

## Recuperación de plata proveniente de placas radiográficas utilizando un reactor electroquímico tipo prensa.

Ramírez Ortega Pedro Alberto<sup>1</sup>, Reyes Cruz Victor E.<sup>1\*</sup>, Veloz Rodríguez María Aurora<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

<sup>1</sup>e-mail: [albertsalatiel@hotmail.com](mailto:albertsalatiel@hotmail.com)

<sup>1\*</sup>e-mail: [reyescruz16@yahoo.com](mailto:reyescruz16@yahoo.com)

La plata ha ubicado a México ante el mundo como uno de sus principales productores, sin embargo, esto puede cambiar, debido al latente agotamiento de sus yacimientos, por lo que el país debe buscar nuevas fuentes de obtención de este metal, como por ejemplo los productos postconsumidos como las placas radiográficas, donde una vez utilizadas son desechadas. Hoy en día los procesos electroquímicos son una alternativa viable para recuperar plata. En este trabajo se realizan estudios voltamperométricos y cronopotenciométricos para encontrar las condiciones energéticas que permitan la recuperación de plata proveniente de placas radiográficas sobre un acero inoxidable A304 en un reactor electroquímico tipo prensa. Los estudios voltamperométricos permitieron determinar el intervalo de potencial y corriente a imponer para llevar a cabo el proceso de recuperación de plata. Mientras que los estudios de macroelectrólisis a potencial controlado muestran que no es posible la recuperación de Ag sobre el A304 ya que se presenta un sobre potencial en el reactor, debido a una modificación importante en la superficie del A304. Por otra parte, los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada sí permiten la recuperación de plata sobre el acero inoxidable A304 como se ve en la figura 1. Finalmente estudios mediante MEB y Rayos X del producto de reducción retirado mecánicamente de la superficie del acero inoxidable A304 verifican la recuperación de plata proveniente de las placas radiográficas.

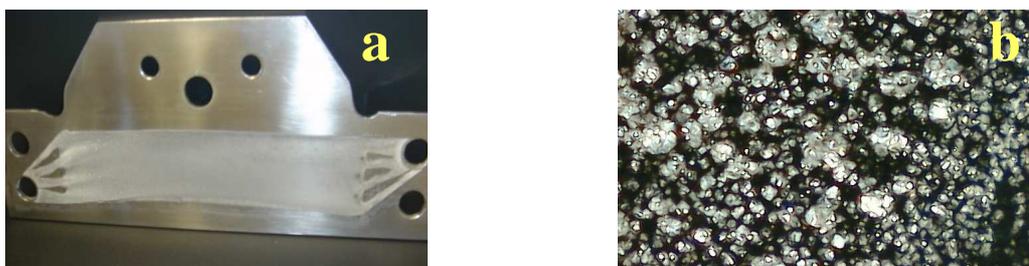


Figura 1 Productos de reducción de Ag sobre A304 a) imagen macroscópica y b) imagen ampliada.

Palabras clave: plata, recuperación, placas radiográficas, reactor, acero inoxidable 304.

# Recuperación de plata proveniente de placas radiográficas utilizando un reactor electroquímico tipo prensa

Ramírez Ortega Pedro Alberto<sup>1</sup>, Reyes Cruz Victor Esteban<sup>1,\*</sup>, Veloz Rodríguez María Aurora<sup>1</sup>

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

\*e-mail: [reyescruz16@yahoo.com](mailto:reyescruz16@yahoo.com)

Palabras claves: plata, recuperación, placas radiográficas, reactor, acero inoxidable A304.

## 1. Introducción

La plata es uno de los minerales metálicos de mayor importancia en el planeta debido a sus múltiples propiedades y valor económico. En países como México, la plata significa un lugar valioso ante el mundo, muestra de esto es el informe dado por Ministerio de Energía y Minas (MEM) por medio del Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS), acerca de la producción mundial de plata en el 2007, donde México se mantiene como segundo lugar en producción de este metal por debajo de Perú [1, 2]. Lo cual es un foco de atención para el país, ya que un par de años atrás México ocupaba el lugar de honor en cuanto a producción de plata. Pero esto puede empeorar si se considera el hecho de que los yacimientos con los que se trabaja están en un latente agotamiento. Por lo que el país debe buscar nuevas fuentes y formas de obtención de este metal que le permitan no solo mantenerse si no retomar el liderazgo como numero uno en producción de plata. Una opción favorable y en la que México puede intervenir es mediante el tratamiento de productos postconsumidos que contienen plata y así recuperarla y reutilizarla. Un ejemplo de estos productos son las placas radiográficas, las cuales una vez cumplida su función son desechadas por completo.

