

# RECUPERACIÓN DE $\text{Ag}^+$ CONTENIDA EN PLACAS RADIOGRÁFICAS SOBRE Ti EN UN REACTOR ELECTROQUÍMICO TIPO PRENSA

Pedro Alberto Ramírez Ortega<sup>1</sup>, Víctor Esteban Reyes Cruz<sup>1</sup>, Ma. Aurora Veloz Rodriguez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, ICBI, UAEH. Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Pachuca Hidalgo, México, CP 42184.

[pedroramirezortega@gmail.com](mailto:pedroramirezortega@gmail.com)

## Resumen

En este trabajo se estudio la recuperación de plata contenida en las placas radiográficas sobre titanio, mediante estudios de micro y macroelectrólisis en un reactor electroquímico tipo prensa. Los estudios de microelectrólisis mediante voltamperometría cíclica permitieron la obtención del intervalo de corriente donde se lleva a cabo el proceso de reducción de  $\text{Ag}^+$ . Por su parte los estudios de macroelectrólisis: a corriente controlada y a diferentes velocidades de flujo, permitieron la obtención de depósitos homogéneos a lo largo de la superficie de Ti, los cuales resultaron ser plata.

## Introducción

Las placas radiográficas constan de una emulsión de haluros de plata sobre un material de soporte, el cual es de polietiléntereftalato. Este tipo de producto es el insumo más importante del servicio de rayos X de cualquier hospital o clínica. Desafortunadamente, una vez que las placas radiográficas han cumplido su función, terminan siendo desechadas por completo. Traducido en números, se estaría tirando casi el 45% de la plata que se destina al sector fotográfico. Actualmente, se cuenta con métodos para recuperar plata de los residuos generados por el sector fotográfico, como son los químicos y electroquímicos. Ambos procesos, ya se han descrito detalladamente en la literatura [1-4], y muestran la conveniencia de utilizar el proceso de recuperación electroquímica dado su bajo costo.

Diversos trabajos han abordado la recuperación de Ag presente en los efluentes generados por el sector fotográfico [5, 6]. Sin embargo, para el caso de los desechos sólidos no hay suficiente información. Estudios fundamentales han mostrado que soluciones como: ácido nítrico, cianuro, borohidruro de potasio, y amoníaco, son buenos agentes para disolver la plata contenida en los residuos sólidos radiológicos, y que sustratos como el acero

inoxidable, titanio, carbón vítreo y plata permiten llevar a cabo el depósito de plata [7-10]. Por otra parte, estudios de especiación química de un baño de nitratos generado a partir de los desechos sólidos de la industria fotográfica y radiográfica, establece que la especie predominante en el medio es  $\text{Ag}^+$  y que la evolución de hidrógeno no interfiere en su depósito [7].

Hoy en día, se cuenta con un gran número de reactores electroquímicos para diversos procesos, dentro de los cuales se encuentran: Electrocell AB, FM01-LC y FM21, utilizados para estudios a nivel laboratorio, nivel planta piloto y escala industrial, los cuales han mostrado la viabilidad de recuperar plata de los desechos generados por el sector fotográfico [11-15]. Es por ello, que en este trabajo, se estudia la recuperación de plata presente en las placas radiográficas mediante estudios de micro y macroelectrólisis sobre un sustrato de Titanio, mediante el uso de reactor electroquímico tipo filtro prensa (denominado FP01-EP), con la finalidad de conocer las condiciones energéticas donde se lleva a cabo la recuperación de este elemento.

### **Materiales y/o Procedimiento Experimental**

Se utilizó un reactor electroquímico tipo prensa FP01-EP, con un sistema de tres electrodos (trabajo, auxiliar y referencia). La capacidad del reactor es de 280 mL. Se utilizó Ti (área geométrica de  $64.3 \text{ cm}^2$ ) como electrodo de trabajo. Como referencia se utilizó un electrodo de Calomel saturado (ECS) y como contra electrodo grafito. La solución utilizada en este estudio fue una solución industrial (ácido nítrico 5% en volumen con 250 gramos de placa radiográfica) con una concentración de  $\text{Ag}^+$  de 2100 ppm (denominada como DSFR).

