

## Efecto de la concentración de $H_3O^+$ en recuperación de los metales Au, Cu, Ni y Zn contenidos en la chatarra electrónica

Effect of the  $H_3O^+$  concentration in the metal recovery process: Au, Cu, Ni and Zn contained in electronic scrap

Justo F. Montiel-Hernández<sup>a</sup>, Carlos E. Borja-Soto<sup>b</sup>, Edith Jiménez-Muñoz<sup>c</sup>, Miguel A. Flores-Rentería<sup>d</sup>  
Diego Acosta-Flores<sup>e</sup>

### Abstract:

In the present work, leaching of non-noble metals was carried out in the  $O_2$ - $H_2SO_4$  system at different concentrations of  $[H_3O^+]$ , such as:  $1 \times 10^{-0.3}$  M,  $1 \times 10^{-1}$  M,  $1 \times 10^{-2}$  M,  $1 \times 10^{-2.5}$  M,  $1 \times 10^{-3}$  M,  $1 \times 10^{-4}$  M. It was noted that the rate of speed constants increased with increasing concentrations of acid, thus favoring the leaching rate of Cu, Ni and Zn; the reaction order for each metal was: Cu,  $n = 0.65037$ , Ni,  $n = 0.1368$  and Zn,  $n = 0.0895$ . In all cases, at the end of the leaching process, a golden solid powder was obtained; when this powder was characterized by scanning electron microscopy using energy dispersed X-ray spectroscopy, SEM-EDS, it was determined to be metallic gold with a purity level of 99.6%.

### Keywords:

Electronic waste, leaching, recovery, concentration

### Resumen:

En el presente trabajo se realizó la lixiviación de los metales no nobles en el sistema  $O_2$ - $H_2SO_4$  a diferentes concentraciones de  $[H_3O^+]$ , tales como:  $1 \times 10^{-0.3}$  M,  $1 \times 10^{-1}$  M,  $1 \times 10^{-2}$  M,  $1 \times 10^{-2.5}$  M,  $1 \times 10^{-3}$  M,  $1 \times 10^{-4}$  M. Observándose que las constantes de velocidad aumentan al incrementar la concentración de ácido, favoreciéndose la velocidad de la lixiviación del Cu, Ni y Zn; el orden reacción para cada metal es de: Cu,  $n = 0.65037$ , Ni,  $n = 0.1368$  y Zn,  $n = 0.0895$ . En todos los casos al final del proceso de lixiviación se obtuvo un polvo sólido dorado, el cual al ser caracterizado por microscopía electrónica de barrido mediante espectroscopía de rayos X de energía dispersa, SEM-EDS, se determinó que se trata de oro metálico con una pureza del 99.6%.

### Palabras Clave:

Chatarra electrónica, lixiviación, recuperación, concentración

## Introducción

Actualmente el tema sobre el reciclado de materiales metálicos es un tema importante relacionado a los conceptos de desarrollo sustentable y sostenible. El

reciclado de la chatarra electrónica e industrial es un medio para el aprovechamiento de los recursos materiales. En el caso de los metales, estos pueden ser recuperados a partir de chatarra electrónica para su uso en aplicaciones de ingeniería. Cabe destacar que es

<sup>a</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-6890-6069>, Email: [justo\\_montiel@uaeh.edu.mx](mailto:justo_montiel@uaeh.edu.mx)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo <https://orcid.org/0000-0003-3385-8348>, Email: [carlos\\_borja@uaeh.edu.mx](mailto:carlos_borja@uaeh.edu.mx)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo <https://orcid.org/0000-0001-7883-0600>, Email: [edith\\_jimenez@uaeh.edu.mx](mailto:edith_jimenez@uaeh.edu.mx)

<sup>d</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo <https://orcid.org/0000-0001-8018-4708>, Email: [miguel\\_flores10233@uaeh.edu.mx](mailto:miguel_flores10233@uaeh.edu.mx)

<sup>e</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo <https://orcid.org/0000-0002-0241-4368>, Email: [diego2abisaid@gmail.com](mailto:diego2abisaid@gmail.com)

considerado como desecho electrónico o chatarra electrónica todo aquello que tiene circuitos electrónicos. Sin embargo, no es posible el plantear, implementar y ejecutar de manera espontánea un sistema efectivo de reciclaje de metales, ya que es un tema que concierne al desarrollo de tecnología compleja que requiere cumplir con aspectos de planificación, economía y regulación ambiental. (Kimbrough et al., 1996; Landero, 2003; Montiel et al., 2012).

