



LAWRENCE  
LIVERMORE  
NATIONAL  
LABORATORY

Inhibitive Effect of Fluoride on the Crevice  
Corrosion of Alloy C-22 Induced by Chloride  
(Efecto Inhibidor del Fluoruro sobre la Corrosión  
en Rendijas de la Aleación C-22 Inducida por  
Cloruros)

R. M. Carranza, M. A. Rodríguez, R. B. Rebak

August 11, 2005

Congreso Binacional SAM/CONAMET 2005  
Mar del Plata, Argentina  
October 18, 2005 through October 21, 2005

## **Disclaimer**

---

This document was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor the University of California nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or the University of California. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or the University of California, and shall not be used for advertising or product endorsement purposes.

## **EFEECTO INHIBIDOR DEL FLORURO SOBRE LA CORROSIÓN EN RENDIJAS DE LA ALEACIÓN C-22 INDUCIDA POR CLORUROS**

Ricardo M. Carranza<sup>a</sup>, Martín A. Rodríguez<sup>a</sup> y Raúl B. Rebak<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Unidad de Actividad Materiales – Centro Atómico Constituyentes – CNEA – Av. General Paz 1499 - (1650) San Martín (Buenos Aires) ARGENTINA.

<sup>b</sup> Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA.

Email: [maalrodr@cnea.gov.ar](mailto:maalrodr@cnea.gov.ar)

### **RESUMEN**

*La aleación C-22 (Ni-22Cr-13Mo-3W) es una de las candidatas a ser utilizada en la construcción de contenedores de residuos radiactivos de alta actividad. Para evaluar la factibilidad de su uso, debe asegurarse que el material sea resistente a la corrosión durante un período de 10.000 años. Los ambientes naturales a los cuales se hallarán expuestos los contenedores presentan una amplia variedad de iones. Los iones más agresivos desde el punto de vista de la corrosión general y localizada son los fluoruros y cloruros, respectivamente.*

*En el presente trabajo se aplicó la técnica de polarización potenciodinámica utilizando probetas especialmente diseñadas para el estudio de la corrosión en rendijas. Las concentraciones de cloruro empleadas estuvieron entre 0,01M y 1M, utilizándose relaciones fluoruro/cloruro entre 0,1 y 10. La temperatura de trabajo fue de 90°C. Se determinaron parámetros críticos para la corrosión localizada, tales como potenciales de ruptura de la pasividad y de repasivación. De este modo se intenta establecer el efecto de distintas relaciones fluoruro/cloruro sobre la susceptibilidad a la corrosión en rendijas de la aleación C-22.*

*Para relaciones molares fluoruro/cloruro mayores a siete ( $[F]/[Cl] > 7$ ) no se observó corrosión en rendijas. Para relaciones menores se observó un efecto inhibidor moderado o nulo.*

**Palabras clave:** Corrosión localizada, aleación de níquel N06022, repasivación, contenedores de residuos radiactivos de alta actividad

### **INTRODUCCIÓN**

La aleación Ni-22Cr-13Mo-3W, denominada comercialmente C-22, es una de las candidatas a ser utilizadas en la construcción de contenedores de residuos radiactivos de alta actividad [1]. Este material es capaz de resistir los medios más agresivos en aplicaciones industriales, tanto en condiciones oxidantes como reductoras, destacándose por su versatilidad [2]. Presenta una gran resistencia a la corrosión en rendijas y a la corrosión bajo tensión en presencia de cloruros y exhibe bajas velocidades de corrosión general en una amplia variedad de medios [2].