Actualmente los procesos electroquímicos son utilizados para recuperar plata contenida en desechos generados por la industria fotográfica, dado el bajo costo de recuperación [3]. Hoy en día, los procesos electroquímicos ofrecen el uso de

estas soluciones de desecho para recuperar plata, utilizándola como materia prima para recubrir metales, lo cual propicia nuevas áreas de aplicación.

En la literatura hay trabajos reportados que abordan la recuperación de plata de los desechos de la industria fotográfica y radiográfica. Entre los trabajos reportados se encuentra el de Chatelut y colaboradores donde reportan las condiciones adecuadas para la recuperación de plata contenida en la solución fijadora de los desechos fotográficos [4]. Mientras que Zhouxiang y colaboradores propusieron un método para recuperar plata a partir de los desechos de películas de rayos X [5] el cual consiste en la oxidación con  $\text{KBH}_4$ , y una vez libre la plata es oxidada con aire. Por su parte Adani y colaboradores usaron tiosulfato de sodio para disolver los haluros de plata contenidos en las placas, pero la plata no puede ser disuelta [6]. Ajiwe y Anyadiegwu utilizan ácido nítrico para disolver la plata contenida en las películas de rayos X [7]. Por otro lado Syde y colaboradores describen un proceso para la recuperación de plata de las placas radiográficas mediante calentamiento con una solución a temperatura de ebullición de ácido oxálico para separar los componentes inorgánicos del polímero [8]. En el 2000 Gutiérrez, Horita y Lapidus diseñaron y desarrollaron un proceso de recuperación de plata contenida a partir de material radiológico de desecho [9]. De la revisión bibliográfica se pudo ver que en efecto hay trabajos que abordan la recuperación de plata con ácido nítrico, pero sin embargo no hay trabajos que estudien la recuperación de plata contenida en placas radiográfica utilizando un reactor electroquímico tipo prensa

Lo anterior, permite proponer el presente trabajo, con la finalidad de estudiar las condiciones de operación y la metodología necesaria para llevar a cabo la recuperación de plata contenida en las placas radiográficas sobre acero inoxidable (A304) a nivel escala piloto, mediante el uso de un reactor electroquímico tipo prensa. Y así, aportar en el desarrollo de una tecnología que permita llevar a cabo la recuperación del metal más representativo y de interés en la economía mexicana. En este trabajo se realiza un estudio de macroelectrólisis del depósito de Ag mediante técnicas voltamperométricas y cronopotenciométricas a potenciales y corrientes constantes, con la finalidad de determinar las condiciones energéticas a imponer para obtener la recuperación de

Ag sobre el sustrato de acero inoxidable A304 a escala piloto. Finalmente se verifica que la naturaleza del depósito sobre la superficie del A304 sea realmente plata.

## 2. Experimental

El estudio de macroelectrólisis se llevo a cabo en un reactor electroquímico tipo prensa, con un sistema de 3 electrodos (trabajo, auxiliar y referencia). El reactor electroquímico denominado FP01-EP (figura 1) fue construido en el laboratorio de recubrimientos y corrosión de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El compartimiento catódico y anódico no se encuentra separado por una membrana aniónica. La capacidad del reactor es de 280 ml. Se utilizo un sustrato de acero inoxidable A304 (área geométrica de  $64.3 \text{ cm}^2$ ) como electrodo de trabajo, las superficie del electrodo fue pulida y posteriormente los electrodos se enjuagaron con agua desionizada. Como referencia se utilizo un electrodo de Calomel saturado (ECS) y como contra electrodo titanio recubierto.



**Figura 1. Sistema hidráulico: recipientes bombas y puertos de muestreo utilizados en la realización de macroelectrólisis.**

Las soluciones utilizadas para el estudio de este trabajo fueron: Solución de ácido nítrico 5% en volumen (electrolito soporte), Solución Industrial (ácido nítrico 5% en volumen con 250 gramos de placa radiográfica) con una concentración de Ag de 2100 ppm. Todas las soluciones se prepararon con agua desionizada de  $18 \text{ m}\Omega$ .

