

Recuperación de plata de desechos radiológicos en un reactor electroquímico tipo prensa sobre un electrodo de acero inoxidable A304 variando la velocidad de flujo

Pedro Alberto Ramírez Ortega¹, Víctor E. Reyes Cruz^{1*}, Ma. Aurora Veloz Rodríguez¹.

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

*e-mail: reyescruz16@yahoo

Cada año, el sector fotográfico destina cerca del 46% de plata en aplicaciones radiográficas. Sin embargo una vez que ha cumplido su función, termina desechada por completo, ya sea en estado sólido o en solución. En este trabajo, se realizaron estudios de macroelectrólisis a una corriente controlada, variando la velocidad de flujo para recuperar la plata proveniente de las placas radiográficas sobre un electrodo de acero inoxidable A304. Los estudios se llevaron a cabo en un reactor electroquímico tipo prensa. La corriente utilizada se seleccionó de un trabajo previo, en el cual se estudio la recuperación de plata a diferentes corrientes. Los estudios de macroelectrólisis a diferentes velocidades de flujo, revelaron la importancia que tienen las condiciones hidrodinámicas, ya que al incrementar dicha velocidad se presentaba una mayor recuperación de plata sobre el A304.

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

1. Introducción

Anualmente, la plata que es producida en el mundo es utilizada para satisfacer a cuatro principales sectores, estos son: el industrial, el joyero, el de monedas y el fotográfico. Este último, destina poco más del 45% de Ag en aplicaciones radiográficas, las cuales una vez cumplida su función es desechada casi al 100%, ya sea en estado sólido o en solución [1]. Hoy en día, hay industrias que manejan este tipo de desechos, pero desafortunadamente las tecnologías disponibles no satisfacen los requerimientos de máxima recuperación, ni los niveles ambientales requeridos de menos de 5 ppm de Ag en efluentes. [2-4]. Actualmente, hay métodos que permiten la recuperación de plata de los desechos radiográficos, como son los químicos y electroquímicos. Entre los más utilizados se encuentran: 1) el intercambio iónico, el cual tienen lugar en cartuchos de reemplazo metálico; 2) el laminado de la Ag en unidades electrolíticas. Ambos procesos, han sido descrito detalladamente en la literatura [4-6] y muestran la conveniencia de utilizar el proceso de recuperación electroquímica debido a su bajo costo.

En la literatura se encuentran trabajos que han abordado la recuperación de Ag presente en los efluentes desechados por el sector fotográfico [6-8]. Sin embargo, para el caso de los desechos sólidos no es tan amplia la información. Estudios fundamentales acerca de esta problemática revelan que soluciones como ácido nítrico, cianuro, KBH_4 , y amoníaco, son buenos agentes para disolver la plata contenida en los desechos sólidos de la industria radiográfica, mostrando también la conveniencia de utilizar acero inoxidable, titanio, carbón vítreo y plata como electrodos de trabajo para llevar a cabo el depósito de plata [9-12]. 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 Ag^+ y que la evolución de hidrógeno no interfiere en su depósito [9].

Durante los últimos años, los reactores electroquímicos han jugado un papel muy importante en el avance tecnológico. Reactores como el de placas paralelas (tipo filtro-prensa), es el reactor más comúnmente usado en aplicaciones a nivel laboratorio e industrial. Por su parte, las celdas tipo filtro-prensa, tienen aplicación principalmente en síntesis orgánica e inorgánica, celdas de combustible, baterías redox y en los procesos de tratamiento de efluentes [13]. En la actualidad, se cuenta con un gran número de reactores

electroquímicos para diversos procesos, dentro de los cuales se encuentran: el Electrocell AB, el FM01-LC y el FM21, utilizados para estudios a nivel laboratorio, nivel planta piloto y escala industrial, respectivamente [13-16]. En la literatura se ha mostrado la versatilidad que tienen los reactores electroquímicos, como el de placas paralelas en la recuperación de Ag^+ de los desechos sólidos de la industria fotográfica [17].