El período de vida útil contemplado en el diseño de los contenedores es de 10.000 años. Los mismos prestarán servicio en ambientes naturales caracterizados como soluciones acuosas multi-iónicas con una gran diversidad de iones [1]. Se estima que este material podría sufrir tres tipos diferentes de deterioro: corrosión general, corrosión localizada (específicamente en rendijas) y corrosión bajo tensión [1,3,4]. Desde el punto de vista de la corrosión en rendijas, el ion cloruro es el principal agresivo [1-6], mientras que oxi-aniones tales como nitrato [1,3-6], sulfato [1,3-6], carbonato y bicarbonato [6] son reconocidos inhibidores. Es conocido también el efecto agresivo del ion fluoruro desde el punto de vista de la corrosión general, tanto en la pasividad como en la transpasividad [7-11]. Sin embargo su efecto sobre la corrosión en rendijas no está claramente establecido [12,13]. Mientras que algunos investigadores sostienen que podría potenciar el efecto del ion cloruro [12], otros en cambio afirman que sería un inhibidor [13].

En este trabajo se estudia el efecto de diferentes relaciones fluoruro/cloruro sobre la susceptibilidad a la corrosión en rendijas de la aleación C-22 a 90°C.

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Se dispuso de probetas de aleación C-22 en solución sólida (*Mill Annealed*) con la siguiente composición nominal en peso: 56% Ni, 22% Cr, 13% Mo, 3% W, 3% Fe, 2,5% Co, 0,35% V, 0,08% Si, 0,05% Mn, 0,01% C. Se utilizaron probetas tipo PCA (*Prism Crevice Assembly*) [14] de dimensiones aproximadas 19 mm x 19 mm x 9,5 mm, con un orificio central circular de 7 mm de diámetro. Estas

probetas están especialmente diseñadas para el estudio de la corrosión en rendijas [14]. Dos formadores de rendijas de material cerámico recubierto en PTFE fueron ajustados contra las dos caras principales de cada probeta con un torque adecuado mediante un tornillo de acero inoxidable forrado en cinta de PTFE introducido a través del orificio central. Cada probeta se roscó a una varilla metálica que se utilizó como contacto eléctrico y se introdujo en un portaprobetas. Esta varilla fue aislada de la solución mediante una junta de PTFE que determinó otra rendija sobre la probeta. Se aplicó un torque adecuado sobre una tuerca para evitar el pasaje de solución hacia la zona del contacto eléctrico con la varilla roscada. El área de la muestra expuesta a la solución fue de  $14 \text{ cm}^2$  aproximadamente (área ocluida:  $2,0 \text{ cm}^2$ ). Las probetas fueron pulidas dentro de la hora previa a cada ensayo con papeles abrasivos hasta una terminación superficial de 600. Se utilizaron dos celdas electroquímicas diferentes: (a) de vidrio borosilicato, y (b) de acero inoxidable con un recubrimiento de PTFE. Todas las experiencias realizadas en presencia de fluoruros se llevaron a cabo en la celda (b), exceptuando los casos en que se indique expresamente lo contrario. Como contraelectrodo se utilizaron dos láminas de platino de gran área conectadas eléctricamente. Se utilizó un electrodo de referencia de calomel saturado (ECS) ( $E_{\text{ECS}} = E_{\text{ENH}} + 0,244 \text{ V}$ ). Todos los valores de potencial mencionados en adelante se darán con respecto a éste ( $V_{\text{ECS}}$ ). El electrodo de referencia, montado en un compartimiento exterior, se conectó con la solución mediante un capilar de Luggin. La celda se mantuvo a una temperatura constante de  $90 \pm 0,5^\circ\text{C}$  mediante un baño de agua suministrado por un termostato. Además, se evitó la concentración de la solución por evaporación mediante el uso de un condensador refrigerado por agua que contó de una trampa de agua. Los electrolitos utilizados fueron mezclas de NaCl, NaF, KCl y KF (concentraciones de cloruro:  $0,01 \text{ M} \leq [\text{Cl}^-] \leq 1 \text{ M}$  y relaciones molares cloruro/fluoruro:  $0,1 \leq [\text{F}^-]/[\text{Cl}^-] \leq 10$ ). También se realizaron experiencias en NaCl 0,001 M, 0,01 M, 0,1 M y 1 M y en NaF saturado (aprox. 1M). El pH de cada una de las soluciones se fijó en 6 mediante la adición de pequeñas cantidades de NaOH, HF ó HCl.

