



## EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS: EFICIENCIA DE LA CORRIENTE ( $\phi^e$ ), CONSUMO DE ENERGÍA ( $E_s$ ) Y RENDIMIENTO ESPACIO-TIEMPO ( $\rho_{ST}$ ) ASOCIADOS A LA RECUPERACIÓN DE Ag BATCH

D. J. Matías Hernández<sup>1\*</sup>, V.E Reyes Cruz<sup>2</sup>, M.A. Veloz Rodríguez<sup>3</sup>.

<sup>1 2 3</sup> UAEH- ICBI-Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales.  
Carr. Pachuca-Tulancingo km 4.5, Pachuca, Hidalgo, México, C.P. 42184.  
E-mail\*: [djanet\\_matias@yahoo.com.mx](mailto:djanet_matias@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

La plata tiene la habilidad de reaccionar con la luz y producir imágenes en papel es por ello que se utiliza en la industria fotografía y radiografía (rayos X). La plata es liberada de las películas fotográficas, papeles y placas durante los procesos de revelado e impresión y puede ser recuperada con éxito a partir de los efluentes resultantes del proceso, mediante la aplicación de técnicas electroquímicas. En este trabajo se presentan la evaluación de los parámetros de operación de la recuperación de este metal a partir de los resultados de macroelectrólisis a potencial controlado realizados en el intervalo de 0.6 a 0.9 V en un reactor Batch. Los valores más óptimos encontrados fueron: una eficiencia de corriente del 81.6%, un consumo de energía  $E_s$  de 0.029 kWhmol<sup>-1</sup> y un rendimiento espacio-tiempo  $\rho_{ST}$  de 2.085E-05 kgs<sup>-1</sup>m<sup>-3</sup> para un potencial de celda de 0.9 V.

**Palabras Clave:** Efluentes, Técnicas Electroquímicas, Potencial De Celda, Eficiencia De Corriente, Consumo De Energía, Rendimiento Espacio-Tiempo, Reactor Batch.



## 1. INTRODUCCIÓN

México enfrenta en la actualidad un problema grave en la explotación de minerales, debido a que sus yacimientos mineros poseen bajos valores de metales preciosos, esto ha ocasionado que ya no posea el primer lugar como productor de plata y ha dado origen a la búsqueda de alternativas económicamente viables para recuperar la plata ya explotada. Por esta razón, es vital que México se involucre en el desarrollo de tecnologías propias que le permitan realizar dicho proceso. En los últimos años, países como EE.UU., Japón, India y Alemania se han movido en la recuperación de plata contenida en los productos posconsumidos, tan solo en el 2006 estos países obtuvieron el 60% de las 5,848 toneladas métricas recuperadas en el mundo, siendo la principal fuente de plata los desechos fotográficos[1]. Un estudio en un reactor tipo prensa mostro que se puede lograr la recuperación de Ag electroquímicamente de desechos de los efluentes de la industria fotográfica y radiográfica (EIFR) sobre electrodos de acero inoxidable [2]. Sin embargo, no se tiene una disminución considerable de la plata en solución. Por otra parte, al cambiar la configuración del reactor electroquímica a un reactor tipo Batch se logra una disminución de la plata por debajo de lo reportado en la literatura (5 ppm) [3].

El uso de un reactor electroquímico como una alternativa para la recuperación de metales, sólo puede competir con los métodos tradicionales si puede ofrecer una alta eficiencia de corriente, un bajo consumo de energía y un alto rendimiento espacio tiempo. Es por ello que en este trabajo se evalúa el comportamiento del reactor Batch con recirculación utilizado en la recuperación de Ag proveniente de los efluentes de la industria fotográfica y radiográfica (soluciones de tiosulfato) a partir de los datos del estudio realizado por Mejía [4].

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se realizó la evaluación de los parámetros eficiencia de la corriente ( $\phi^e$ ), consumo de energía ( $E_s$ ) y rendimiento espacio-tiempo ( $\rho_{ST}$ ) de la recuperación de Ag proveniente de las soluciones EIFR, a partir de la información del estudio de macroelectrólisis a diferentes potenciales de celda controlados, sobre una placa de acero inoxidable A304 en un reactor tipo Batch con recirculación realizado por Mejía [3]. El intervalo de potencial de celda que se utiliza para la evaluación de los parámetros de operación es de 0.6 a 0.9 V el cual es impuesto en un

cátodo de acero inoxidable A304 (área de 72.5 cm<sup>2</sup>) y 2 DSA-O<sub>2</sub> (área 140 cm<sup>2</sup>) y con una velocidad de flujo del 14lmin<sup>-1</sup> (ver Figura 1) La solución de EIFR evaluada en este trabajo fue proporcionada por ICSa de la UAEH y contenía 910ppm se plata.