De la revisión bibliográfica, se pudo ver que en efecto hay estudios fundamentales que abordan la recuperación de plata contenida en los desechos sólidos generados en aplicaciones radiográficas. Sin embargo, no se han encontrado trabajos que utilicen como unidad de proceso reactores electroquímico tipo prensa, para la recuperación de plata contenida en placas radiográfica.

En base a lo anterior, en este trabajo, se estudia la recuperación de plata presente en las placas radiográficas, mediante estudios de macroelectrólisis a corriente controlada, variando únicamente la velocidad de flujo, en un reactor electroquímico tipo prensa. La finalidad de este estudio, es conocer el efecto que tiene el cambio de la velocidad de flujo en la recuperación de plata sobre acero inoxidable A304. La corriente utilizada en este trabajo se seleccionó de un trabajo previo, en el cual se estudio la recuperación de plata a diferentes corrientes [18]

2. Condiciones Experimentales

Para los estudios, se uso 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 acero inoxidable A304 (área geométrica de 64.3 cm^2) como electrodo de trabajo. Como electrodo de referencia se utilizó un electrodo de Calomel saturado (ECS) y como contra electrodo grafito. Los experimentos se realizaron a una corriente de -40 mA y un tiempo de 120 minutos.

Las soluciones utilizadas en este estudio fueron: una solución de ácido nítrico 5% en volumen (electrolito soporte), y una 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. La solución utilizada en el estudio de

macroelectrólisis fue la solución industrial proveniente de las placas radiográficas (denominada como DSPR). 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 radiográfica a diferentes concentraciones de ácido nítrico.

Para el funcionamiento de este reactor electroquímico, se diseñó y construyó un sistema hidráulico que permite trabajar la solución DSPR de forma segura. Se usó una bomba centrífuga marca Marathon Electric de 1 Hp de potencia para mantener la recirculación constante de la solución DSFR. En este trabajo se controló el paso de la solución al reactor mediante un flujómetro en el rango de 0 a 35 Lmin⁻¹.

En la realización del estudio electroquímico se utilizó un Potenciostato - Galvanostato marca PAR, modelo 263A. Las técnicas utilizadas se manejaron a través del software PowerSuit proporcionado por la misma compañía.

3. Resultados y discusión

A partir de los resultados de macroelectrólisis a corriente controlada obtenidos en un trabajo previo [18], donde se estudio la recuperación de Ag contenida en los desechos fotográficos sobre acero inoxidable A304, se selecciono una corriente de -40mA. Esta corriente, se utilizó para realizar los estudios cronopotenciométricos variando únicamente la velocidad de flujo de la solución DSPR. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

3.1. Estudio cronopotenciométrico de la solución DSPR a diferentes velocidades de flujo.

La finalidad de este estudio es conocer el efecto que tiene el cambio de velocidad de flujo en el depósito electroquímico sobre la superficie del acero inoxidable A304. A continuación, se presenta el estudio realizado sobre el A304, variando la velocidad del fluido en el rango de velocidad de 5 a 15 Lmin⁻¹. Las macroelectrólisis a corriente controlada se llevaron a cabo durante 120 minutos, a una corriente constante de -40 mA en todos lo experimentos y se utilizó un arreglo de dos electrodos.

En la figura 1 se presentan los transitorios galvanostáticos sobre un electrodo de acero inoxidable A304 en el intervalo de velocidad de flujo de 5 a 15 Lmin⁻¹.