La solución utilizada en el estudio de macroelectrólisis fue la solución industrial proveniente de las placas radiográficas (figura 2). Cabe mencionar que la preparación de solución industrial se obtuvo a partir de pruebas de disolución de plata, donde se pesaron 5 gramos de placa en ácido nítrico a diferentes concentraciones y en agitación.



**Figura 2. Desecho solido de la industria fotográfica (placa radiográfica).**

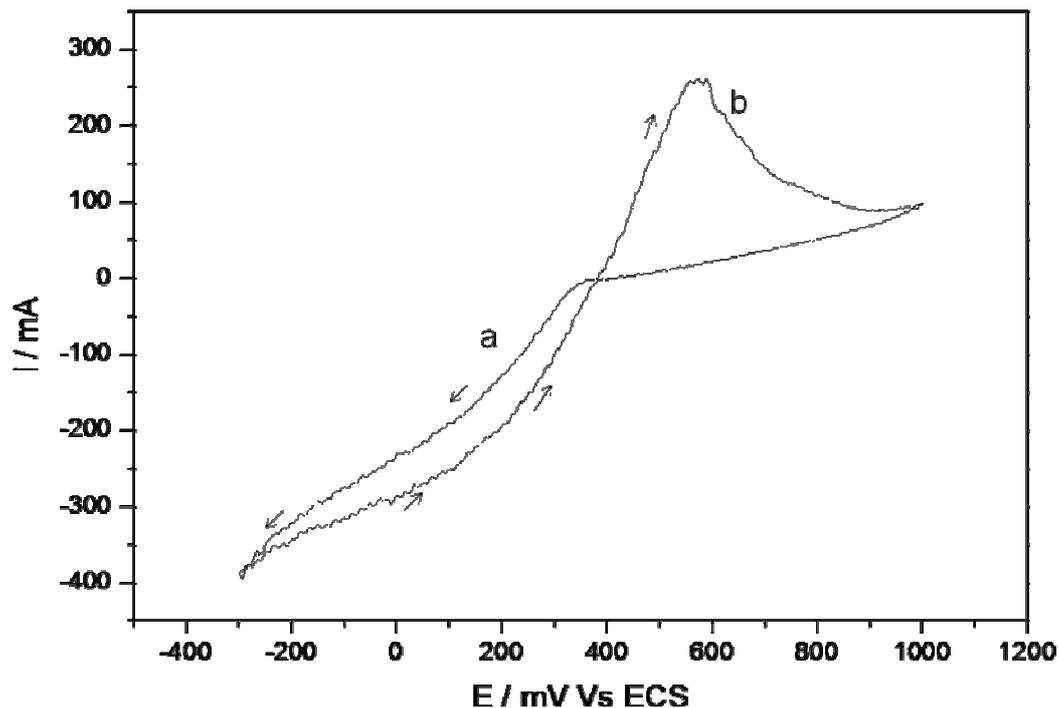
En la realización del estudio electroquímico se utilizó un potencióstato-galvanostato marca PAR, modelo 263A conectado a una fuente de poder KEPCO con capacidad de 10 A. Las técnicas utilizadas se manejan a través del software PowerSuit proporcionado por la misma compañía.

La morfología del recubrimiento depositado sobre la superficie del electrodo de A304, se realizó usando un Microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM-6300. Las imágenes se realizaron usando electrones secundarios a 20 kV. La caracterización del depósito de plata adherido en la superficie del electrodo de acero inoxidable A304 fue obtenida por un difractómetro de Rayos X'pert.

### **3. Discusión de resultados**

#### **3.1. Estudio voltamperométrico**

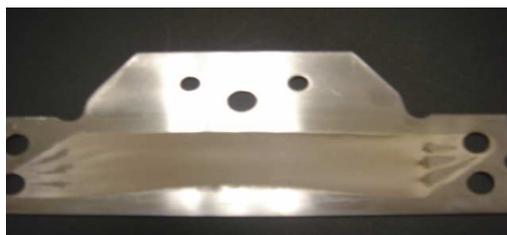
En la figura 3 correspondiente a la solución industrial con iones  $\text{Ag}^+$  se aprecia un proceso de reducción de la especie iónica de  $\text{Ag}^+$  el cual inicia en 321mV (a), mientras que su correspondiente proceso de oxidación se presenta en el intervalo de 393mV a 861mV.