Se realizaron curvas de polarización potenciodinámica (CPP) [14]. Se partió desde un potencial 0,150 V más catódico que el potencial de corrosión hacia potenciales anódicos, hasta alcanzar una densidad de corriente anódica de  $1\text{-}10 \text{ mA/cm}^2$  ó un potencial de  $0,850 V_{\text{ECS}}$  (lo primero que ocurriese). Al llegar a este punto se invirtió el sentido del barrido, finalizándose la experiencia cuando la densidad de corriente anódica fue menor a  $1 \mu\text{A/cm}^2$ . La velocidad de barrido utilizada fue de  $0,167 \text{ mV/s}$ . Previamente al barrido, se realizó un tratamiento catódico de 5 minutos al potencial inicial. El oxígeno disuelto en la solución se desplazó mediante el burbujeo de nitrógeno durante 1 hora previa a la experiencia y a lo largo de toda la misma. Lo anterior se complementó con la observación de las probetas en los microscopios óptico y electrónico de barrido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Figura 1** muestra curvas de polarización potenciodinámica (CPP) de la aleación C-22 en soluciones de NaCl de diferentes concentraciones a pH 6 y  $90^\circ\text{C}$ . Se observó un amplio rango de pasividad con valores similares de corriente de pasividad en las cuatro soluciones (**Fig. 1**). La ocurrencia de corrosión en rendijas se evidenció por una histéresis en el barrido inverso de potenciales (**Fig. 1**). De estas CPP se pueden extraer dos parámetros utilizados frecuentemente en el estudio de la corrosión en rendijas [1-6]: el potencial de ruptura de la pasividad y el potencial de repasivación. Los mismos pueden cuantificarse de acuerdo a diferentes criterios. Los más utilizados en la literatura [2,3] son los que se indican a continuación:

- Potencial de ruptura de la pasividad:  $E_{20}$  es aquel potencial al cual la densidad de corriente anódica alcanza  $20 \mu\text{A/cm}^2$  en el barrido directo de potencial.
- Potencial de repasivación:  $E_{R1}$  es el potencial al cual la densidad de corriente disminuye por debajo de  $1 \mu\text{A/cm}^2$  en el barrido inverso de potencial; o bien  $E_{CO}$  ( $CO$ : *cross over*) es el potencial de intersección de las curvas de barrido directo e inverso de potencial.

En la **Figura 2** se representan los tres parámetros ( $E_{20}$ ,  $E_{R1}$  y  $E_{CO}$ ) en función de la concentración de cloruros. Conforme aumentó la concentración de cloruros se registró una disminución de  $E_{20}$ ,  $E_{R1}$  y  $E_{CO}$ . Para las concentraciones de cloruro 0,5 M y 1 M,  $E_{20}$  estuvo determinado por el inicio de la corrosión en rendijas, ya que el comienzo de la transpasividad a pH 6 ocurre a potenciales mayores ( $\sim 0,500 V_{\text{ECS}}$ ) [9]. Para concentraciones de cloruro entre 0,1 M y 0,001 M la ruptura de la pasividad ( $E_{20}$ ) pudo haber estado determinada tanto por el inicio de la transpasividad como por el de la corrosión en rendijas, o por ambos eventos simultáneamente. Los potenciales  $E_{R1}$  y  $E_{CO}$  tuvieron valores muy próximos entre sí en todo el rango de mediciones (**Fig. 2**). Esto se debió a que la corriente de pasividad en todos los casos fue cercana a  $1 \mu\text{A/cm}^2$ .

