentan descensos de potenciales y recuperación exponencial propia de eventos localizados en el acero inoxidable objeto de investigación. Además, se aprecia un ligero desplazamiento a potenciales más positivos con respecto al no inhibido (figura 7).

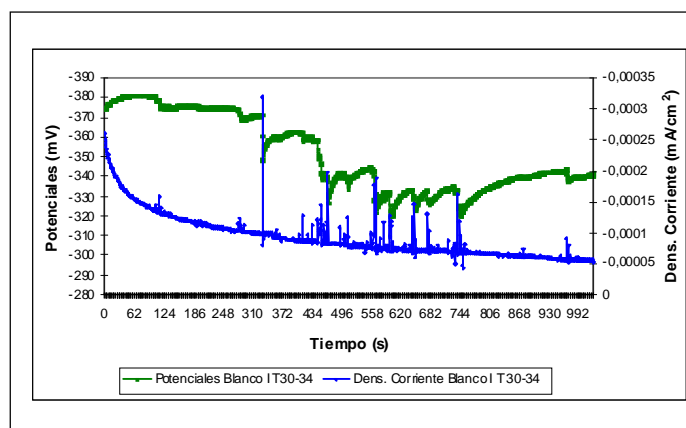


Fig. 5. Ruido en corriente y potencial del Blanco I a temperatura de 30-34 °C (Inhibidor A)

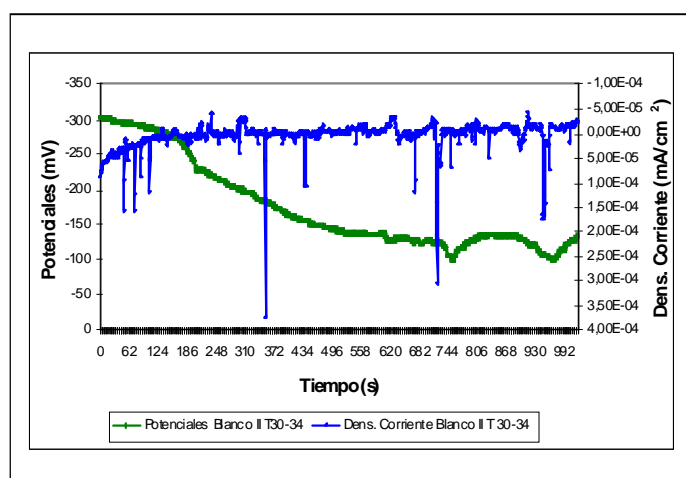


Figura 6: Ruido en corriente y potencial del Blanco II a temperatura 30-34 °C

El comportamiento del ruido en potencial y corriente para la condición de Blanco III con inhibidor B al 2% a la temperatura de 30-34 °C, dio como resultado, que no existieran saltos significativos de la magnitud en la condición ensayada. La tendencia del potencial es hacerse más negativo, en cambio, para el blanco de esta condición (agua de preparación de ácido sulfúrico nueva) se obtienen valores más positivos de potenciales (figura 8).

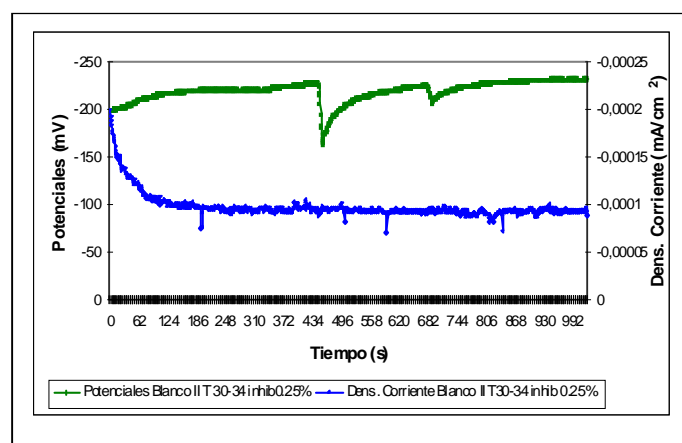


Fig. 7. Ruido en corriente y potencial del Blanco II +0,25% inhibidor A a temperatura 30-34 °C