**Figura 3.** Voltamperograma del depósito de plata sobre un electrodo de A304 (Área de  $64.3\text{cm}^2$ ) de la solución proveniente de los desechos sólidos de la industria radiográfica. Velocidad de barrido de  $25\text{ mV seg}^{-1}$ .

Una vez obtenido el intervalo de potencial donde se lleva a cabo el depósito de plata sobre el electrodo de A304 se realizó el estudio de macroelectrólisis a potencial y corriente controlada con la finalidad de obtener la recuperación de plata sobre el sustrato de acero inoxidable A304.

Los resultados del estudio de macroelectrólisis a potencial controlado en el intervalo  $321\text{mV}$  a  $111\text{mV}$ , no permitieron controlar la velocidad de depositación de la especie iónica de plata sobre el electrodo de A304 ya que se presentaron recubrimientos de color negro conforme aumentaba el tiempo de electrólisis (figura 4). Este comportamiento se debe a que las condiciones en la superficie y en la solución cambian, provocando la presencia de reacciones secundarias como la evolución de hidrógeno [10].

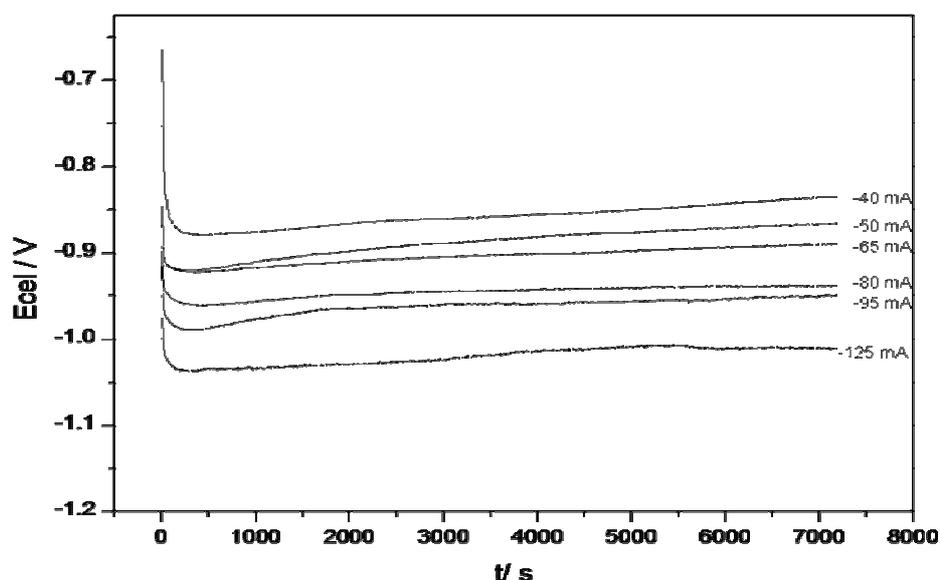


**Figura 4. Depósito obtenido sobre el electrodo de Acero inoxidable después de hacer una macroelectrólisis a potencial controlado de 250 mV en una solución proveniente de los desechos radiográficos.**

Debido a lo anterior, se decidió fijar la velocidad de transformación de  $\text{Ag}^+$  (estudio de macroelectrólisis a corriente controlada), utilizando para ello las siguientes corrientes: -40mA, -50mA, -65mA, -80mA y -125mA. Dichas corrientes fueron obtenidas a partir del estudio voltamperométrico sobre el A304. 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.

### 3.2. Estudio de macroelectrólisis

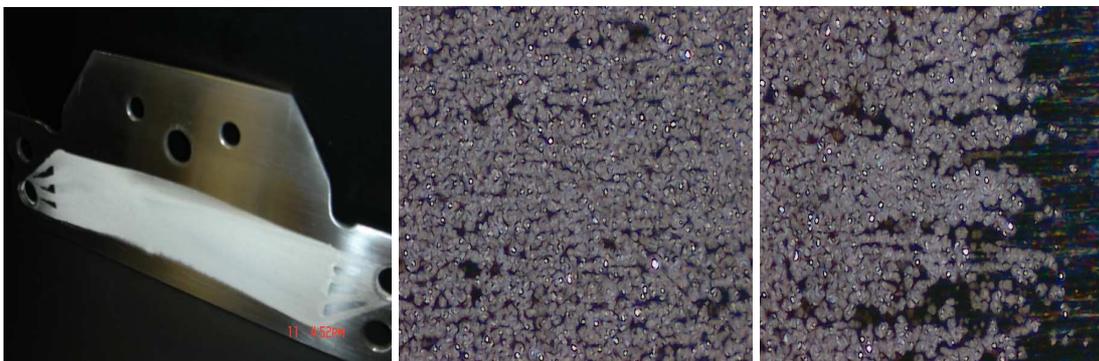
En la figura 5 se muestran los transitorios galvanostáticos sobre un electrodo de A304 en el intervalo de corriente de -40 a -125mA.