Usualmente se asume una relación del tipo  $E = A - B \log[Cl^-]$  para el potencial de repasivación ( $E$ ) en función de la concentración de cloruros ( $[Cl^-]$ ); donde  $A$  y  $B$  son constantes [15]. Para  $E_{R1}$  y  $E_{CO}$  en soluciones de cloruros, a pH 6 y 90°C (Fig. 2), se obtuvieron mediante ajustes por cuadrados mínimos las relaciones que se indican a continuación ( $[Cl^-]$  es concentración molar y  $R^2$  es el coef. de correlación).

$$\begin{aligned} E_{R1} &= -0,127 - 0,056 \cdot \log[Cl^-] & R^2 &= 0,959 \\ E_{CO} &= -0,125 - 0,050 \cdot \log[Cl^-] & R^2 &= 0,953 \end{aligned}$$

La dispersión de los parámetros estudiados se analizó para NaCl 1M a pH 6 y 90°C. Sobre un total de cuatro CPP realizadas los valores medios de  $E_{20}$ ,  $E_{R1}$  y  $E_{CO}$  fueron 0,216; -0,139 y -0,139  $V_{ECS}$  respectivamente, y sus desviaciones estándar fueron 0,100; 0,008 y 0,014  $V_{ECS}$ . El potencial de ruptura de la pasividad ( $E_{20}$ ) presentó una considerable dispersión estadística; en cambio los potenciales de repasivación ( $E_{R1}$  y  $E_{CO}$ ) fueron muy reproducibles.

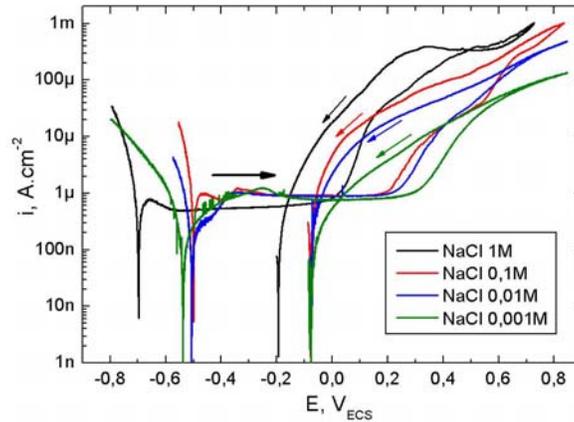


Figura 1. CPP de aleación C-22 en soluciones de NaCl de diferentes concentraciones a pH 6 y 90°C.

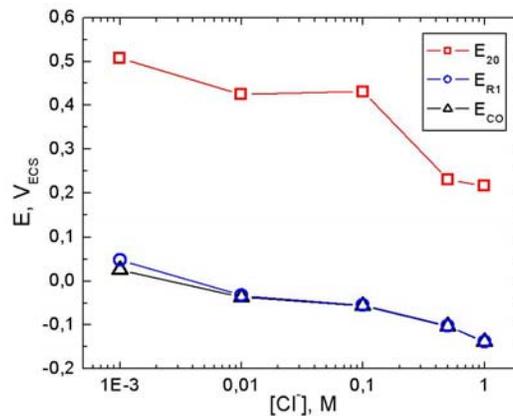
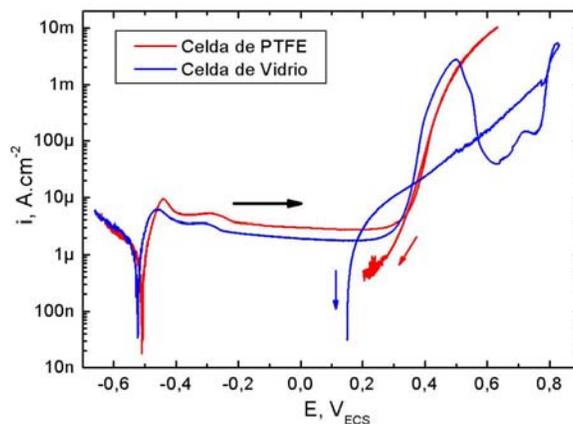


Figura 2. Potenciales  $E_{20}$ ,  $E_{R1}$  y  $E_{CO}$  vs. concentración de cloruros a pH 6 y 90°C.