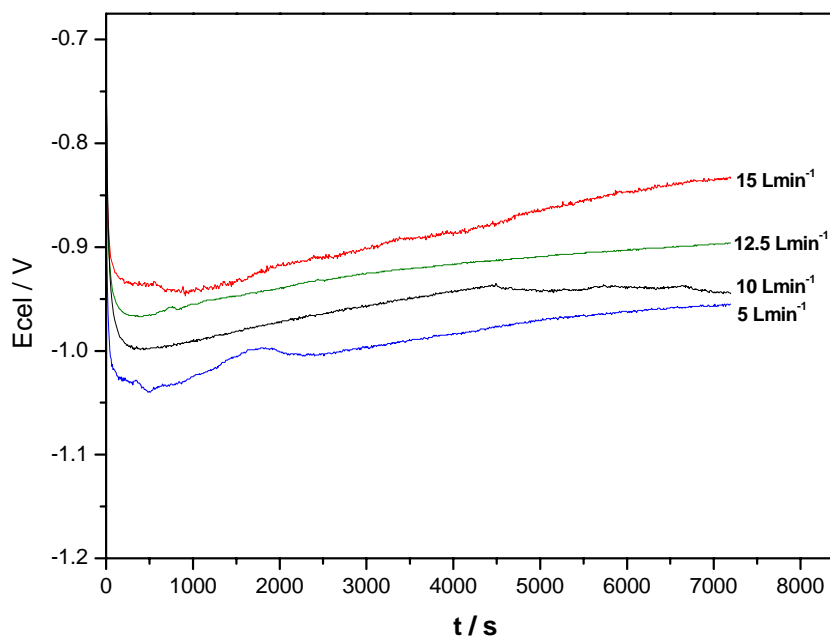


Figura 1. Cronopotenciogramas obtenidos para la reducción del ion Ag^+ de la solución DSPR sobre un electrodo de A304. Las diferentes velocidades de flujo se ilustran en la figura.

En la figura 1, se puede observar que conforme se incrementa la velocidad de flujo del electrolito (solución DSPR) el potencial toma valores menos negativos durante todo el tiempo de macroelectrólisis. Por otra parte, se observa que en todo el intervalo de velocidades los potenciales presentan prácticamente la misma tendencia, lo cual indica que la especie electroactiva de Ag^+ no se ha terminado, debido a la alta concentración de esta en la solución industrial (DSPR).

Con el fin de determinar la velocidad de flujo del electrolito donde se lleva a cabo una mayor recuperación de plata, se realiza la determinación de la disminución de la concentración de Ag^+ en la solución DSPR, a partir de muestras tomadas cada diez minutos durante los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada variando la velocidad de flujo (sección 3.1). La variación de la concentración de plata durante el estudio de

macroelectrólisis variando la velocidad de flujo en el reactor electroquímico FP01-EP, se determinó por absorción atómica.

3.1.1. Variación de la concentración de Ag^+ a corriente controlada variando la velocidad de flujo del electrolito sobre A304

En la figura 2, se muestra la variación de la concentración de Ag^+ con respecto a la concentración inicial $C(t)/C(0)$, en función del tiempo de electrólisis, cuando se impone una corriente constante de -40mA , en el intervalo de velocidad de flujo de 5 a 15 Lmin^{-1} sobre el electrodo de acero inoxidable A304 (64.3 cm^2) y a un tiempo de macroelectrólisis de 120 minutos.