El oro, la plata, el cobre, níquel y zinc, son metales que pueden ser utilizados como materia prima reciclada en la industria y en la electrónica, que pueden ser reciclados. (Morera, 2005), Entre los desechos industriales que se pueden reciclar se encuentra la chatarra electrónica, la cual está constituida por los siguientes dispositivos y equipos: computadoras, tarjetas electrónicas, microprocesadores, circuitos impresos, electrodomésticos, teléfonos celulares, equipos de audio, entre muchos otros. (Ullmann et al., 1985).

La chatarra electrónica que tiene oro en sus componentes está conformada por placas, que son los circuitos impresos o tarjetas madre de las computadoras, éstas tienen en su diseño una película fina de oro que se coloca sobre un substrato de una mezcla de metales (níquel, zinc y cobre), dicho elemento se conoce como "pin", los cuales se encuentran incrustados en una placa de material polimérico. (Reyes et al., 2012; Montiel et al., 2012).

En los últimos años se ha generado una gran cantidad de desechos electrónicos (los cuales contienen metales nobles y no nobles); estos desechos son una potencial fuente secundaria de obtención de metales, los cuales son desechados o recuperados parcialmente. (Kimbrough et al., 1996; Reyes et al., 2012). Los procesos para la recuperación de metales nobles (principalmente oro) son escasos y/o costosos, debido a esta situación se está perdiendo una gran fuente de oro.

Un mecanismo óptimo para la recuperación de los productos metálicos es someterlos a lixiviación dinámica ácida utilizando oxígeno y ácido sulfúrico, para disolver al cobre, níquel, zinc y una posterior recuperación del oro. (Reyes et al., 2012; Montiel et al., 2012).

Este documento presenta la investigación relacionada al efecto de la concentración de  $H_3O^+$  en recuperación de los metales Au, Cu, Ni y Zn contenidos en la chatarra electrónica a partir de un proceso de lixiviación.

### Materiales y Métodos

El proceso de lixiviación se llevó a cabo en un reactor tipo Batch de vidrio, con una capacidad de  $5 \times 10^{-4} m^3$ , montado

sobre una parrilla de calentamiento con agitación magnética; la temperatura se mantuvo constante a 308.15 K; se administró oxígeno al reactor para obtener una presión de 101.3 kPa, el único parámetro que se modificó fue el pH. El proceso se realizó en un tiempo de 240 min.

El comienzo de la reacción se consideró a partir del momento en el cual el producto metálico fue puesto en contacto con la solución de lixiviación y la concentración del licor es cero.

Una vez que empezó la reacción se tomaron muestras a tiempos de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 minutos, ( para seguir el avance de la disolución de los metales, esto mediante un equipo de plasma de inducción acoplado (ICP, por sus siglas en inglés), Dicha caracterización se realizó para cada metal.

Finalmente, el sólido precipitado de color dorado se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de rayos X de energía dispersa (SEM-EDS, por sus siglas en inglés).

### Resultados y Discusión

El parámetro cinético para determinar el orden de reacción de una reacción química, es la concentración del reactivo que, en este estudio, específicamente es el  $[H_3O^+]$ , el cual está relacionado con el pH.