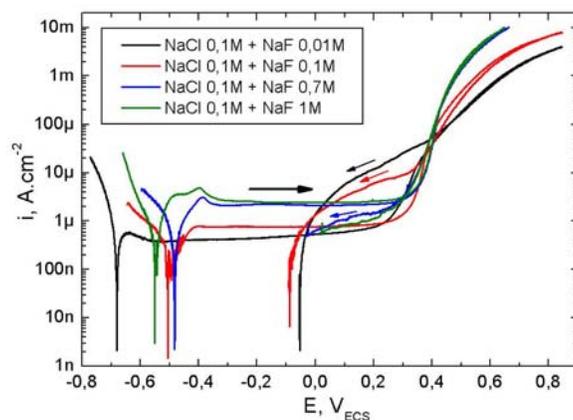
La Figura 3 presenta dos CPP realizadas en NaF ~1M, a pH 6 y 90°C, llevadas a cabo en celdas electroquímicas de vidrio borosilicato (a) y de acero inoxidable con un recubrimiento de PTFE (b). En ningún caso se observó corrosión en rendijas ni picado. La curva realizada en celda de vidrio (a) presentó un pico de corriente en la zona de potenciales de transpasividad ( $E > 0,400 V_{ECS}$ ), mientras que la curva realizada en la celda con recubrimiento de PTFE (b) exhibió un incremento sostenido de corriente a dichos potenciales (Fig. 3). Al finalizar el ensayo en la celda de vidrio (a) se observó un sólido gelatinoso color verde depositado sobre la probeta, lo cual no fue observado en la celda (b). Análisis químicos de este sólido por fluorescencia de rayos X revelaron la presencia de grandes cantidades de silicio (Si) y níquel (Ni), y en menores proporciones, cromo (Cr) y hierro (Fe) [8,9]. El silicio detectado probablemente provino de la celda de vidrio borosilicato atacada por los iones fluoruro [8,9]. La sílice amorfa posee gran poder de adsorción y puede atrapar iones pesados [16]. Es conocido el efecto benéfico del silicio en las aleaciones Ni-Cr-Si en medios calificados como súper-oxidantes (e.g.  $H_2SO_4$  concentrado) en los cuales las películas ricas en cromo no pueden mantener la pasividad [17]. Esto se ha atribuido a la formación de un film pseudo-pasivo rico en

silicio [17]. La disminución de la corriente que presentó la CPP realizada en la celda de vidrio (a) puede atribuirse al mencionado efecto del silicio, aunque se requiere un estudio más detallado al respecto. Para evitar la interferencia de la sílice disuelta en medios conteniendo fluoruros fue necesario minimizar la cantidad de vidrio en contacto con la solución. Todas las mediciones en presencia de fluoruros fueron llevadas a cabo en la celda electroquímica de acero inoxidable con un recubrimiento de PTFE (b).



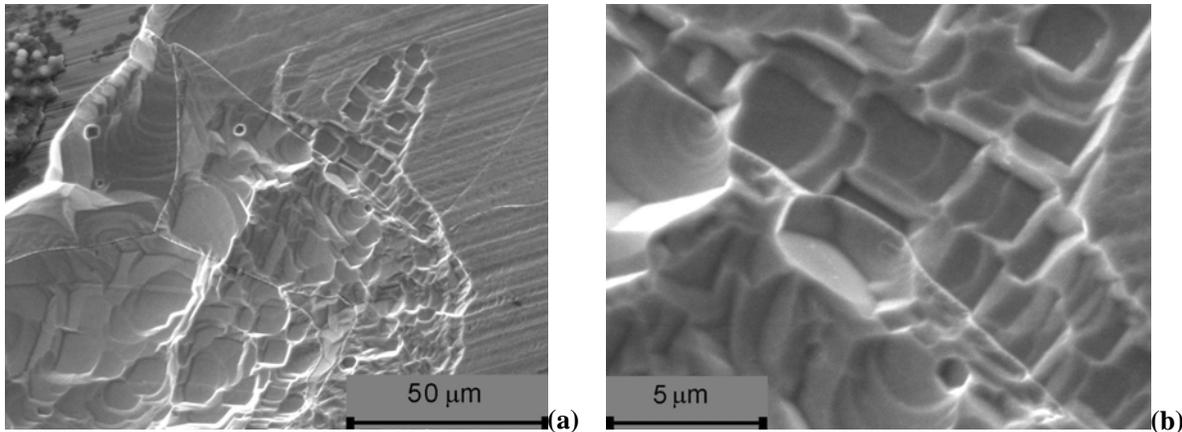
**Figura 3.** CPP de aleación C-22 en NaF ~1M a pH 6 y 90°C.