Figura 1. Reactor electroquímico tipo Batch con recirculación

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante resaltar que el reactor Batch con recirculación es el que proporciona un mayor depósito selectivo de Ag proveniente de los EIFR [3] evitando la reacción secundaria de sulfuro de plata ( $2 Ag^+ + S^{2-} = Ag_2S$ ) que se lleva a cabo en el reactor tipo prensa [2]. Donde esta reacción es el principal problema que se tiene para en la recuperación de plata proveniente de estos productos posconsumidos (solucione EIFR).

Ante lo expuesto en el párrafo anterior en este trabajo se evalúa solamente los parámetros de operación de la recuperación plata, eficiencia de corriente  $\phi^e$ , consumo de energía  $E_s$  y rendimiento espacio-tiempo  $\rho_{ST}$  del reactor Batch del trabajo de Mejía.

Los valores de la eficiencia de corriente  $\phi^e$  de la Tabla I se obtuvieron a partir de la ecuación (1).

$$\phi^e = W_j/W_{total} \quad (1)$$

Donde  $W_j$  es el peso de metal  $j$  depositado y  $W_{total}$  es el peso del depósito  $j$  que debería ser obtenido al imponer una corriente durante cierto tiempo.

Para calcular el consumo de energía ( $E_s$ ) y rendimiento espacio-tiempo ( $\rho_{ST}$ ) de la recuperación de plata y son mostrados en las Tabla I hacemos uso de las siguientes ecuaciones (2 y 3):

$$E_s = - nFE_{cel}/\phi^e \quad (2)$$

$$\rho_{ST} = \phi^e iM/nFV_R \quad (3)$$

Donde  $n$  es el número de electrones,  $F$  la constante de Faraday,  $E_{cel}$  el potencial de celda,  $\phi^e$  la eficiencia de corriente,  $M$  es la masa atómica y  $V_R$  es el volumen del reactor.

En la Tabla I se muestra la variación de la eficiencia de la corriente ( $\phi^e$ ), consumo de energía ( $E_s$ ) y rendimiento espacio-tiempo ( $\rho_{ST}$ ) cuando se incrementa el potencial de celda en el intervalo de 0.6 a 0.9 V de la recuperación de Ag proveniente de los efluentes de la industria fotográfica en un reactor tipo Batch (14 lmin<sup>-1</sup>).

**Tabla I.** Variación de la eficiencia de la corriente ( $\phi^e$ ), consumo de energía ( $E_s$ ) y rendimiento espacio-tiempo ( $\rho_{ST}$ ).

V	EFICIENCIA %	$E_s$ kWhmol <sup>-1</sup>	$\rho_{ST}$ kgs <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup>
0.6	40.5	0.0397	2.588E-06
0.7	58.8	0.0319	7.507E-06
0.8	69.2	0.0310	1.326E-05
0.85	76.0	0.0300	1.579E-05
0.9	81.6	0.0296	2.085E-05

En la tabla se observa que conforma se aumenta el potencial de celda se tiene un incremento de la eficiencia de corriente hasta el 81.6%. Este comportamiento indica que al tener el mayor potencial (0.9 V) se tiene que la mayor parte de la corriente que pasa por la celda se utiliza en el depósito de Ag. Además se tiene que al incrementar el potencial el consumo de energía va disminuyendo de 0.039 a 0.029 kWhmol<sup>-1</sup>. La disminución en el consumo de energía es debido al incremento en la eficiencia de corriente. Finalmente para el rendimiento espacio-

tiempo se obtiene un incremento conforme se va aumentando el potencial de celda. Este comportamiento indica que se tiene una mayor transformación de Ag.

#### 4. CONCLUSIONES

Las magnitudes de consumo energía  $E_s$ , eficiencia de corriente  $\phi^c$  y rendimiento espacio-tiempo  $\rho_{ST}$  cumplen con los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento de un reactor electroquímico, indicando la viabilidad de utilizar esta unidad de proceso para llevar a cabo la recuperación de Ag. Los valores más óptimos encontrados son: 81.6% en eficiencia de corriente, para el consumo de energía  $0.0296 \text{ kWhmol}^{-1}$  y un rendimiento espacio-tiempo de  $\rho_{ST}$  de  $2.085E-05$  en el potencial de celda a 0.9 V.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores externan su gratitud a la ICSa de la UAEH por las soluciones para el desarrollo de esta investigación.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] P. A. Ramírez Ortega, “*Recuperación de Ag en un reactor electroquímico tipo prensa (EROI-FP) proveniente de los desechos sólidos de la industria Fotográfica y Radiográfica*”, Trabajo Predoctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México (2010).
- [2] A. A. Melo López, “*Estudios electroquímicos preliminares en un reactor tipo prensa para la recuperación de Ag provenientes de los efluentes de la industria Fotográfica y Radiográfica*”, Tesis de Licenciatura, UAEH, México (2006).
- [3] J.C Aguirre Espinosa, “*Estudios del depósito de plata provenientes de los efluentes de la industria Fotográfica y Radiográfica, en un reactor electroquímico tipo Batch*”, Tesis de Licenciatura, UAEH, México (2010).
- [4] N. Mejía Domínguez, *Memorias en extenso del XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica*, 055, Zacatecas, México (2010).