Para la realización de los estudios de micro y macroelectrólisis se utilizó un Potenciostato - Galvanostato marca PAR, modelo 263A. Las técnicas utilizadas se manejaron a través del software PowerSuit proporcionado por la misma compañía.

### **Resultados y Discusión**

#### ***Estudio de Microelectrólisis de la solución DSFR***

Las curvas voltamperométricas proporcionan información acerca de los procesos de oxidación y reducción, que ocurren en la interfase (electrodo-solución), y permiten conocer,

tanto la reversibilidad, como las etapas en donde se llevan a cabo dichos procesos.

El estudio voltamperométrico de la solución DSFR sobre Ti, permitió la obtención de dos procesos: 1) un proceso de reducción de la especie iónica de  $\text{Ag}^+$  a partir de 170 mV (a) y 2) un proceso de oxidación en el intervalo de 350 mV a 850 mV (b). Por otra parte, el pico de oxidación presento una corriente de 150 mA. Lo cual indica, que este sustrato presenta una buena respuesta para llevar a cabo el depósito de los iones  $\text{Ag}^+$  de la solución DSFR.

### **Estudio de Macroelectrólisis a corriente controlada de la solución DSFR.**

Las macroelectrólisis a corriente controlada se llevaron a cabo durante 120 minutos, a una velocidad lineal de flujo de  $10 \text{ Lmin}^{-1}$  y se utilizó un arreglo de dos electrodos. Cabe mencionar, que estas corrientes fueron obtenidas del estudio voltamperométrico. En la figura 1a se muestran los transitorios galvanostáticos sobre un electrodo de Ti en el intervalo de corriente de -30 a -115mA. Se puede observar que conforme la corriente toma valores más catódicos, el potencial toma valores más negativos para todo el tiempo de macroelectrólisis. Por otra parte, se tiene que en todo el intervalo de corriente los potenciales presentan prácticamente la misma pendiente, lo cual indica que la especie electroactiva de  $\text{Ag}^+$  no se ha terminado, debido a la alta concentración de esta en la solución industrial.

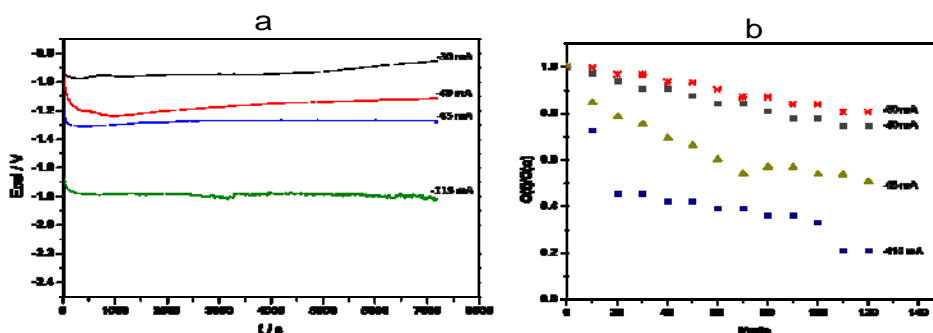


Figura 1. a) Cronopotenciogramas de la reducción del ion  $\text{Ag}^+$  sobre Ti., b) Variación de la concentración normalizada de  $\text{Ag}^+$  presente en la solución DSFR, en función del tiempo de macroelectrólisis cuando se impone una corriente controlada, en un intervalo de -0.03 a -0.115 A, sobre un electrodo de Ti (área  $64.3 \text{ cm}^2$ ) y una velocidad de  $10 \text{ Lmin}^{-1}$ .