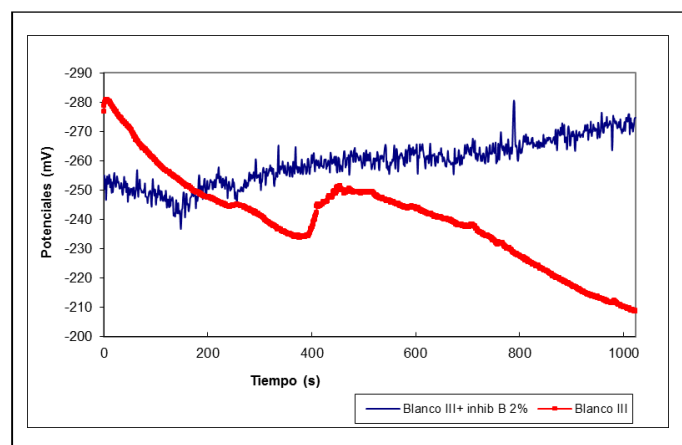


Fig. 8. Ruido del potencial en el Blanco III con inhibidor B al 2% a temperatura de 30-34°C

Posteriormente, se procedió a determinar el índice de localización de picaduras (LI) [11], por la misma técnica para corroborar el tipo de corrosión mediante la siguiente ecuación:

$$LI = \sigma_i / I_{rms}$$

donde:

LI: Índice de localización de picadura.

σ_i : Desviación estándar en potencial o corriente.

I_{rms} : Raíz media cuadrada.

El parámetro establece que con valores superiores a 0,6 existe corrosión localizada, mientras que a valores cercanos

a 1,0 plantea el predominio de este tipo de corrosión. Para el caso que se estudia, se comprueba que se manifiesta la corrosión localizada, ya que el parámetro establecido dio como resultado 0,979 (tabla 4).

Tabla 4 Índice de localización de picadura (LI)		
Tipos de corrosión	Valores de LI	
	Máximo	Mínimo
Localizada	1,0	0,1
Mixta	0,1	0,01
Uniforme	0,01	0,001

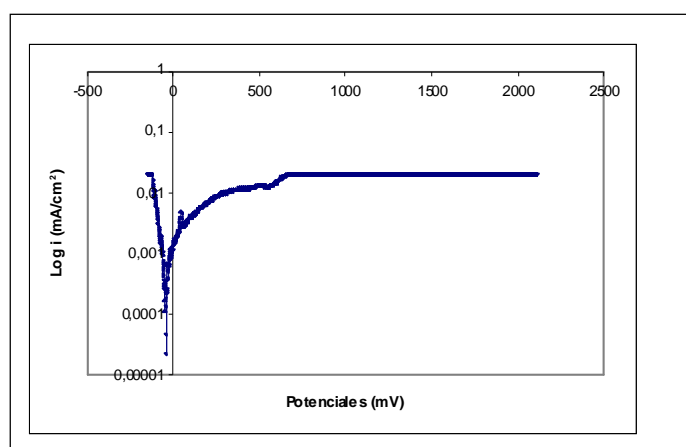


Fig. 9. Curva de polarización (Cyclic Sweep) del Blanco II a temperatura de 30-34 °C

Barrido cíclico (Cyclic Sweep)

Se realizó un barrido cíclico de -256 mV a 1200 mV en el Blanco II a la temperatura de 30-34 °C. Se definen claramente las zonas activo-pasivo de dicha aleación y no existe zona de transición, lo que es característico del acero inoxidable que se estudia. Es necesario destacar que la aleación se encuentra activa cuando se mide el potencial de corrosión (-256 mV), valor a partir del cual se comienza a polarizar el material (figura 9).

La aleación se comporta como un metal activo-pasivo en las condiciones de ensayo pero su potencial de corrosión lo desarrolla en la zona activa del diagrama E vs log I.

En las demás condiciones estudiadas, no fue posible obtener otras curvas de polarización porque se contó con un solo sensor electroquímico (no disponibilidad del material). La técnica polariza en un rango de potenciales al material y no se logra restablecer su condición inicial para proceder a las otras condiciones de ensayo.

CONCLUSIONES

1. La corrosión intensa que experimenta la aleación objeto de estudio es del tipo localizada, causada por factores internos presentes en el material, independientemente de la velocidad de agitación y el contenido de cloruros en el agua.

2. La aleación se comporta como un metal activo-pasivo en las condiciones de ensayo pero su potencial de corrosión lo desarrolla en la zona activa del diagrama E vs log I.

3. El producto evaluado A por la técnica electroquímica LPR, no es eficiente en las concentraciones de 0,25 y 0,5 %, pero a 1 y 2 % exhibe las mejores eficiencias (95 y 96, 8%) en la inhibición del proceso de corrosión de la aleación que se investiga. El inhibidor B no es eficiente a la concentración de 0,25 % pero a 2 % logra su mejor resultado (94 %).