En la **Figura 4** se observan **CPP** realizadas en medios conteniendo NaCl 0,1M, a pH 6 y 90°C, y diferentes concentraciones de NaF. A medida que se incrementó la concentración de fluoruros se presentó un importante aumento de la densidad de corriente de pasividad (**Fig. 4**) y un incremento más abrupto de la corriente posterior a la ruptura de la pasividad (**Fig. 4**, NaCl 0,1M + NaF 0,7M y NaCl 0,1M + NaF ~1M). Para concentraciones bajas de fluoruro (NaF 0,1M y NaF 0,01M) se observó una considerable histéresis en el barrido inverso de potenciales (**Fig. 4**); mientras que para concentraciones de fluoruro más elevadas (NaF 0,7M y NaF 1M) los barridos directo e inverso fueron casi coincidentes (**Fig. 4**). La probeta ensayada en NaCl 0,1M + NaF ~1M no sufrió corrosión en rendijas. Las probetas ensayadas en las soluciones con menor concentración de fluoruro (0,7M; 0,1M y 0,01M) sufrieron diferentes intensidades de ataque localizado bajo los formadores de rendijas. En ningún caso se observó corrosión por picado.



**Figura 4.** CPP de aleación C-22 en NaCl 0,1M con diferentes concentraciones de NaF a pH 6 y 90°C.

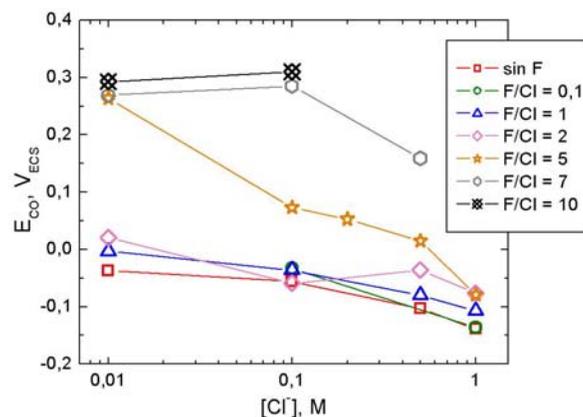
El ataque localizado que se halló al finalizar las **CPP** en las probetas que sufrieron corrosión en rendijas se produjo siempre bajo los formadores de rendijas (**Fig 5**). Con frecuencia se observó en imágenes de microscopio electrónico de barrido que se revelaba la estructura de granos de la aleación (**Fig 5**) e incluso se distinguieron diferentes planos cristalinos (**Fig 5**). El tipo de ataque sufrido puede calificarse como cristalino [15] y seguiría los planos de mayor energía en la estructura de granos del cristal.



**Figura 5.** Fotografías de microscopio electrónico de barrido de una probeta que sufrió corrosión en rendijas en una CPP en KCl 0,5M+ NaF ~1M a pH 6 y 90°C. Magnificación: (a) 440x (b) 3520x.

Debido a la diferencia significativa entre las densidades de corriente de pasividad de los medios con altas concentraciones de fluoruros ( $>0,1M$ ) y los medios con bajas concentraciones de fluoruros (**Fig. 4**) se escogió a  $E_{CO}$  como potencial de repasivación con fines comparativos. Esto se fundamentó en que las mayores densidades de corriente de pasividad de los medios con altas concentraciones de fluoruros podrían distorsionar el efecto inhibitor de este ion (**Fig. 4**) si se utilizara otro criterio ( $E_{RI}$ ).