Con el fin de determinar el intervalo de corriente donde se lleva a cabo la recuperación selectiva de Ag, se realiza la determinación de la disminución de la concentración  $\text{Ag}^+$  en la

solución DSFR, a partir de los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada. La determinación se realizó por absorción atómica.

En la figura 1b, se observa que la variación de la concentración normalizada de  $\text{Ag}^+$ , disminuye con respecto al tiempo de electrólisis, para todo el intervalo de corrientes impuestas sobre el electrodo de Ti. También, se observa que en el intervalo de -30 mA a -115 mA se presenta un incremento en la recuperación de plata conforme la corriente toma valores más catódicos. Este comportamiento se debe a que se está realizando el depósito masivo de plata sobre la superficie de Ti. Los resultados de este estudio permitieron la obtención de un recubrimiento homogéneo en toda la superficie del Ti el cual, es debido a la plata depositada. Estos depósitos presentan similares procesos de nucleación a los obtenidos en un trabajo previo [16], los cuales por medio de MEB y difracción de rayos X, mostraron que el depósito obtenido sobre el A304, es plata

### ***Estudio de Macroelectrólisis a diferentes velocidades de flujo de la solución DSFR.***

El estudio se realizó a una corriente controlada de -65 mA durante 120 minutos, las velocidades de flujo fueron 7.5, 10, 12.5 y 15  $\text{Lmin}^{-1}$ . Se pudo observar que el potencial tomaba valores menos negativos conforme se incrementa la velocidad de flujo del electrolito (solución DSFR) durante todo el tiempo de macroelectrólisis. También, que en todo el intervalo de velocidades impuesta los potenciales presentaban prácticamente la misma tendencia, lo cual indicaba que la especie electroactiva de  $\text{Ag}^+$  no se ha terminado, debido a la alta concentración de esta en la solución industrial (DSFR). Con el fin de conocer la velocidad de flujo del electrolito donde se lleva a cabo una óptima recuperación de plata, se realiza la determinación de la disminución de la concentración de  $\text{Ag}^+$  en la solución DSFR, a partir de los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada variando la velocidad de flujo.

En la figura .2, muestra la variación de la concentración de  $\text{Ag}^+$  con respecto a la concentración inicial,  $C(t)/C(0)$ , en función del tiempo de electrólisis, cuando se impone una corriente constante de -65mA, en el intervalo de velocidad de flujo de 7.5 a 15  $\text{Lmin}^{-1}$  sobre el electrodo de Ti ( $64.3 \text{ cm}^2$ ) y a un tiempo de macroelectrólisis de 120 minutos.

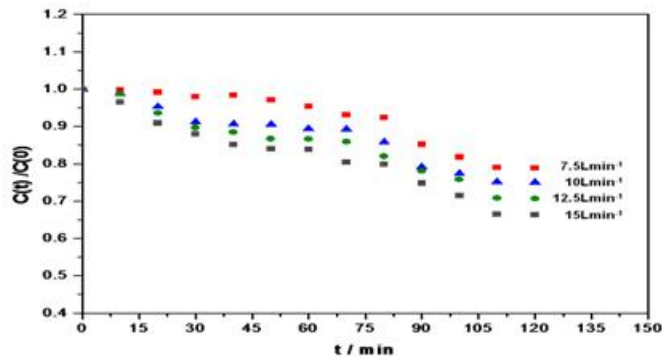


Figura 2. Variación de la concentración normalizada de  $\text{Ag}^+$  presente en la solución DSFR, en función del tiempo de macroelectrólisis cuando se impone una corriente de  $-65 \text{ mA}$ , en un intervalo de velocidad de flujo de  $7.5$  a  $15 \text{ Lmin}^{-1}$ , sobre un electrodo de  $\text{Ti}$

En la figura 2 se observa que la concentración normalizada de  $\text{Ag}^+$ , disminuye con respecto al tiempo de electrólisis, para las cuatro velocidades de flujo impuestas. También, se observa que en el intervalo de velocidades se tiene un incremento en la recuperación de plata conforme la velocidad de flujo incrementa. Los resultados del estudio de macroelectrólisis a corriente controlada variando la velocidad de flujo del electrolito, permitieron la obtención de un recubrimiento homogéneo en toda la superficie del  $\text{Ti}$ . Este recubrimiento es debido a la plata depositada, el cual presentan las mismas características a los obtenidos en un trabajo previo [16].