REFERENCIAS

- SCHWEITZER, P. A.** *Fundamentals of metallic corrosion. Atmosphere and media corrosion.* United States of America, Taylor and Francis Group, 2007, pp. 4, 102. ISBN 978-959-7107-33-9.
- ANDRADE, C. V.; GARCÍA, S. H.; FLORES M. S.** "Determinación de las causas de los daños por corrosión presentados en un tanque de almacenamiento de acero inoxidable". *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.* vol. S4 2012, pp. 29-34. ISSN 0255-6952. Disponible en <http://www.erevistas.csic.es>
- CAZAL, L.; CAZAL, M. A.; HADDAD, J. M.** "Verificación de defectos característicos en tubos de acero inoxidable AISI 316L ASTM A-249 correspondientes al condensador principal SD11/12/13 W01/02 de la Central Nuclear Atucha I". VIII Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y Estructurales, ENDE Campana, agosto 2011. Disponible en <http://www.aaende.org.ar/CORENDE2011/trabajos/44-Cazal-completo-final.pdf>.
- BETHENCOURT, M.; GARCÍA DE LOMAS J. et al.** "Efecto de la biopelícula en la corrosión de aceros inoxidables austeníticos en estaciones depuradoras de aguas residuales". *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.* 46 (1), enero-febrero, 2010, pp. 37-51. ISSN: 0024-8570. Disponible en <http://libra.msra.cn/publication/45766413>.
- ROBERGE, PIERRE R.** *Handbook of Corrosion Engineering.* United States of America. McGraw- Hill Handbooks. pp. 372-448, 1999. ISBN 0-07-076516-2.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.* ASTM, E3-2004: Reaprobada 2004, 9 pp., 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States of America, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.* ASTM E4: 2007, 9 pp., 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States of America, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** *Standard test method for conducting potentiodynamic polarization resistance. Measurements.* ASTM G-59: 2003,

- 9pp., 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States of America, 2003.
9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard practice for convections applicable to electrochemical measurements*. ASTM G-3: 2003, 9 pp. 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States of America, 2003.
10. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard practice for calculation of corrosion rates and relates information from electrochemical measurements*. ASTM G-102: 2004, 10 pp., 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States of America, 2004.
11. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Guide for electrochemical noise measurement*. ASTM G-199: 2009, 8 pp., 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States of America, 2009.
12. ALBERTI, M. "Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable". Facultad de Ingeniería, Santa Fé, Argentina. Disponible en Web: <http://www.inoxidable.com> [consultado Enero 2013].
13. ARTIGAS, A., VERA E., MONSALVE, A. Corrosión por picaduras en reactores de acero inoxidable para la fabricación de champú. *Suplemento Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. S1 (1), 2009, pp. 337-340. ISSN: 0255-6952. Disponible en <http://www.Polímeros.labb.usb.ve/RLMM/home.htm/>
14. MARTINEZ, M. A. *Aceros inoxidables austeníticos. Influencia de la composición química y estructura en sus propiedades mecánicas*. Editorial Academia Española. ISBN: 978-3-659-05394-8. Disponible en <http://www.acerosinoxidablesausteniticos/9783-659-053948>, noviembre, 2012.
15. SCHWEITZER, Philip A. *Fundamentals of corrosion. Mecanism, causes, and preventative methods*, United States of America. Taylor and Francis Group, 2010, pp. 32-35. ISBN 978-959-7107-33-9.

AUTORES

Yosmari Adames Montero

Ingeniera Química, Máster en Corrosión, Investigadora III, Laboratorio de Corrosión, Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba

Briseida Fernández García

Ingeniera Química, Máster en Corrosión, Investigadora II, CEINPET, La Habana, Cuba

Alexander Cueli Corugedo

Ingeniero Químico, Especialista III, Laboratorio de Corrosión, CEINPET, La Habana, Cuba

Yichsy Rivera Beltrán

Ingeniera Metalúrgica, Especialista III, Laboratorio de Corrosión, CEINPET, La Habana, Cuba

Electrochemical Evaluation of Corrosion Inhibitors to Austenitic Stainless Steel

Abstract

The use of corrosion inhibitors is one of the most universal methods, and diffused for the protection of metals, because they reduce substantially the corrosion losses when they are added in small concentrations. At the present work it was carried out the electrochemical tests evaluation of two inhibitors, A and B, to be used in the chemical cleanings for trays of heat interchanger, which are suffering thickness losses until its perforation. By the chemical composition analysis, it was demonstrated that the metal is an austenitic stainless steel and by electrochemical tests of linear polarization resistance, electrochemical noise and cyclic sweep, were demonstrated the localized corrosion. The best efficiency of the inhibitor A was obtained with one and two percent concentration, while the inhibitor B shows values efficiency near 95% with two percent concentration.

Key words: corrosion, austenitic stainless steel, inhibitors