En la **Figura 6** se presentan los potenciales de repasivación ( $E_{CO}$ ) para la aleación C-22 en función de la concentración de cloruros  $[Cl^-]$ , para diferentes relaciones molares fluoruro/cloruro ( $[F^-]/[Cl^-]$ ) a pH 6 y 90°C. Como tendencia general se observó que  $E_{CO}$  disminuye con la concentración de cloruros y aumenta con la relación  $[F^-]/[Cl^-]$  (**Fig. 6**). Se requirió una relación fluoruro/cloruro mínima ( $[F^-]/[Cl^-] > 2$ ) para tener un efecto significativo sobre el valor de  $E_{CO}$ . Para relaciones  $[F^-]/[Cl^-] = 7$  se detectó una intensidad de ataque muy baja o nula por corrosión en rendijas, y para relaciones  $[F^-]/[Cl^-] = 10$  no se observó corrosión en rendijas en ningún caso. La relación  $[F^-]/[Cl^-]$  umbral para tener un efecto inhibitor total estuvo entre 5 y 10. Para  $[Cl^-] = 0,01M$ , la relación  $[F^-]/[Cl^-] = 5$  fue suficiente para inhibir la corrosión en rendijas por completo; en cambio para  $[Cl^-] = 0,1M$ , fue necesaria una relación  $[F^-]/[Cl^-] = 10$  para obtener el mismo efecto. Lo anterior sugiere que esta relación umbral aumentaría para mayores concentraciones (absolutas) de cloruros. Se propone realizar en el futuro ensayos potenciostáticos a  $E > E_{CO}$  para diferentes relaciones  $[F^-]/[Cl^-]$  cuantificando la magnitud del ataque localizado, de modo tal de confirmar los resultados obtenidos en el presente trabajo y profundizar el conocimiento del sistema en estudio.



**Figura 6.** Potenciales de repasivación  $E_{CO}$  vs. concentración de cloruros para diferentes relaciones molares  $[F^-]/[Cl^-]$  a pH 6 y 90°C. Para  $[Cl^-] > 0,2M$  y  $[F^-]/[Cl^-] > 2$ , se utilizaron sales de potasio (KF y KCl).

Basado en estudios realizados en níquel (Ni) y hierro (Fe), B.R. MacDougall [12] sostiene que las mezclas de fluoruros y cloruros pueden ser extremadamente perjudiciales con respecto a la ruptura localizada de la pasividad de la aleación C-22. Esto lo atribuye al debilitamiento del film pasivo provocado por el ion

fluoruro (produciendo gran cantidad de rupturas localizadas) y a la interferencia del ion cloruro en la auto-reparación del mismo [12]. Por otra parte, R.C. Newman afirma que los iones fluoruro no son especies agresivas para la corrosión localizada de los aceros inoxidable [13] y que dado que el ácido fluorhídrico (HF) es un ácido débil, el fluoruro podría actuar como un inhibidor de la corrosión localizada de la aleación C-22 [13].

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo y a la experiencia previa acumulada por los autores [8-11] sobre el comportamiento frente a la corrosión de la aleación C-22 en mezclas de cloruros y fluoruros, se puede concluir que el ion fluoruro resulta agresivo con respecto a la disolución pasiva y transpasiva [8-11] (**Fig. 4**), pero se comporta como un inhibidor débil frente a la corrosión en rendijas inducida por cloruros (**Fig. 6**). Los inhibidores más estudiados en este sistema son oxi-aniones tales como nitrato [1,3-6], sulfato [1,3-6], y en menor medida carbonato y bicarbonato [6]. Estos aniones permiten obtener una inhibición total de la corrosión en rendijas con relaciones molares [Inhibidor]/[Cl<sup>-</sup>] del orden de 0,1-0,5 [6] (en condiciones experimentales similares a las utilizadas en el presente trabajo: temperatura, pH, etc.). En cambio, las relaciones [F<sup>-</sup>]/[Cl<sup>-</sup>] requeridas para una inhibición total de la corrosión en rendijas fueron al menos de un orden de magnitud mayores (5 -10).