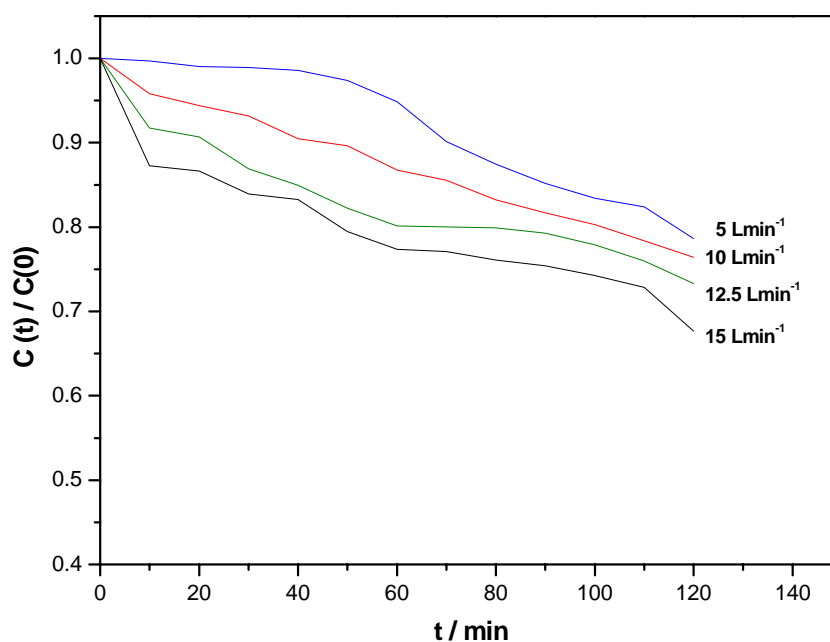


Figura 2. Variación de las concentraciones normalizadas de las especies químicas de plata presentes en la solución DSPR en función del tiempo de macroelectrólisis cuando se impone una corriente controlada de -40 mA , en un intervalo de velocidad de flujo de 5 a 15 Lmin^{-1} , sobre un electrodo de A304 (área 64.3 cm^2).

En la figura 2, se observa que la variación de la concentración normalizada de Ag^+ , disminuye con respecto al tiempo de electrólisis. Este comportamiento es igual para las cuatro velocidades de flujo impuestas sobre el electrodo de A304. Por otra parte, se

observa un incremento en la recuperación de plata conforme la velocidad de flujo incrementa para cualquier tiempo de electrólisis.

Los resultados del estudio de macroelectrólisis a corriente controlada variando la velocidad de flujo del electrolito, permitió la obtención de un recubrimiento homogéneo sobre la superficie del A304. Este recubrimiento es atribuido a la plata depositada sobre el acero inoxidable A304. Es importante mencionar que estos recubrimientos, presentan las mismas características a los obtenidos en un trabajo previo [18], donde se estudio la recuperación de plata de las placas radiográficas a diferentes corrientes sobre A304, los cuales por medio de microscopia electrónica de barrido y difracción de rayos X, mostraron que era plata.

A continuación se presenta los resultados obtenidos del estudio cronopotenciométrico sobre el acero inoxidable A304, al imponer las siguientes velocidades: 5, 10, 12.5 y 17 Lmin⁻¹, manteniendo una corriente constante de -40 mA (figura 3).

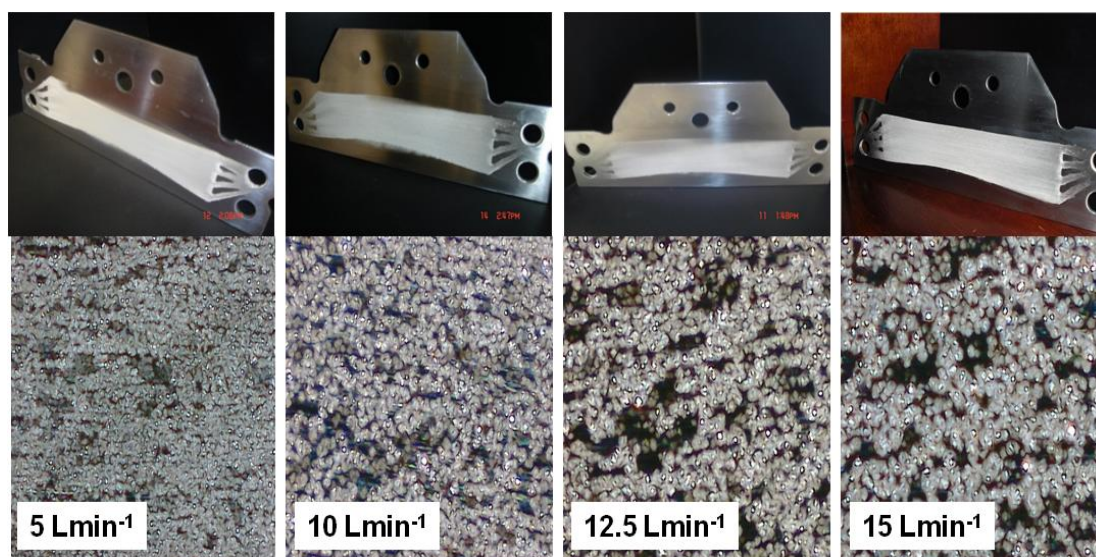


Figura 3. Recubrimientos obtenidos sobre el Acero inoxidable A304 (área 64.3 cm²) después de realizar los estudios cronopotenciométricos a diferentes velocidades de flujo en el intervalo de 5 a 15 Lmin⁻¹.