### Conclusiones

Los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada sobre  $\text{Ti}$ , permitieron obtener un depósito sobre la superficie de Titanio, el cual es debido a la plata. Por otra parte, los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada con variación de flujo sobre el electrodo de  $\text{Ti}$ , revelaron la importancia que tiene las condiciones hidrodinámicas en la solución, ya que al incrementar la velocidad de flujo, se incrementaba la cantidad de depósito sobre la superficie de  $\text{Ti}$ , el cual es debido a la plata; mostrando también, que si se incrementa dicha velocidad, disminuye la concentración de  $\text{Ag}^+$  en la solución DSFR.

### Referencias

1. GUENTER, K. *Silver Recycling from photographic solutions: review of the methods*, Chemical Labor Betr, 1981, vol. 32, p. 40-48.

2. KIMBROUGH, D. E., WONG, W. P. and KIM, J. *A critical review of photographic and radiographic silver recycling*. *J. of solid waste Technology and Management*". 23 (1996), p 197-207.
3. OROPEZA, M.T., PONCE, C., y GONZALES, I. *Principios y Aplicaciones de los procesos Electroquímicos*, 1ra. Ed. Sociedad Mexicana de Electroquímica, 1995. ISBN: 970-654-643-X.
4. EASTMAN K.C. Environment Information from Kodak. The Technology of Silver Recovery for Photographic Processing Facilities, 1999, J-212.
5. CHATELUT, M., GOBERT, E. and VITTORI, O. *Hidrometallurgy*, 2000, no. 54, p. 79-90.
6. MELO, A. *Estudios electroquímicos preliminares en un rector tipo prensa para la recuperación de Ag proveniente de los efluentes de la industria Fotográfica y Radiográfica*. 2005, Tesis de Licenciatura UAEH, México.
7. RAMIREZ, P. A. *Estudio electroquímico preliminar para deposita Ag proveniente de los desechos sólidos de la industria fotográfica y radiográfica*. 2005, Tesis de Licenciatura UAEH, México.
8. ZHOUXIANG, H., JIANYING, W. and JIFAN, H. *Hidrometallurgy*, 2008, no. 92, p. 148-151.
9. AJIWE, V. and ANYADIEGWU, I. *Separation and Purification Technology*, 2002, no. 18, p. 89-92.
10. SYED, S., SURESHA, S., SHARMA L. and SYED A. *Hidrometallurgy*, 2002, no. 63, p. 277-280.
11. WALSH, F. and ROBINSON, D. *Chemical Technology Europe*, May/June 1995, p. 16.
12. PLETCHER, D. and WALSH, F. *Industrial Electrochemistry*, 2nd Ed, Chapman & Hall, 1990. p. 146.
13. WALSH, F. *A First Course in Electrochemical Engineering*, The Electrochemical Consultancy, England, 1993, p148, 273.
14. ARTHUR, J. and FORREST, J. *Current Distribution in a Chlor-Alkali membrane Cell experimental Study and Modeling*. *Desalination*, 1889, no. 149, p. 375.
15. GUTIERREZ, J., y HORITA, L. *Recuperación de Plata*. 2003, Tesis de Licenciatura UAM-I, México.
16. RAMIREZ P. A., REYES, V., y VELOZ, M. A. *memorias del XXIII Congreso nacional de la sociedad mexicana de electroquímica y 1ª reunión de "Mexican section of the electrochemical society"*, 2008, no. 17, p. 29.