La concentración de  $[H_3O^+]$  en la solución, se evaluó mediante el control estricto del pH. El avance de la reacción de lixiviación se evaluó por el análisis cuantitativo del Cu, Ni y Zn disueltos para los distintos tiempos de reacción. Los resultados obtenidos en los experimentos para las diferentes concentraciones de ácido, sirven para encontrar los valores de las constantes experimentales de velocidad conocida como  $K_{exp}$ , para cada metal.

La Tabla 1 muestra los valores de  $K_{exp}$  a las diferentes concentraciones estudiadas. Se puede observar que las constantes aumentan su valor al incrementar la concentración de ácido.

Tabla 1. Valores de la  $K_{exp}$  para los metales lixiviados a las distintas concentraciones de trabajo.

Concentración de $H_3O^+$ [M]	$K_{exp}$ . (min <sup>-1</sup> )		
	Cu	Ni	Zn
$1 \times 10^{-13.7}$ M	2.4677	0.5896	-
$1 \times 10^{-13}$ M	-	0.1495	0.2
$1 \times 10^{-12}$ M	-	-	0.2
$1 \times 10^{-11.5}$ M	0.9366	0.0328	0.0
$1 \times 10^{-11}$ M	0.3298	0.0199	0.0

$1 \times 10^{-10}$  M                      0.2001                      0.0051

Las Figuras 1 – 3 muestran las gráficas del logaritmo de las constantes experimentales ( $\log K_{exp}$ ) frente a la variación en forma logarítmica de la concentración ( $\log [H_3O^+]$ ), para el Cu, Ni y Zn respectivamente.

El orden de reacción se determinó mediante regresión lineal de estos valores, obteniéndose para tiempos de ataque en un intervalo de 0 a 240 minutos. Un orden de reacción aparente,  $n$ , con respecto a la concentración de  $[H_3O^+]$  para los metales cobre, níquel y zinc son  $n = 0.65037$ ,  $n = 0.1368$  y  $n = 0.0895$ , respectivamente.

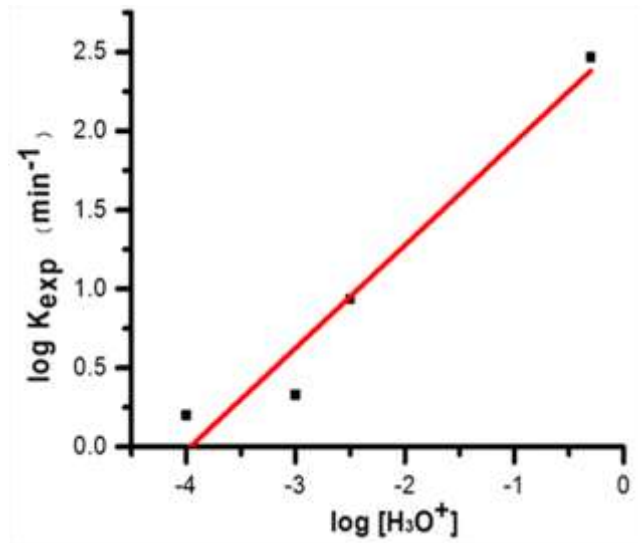


Figura 1. Dependencia de la  $K_{exp}$  en función de la concentración de  $[H_3O^+]$  para Cu.

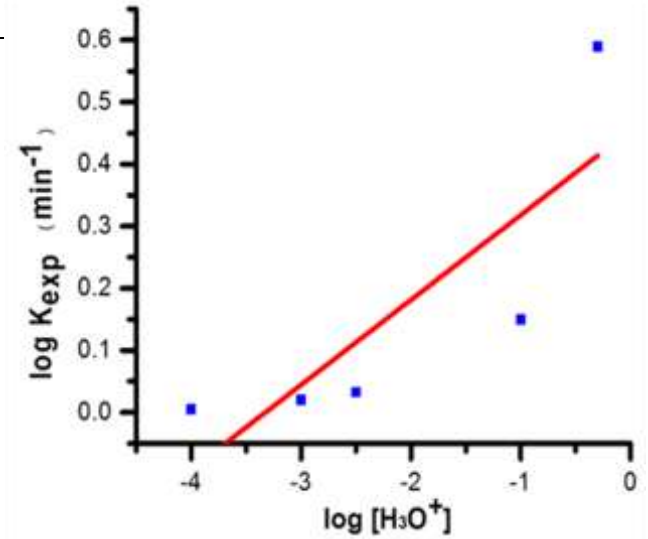


Figura 2. Dependencia de la  $K_{exp}$  en función de la concentración de  $[H_3O^+]$  para Ni.