**Figura 5. Cronoamperograma obtenido para la reducción del ion  $\text{Ag}^+$  sobre un electrodo de A304 en una solución proveniente de los desechos sólidos de la industria radiográfica. Las diferentes corrientes impuestas al electrodo se ilustran en la figura.**

En la figura 5 se observa, que conforme la corriente toma valores más catódicos el potencial toma valores más negativos para todo el tiempo de macroelectrólisis. Este comportamiento en el potencial puede ser atribuido a que la reducción Ag sobre una superficie modificada de A304. 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 Ag no se ha terminado, debido a la alta concentración de esta en la solución industrial.

Los resultados de la macroelectrólisis a corriente controlada permiten la obtención de un recubrimiento homogéneo en toda la superficie del A304. Este recubrimiento es atribuido a la plata depositada proveniente de la solución de los desechos de las placas radiográficas. A continuación se presenta el resultado obtenido del estudio cronopotenciométrico sobre el acero inoxidable A304 a una corriente de  $-50\text{mA}$ , se tomo esta corriente por que fue donde se obtuvo una depósito de plata más homogéneo, como se muestra en la figura 6.



**Figura 6. Recubrimiento obtenido sobre Acero inoxidable A304 después de realizar una cronopotenciometría a una corriente de  $-50\text{mA}$  durante 120 minutos.**

Con el fin de verificar el depósito que quedó adherido sobre el electrodo de acero inoxidable A304 utilizado en este trabajo, se realizó un estudio de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Difracción de Rayos X (DRX), sobre los productos de reducción retirados mecánicamente de las superficie del A304, después de realizar una microelectrólisis de 120 minutos. Los resultados de este estudio indican que el depósito sobre el electrodo de A304 es plata metálica.

#### **4. Conclusiones**

El estudio de macroelectrólisis a corriente controlada no permitió obtener un recubrimiento homogéneo sobre la superficie del Acero Inoxidable A304 debido a la presencia de reacciones secundarias como la evolución de hidrógeno.

Mientras que los estudios cronopotenciométricos a corrientes controladas (-40mA, -50mA, -65mA, -80mA, -95mA y -125mA), permitieron obtener un depósito sobre la superficie del acero inoxidable A304, el cual fue atribuido a la plata.

Mediante estudios de MEB y DRX se verificó que el recubrimiento obtenido sobre el electrodo de acero inoxidable A304 es plata.

#### **5. Referencias**

1. [www.elcomercio.com.pe](http://www.elcomercio.com.pe)
2. [www.bolg.pucp.edu.pe](http://www.bolg.pucp.edu.pe)
3. Environment Information from Kodak. The Technology of Silver Recovery for Photographic Processing Facilities. Eastman Kodak Company, referencia J-212 (1999).
4. M. Chatelut, E. Gobert, O. Vittori, Hidrometallurgy 54 (2000) 79-90
5. H. Zhouxiang, W. Jianying, Z. Ma, H. Jifan, Hidrometallurgy 92 (2008) 148-151
6. K. G. Adani, R. W. Barley, R. D. Pascoe, Minerals Engineering 18 (2005) 1269-1276
7. V. I. E. Ajiwe, I. E. Anyadiegwu, Separation and Purification Technology 18 (2002) 89-92
8. S. Syed, S. Suresha, L. M. Sharma, A. A. Syed, Hidrometallurgy. 63 (2002) 277-280
9. J. Gutiérrez Badillo, L. H. Horita Pérez. Recuperación de Plata, Tesis de Licenciatura UAM-I, México (2003).
10. A. A. Melo López, Estudios electroquímicos preliminares en un rector tipo prensa para la recuperación de Ag proveniente de los efluentes de la industria Fotográfica y Radiográfica, Tesis de Licenciatura UAEH, México (2006).