Para poder asegurar que el depósito obtenido sobre acero inoxidable A304 es plata, se deberá realizar estudios por MEB y difracción de rayos X, los cuales revelaran dicha atribución.

4. Conclusiones

Los estudios de macroelectrólisis a corriente controlada variando la velocidad de flujo (del electrolito 5, 10, 12.5 y 17 Lmin⁻¹) sobre el electrodo de acero inoxidable A304, revelaron la importancia que tiene las condiciones hidrodinámicas en la solución. Debido a que al incrementar la velocidad de flujo, se presentaba un aumento en la cantidad de depósito sobre la superficie de acero inoxidable A304, el cual fue atribuido a la plata. Además, al incrementar la velocidad de flujo se obtenía una disminución en la concentración de Ag⁺ de la solución DSPR durante todo el tiempo estudiado.

5. Referencias

1. C. Lara Valenzuela, *plenaria del XV Congreso Internacional de Metalurgia Extractiva*, Hermosillo Sonora, México (2005).
2. NOM-CCA-017-ECOL/1993. NORMA Oficial Mexicana (1993).
3. D. E. Kimbrough, W.P. Wong and J. Kim. *J. of Solid Waste Technology and Management*. 23 (1996) 197-207.
4. K. Guenter. *Chemical Labor Betr*. 32 (1981) 40-48.
5. M. T. Oropeza, C. Ponce de León, I. González. “Ingeniería Electroquímica Principios y Aplicaciones”. México, D. F., Ed. Sociedad Mexicana de Electroquímica (1995).
6. Environment Information from Kodak. Eastman Kodak Company, J-212 (1999).
7. M. Chatelut, E. Gobert, O. Vittori, *Hidrometallurgy* 54 (2000) 79-90
8. A. A. Melo L. 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).
9. P. A. Ramírez O. Estudio electroquímico preliminar para deposita Ag proveniente de los desechos sólidos de la industria fotográfica y radiográfica. Tesis de Licenciatura UAEH, México (2005).
10. H. Zhouxiang, W. Jianying, H. Jifan. *Hidrometallurgy* 92 (2008) 148-151.
11. V. I. E. Ajiwe, I. E. Anyadiegwu. *Separation and Purification Technology* 18 (2002) 89-92.
12. S. Syed, S. Suresha, L. M. Sharma, A. A. Syed, *Hidrometallurgy*. 63 (2002) 277-280.
13. F. C. Walsh, D. Robinson. *Chemical Technology Europe*, (1995) 16.
14. D. Pletcher, F. C. Walsh. *Industrial Electrochemistry*, 2nd edn., Chapman & Hall, London (1990).
15. F. C. Walsh, *A First Course in Electrochemical Engineering*, The Electrochemical Consultancy, England, (1993).
16. J. Arthur and Forrest. *Current Distribution in a Chlor-Alkali membrane Cell experimental Study and Modeling*. *Desalination* 149 (1989) 375.
17. J. Gutiérrez Badillo, L. H. Horita Pérez. *Recuperación de Plata*, Tesis de Licenciatura UAM-I, México (2003).
18. P. A. Ramírez Ortega, V. E. Reyes Cruz, Ma. A. Veloz Rodríguez, memorias del XXIII Congreso nacional de la sociedad mexicana de electroquímica y 1ª reunión de “Mexican section of the electrochemical society”, 17, 29, Ensenada B. C., México (2008).