## CONCLUSIONES

1. Los potenciales de ruptura de la pasividad ( $E_{20}$ ) y de repasivación ( $E_{R1}$  y  $E_{CO}$ ) de la aleación C-22 determinados en soluciones de NaCl disminuyeron al aumentar la concentración de cloruros, presentando una relación del tipo  $E = A - B \log[Cl^-]$ .
2. Los potenciales de repasivación ( $E_{CO}$ ) aumentaron junto con la relación fluoruro/cloruro.
3. El ion fluoruro se comportó como un inhibidor débil de la corrosión en rendijas inducida por cloruros en la aleación C-22.
4. Para lograr una inhibición total de la corrosión en rendijas fue necesario una relación molar fluoruro/cloruro entre 5 y 10 a 90°C y pH 6.
5. Para relaciones menores se observó un efecto inhibidor moderado o nulo.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente realizado bajo los auspicios del U. S. Department of Energy por la University of California, Lawrence Livermore National Laboratory bajo contrato N° W-7405-Eng-48

## REFERENCIAS

1. G.M. Gordon, Corrosion, **58**, pp 811-825 (2002).
2. R.B. Rebak en Corrosion and Environmental Degradation, Vol II, pp 69-111 (Wiley-VCH, 2000: Weinheim, Germany).
3. R.B. Rebak y J.C. Estill in Fall Meeting of the Materials Research Society, Boston, Massachusetts, 2-6 December 2002, Vol. **757**, pp. 713-721, Paper II4.1.
4. K.J. Evans, y R.B. Rebak, Corrosion Science a Retrospective and Current Status in Honor of R.P. Frankenthal, The Electrochemical Society 2002, Pennington, New Jersey, 2002-13, pp. 344-354.
5. B.A. Kehler, G.O. Ilevbare and J.C. Scully, Corrosion, **57**, pp 1042-1065 (2001).
6. D.S. Dunn et al. "Localized Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Alloy 22 Waste Package Outer Containers" JOM, January 2005, pp 49-55.
7. N.S. Meck, P. Crook, S.D. Day, y R.B. Rebak, Paper 03682, Corrosion/03 NACE Intl, 2003, Houston, Texas.
8. M.A. Rodríguez, R.M. Carranza y R.B. Rebak, Paper 04700, Corrosion/04, NACE Intl., 2004, Houston, Texas.
9. M.A. Rodríguez, Tesis de Maestría, Instituto de Tecnología "J.A. Sabato", UNSAM, 2004.
10. M.A. Rodríguez, R.M. Carranza, S.D. Day y R.B. Rebak, Paper 05599, Corrosion/05, NACE Intl, 2005, Houston, Texas.
11. M.A. Rodríguez, R.M. Carranza y R.B. Rebak, Met. Trans. A Vol **36A**-No.5, 2005, pp.1179-1185.
12. B.R. MacDougall, en Proceedings from an Intl. Workshop on Long-Term Passive Behavior, 19 y 20 de Julio, Arlington, Virginia, ed.: A.A. Sagüés y C.A.W. Di Bella, USNWTRB, 2001, pp. 49-54.
13. R.C. Newman, Compilation of Special Topic Reports, ed.: F.M.G. Wong y J.H. Prayer, 2002, Topic 10.
14. Annual Book of ASTM Standards, 1996, G78-95, p 315 y G61-86, p 239.
15. R.B. Rebak, Paper 05610, Corrosion/05, NACE Intl, 2005, Houston, Texas.
16. I. M. Kolthoff, E. B. Sandell, E. J. Meehan and S. Bruckenstein - Análisis Químico Cuantitativo -Librería y Editorial Nigar S. R. L., Buenos Aires, Cuarta Edición, 1972.
17. Haynes International - Guide to corrosion-resistant nickel alloys - H-2114B (2002).