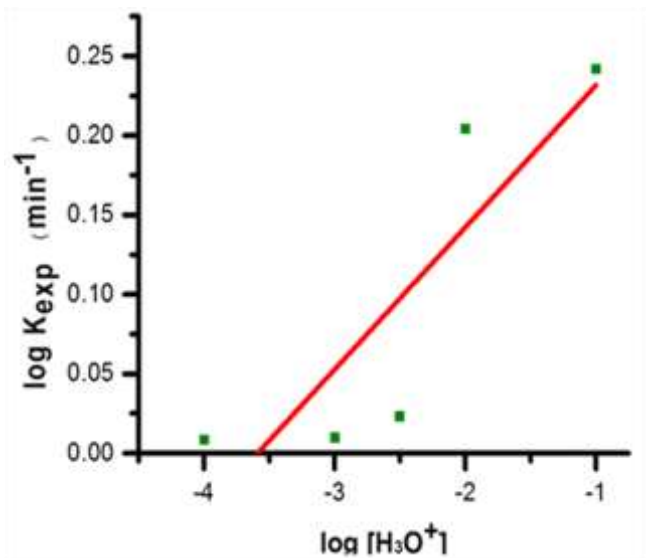


Figura 3. Dependencia de la  $K_{exp}$  en función de la concentración de  $[H_3O^+]$  para Zn.

En todos los casos al final de la lixiviación se obtuvo un polvo sólido con lustre dorado que fue caracterizado por SEM-EDS. Fue posible determinar que el polvo producto de lixiviación, el cual es oro metálico con una pureza del 99.6%, tal como lo muestran las Figuras 4-5.



Figura 4. Oro en polvo y filtrado.

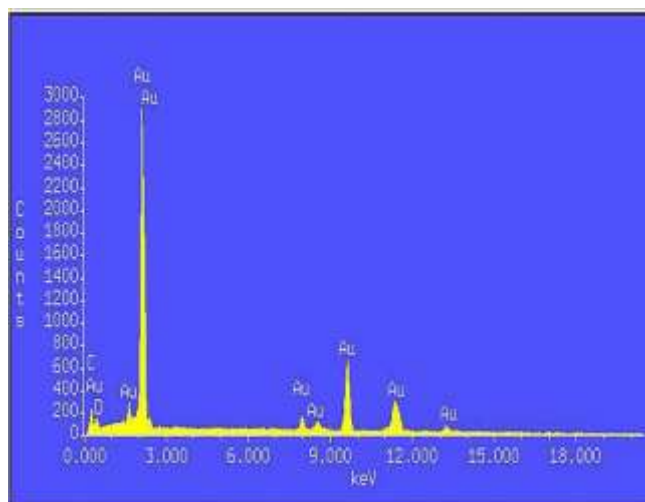


Figura 5. Espectro del polvo sólido dorado, caracterizado por SEM-EDS.

## Conclusiones

La concentración de ácido influye considerablemente sobre la velocidad global de lixiviación del Cu, Ni y Zn contenidos en la chatarra electrónica; debido a que la reacción consume una cantidad importante de  $[H_3O^+]$  y es necesario mantener dicha concentración ajustando el valor del pH en la solución. Los valores del orden de la reacción son Cu  $n = 0.65037$ , Ni  $n = 0.1368$  y Zn  $n = 0.0895$ , estos valores confirman que la concentración de  $[H_3O^+]$  afecta considerablemente a la velocidad de lixiviación de los metales Cu, Ni y Zn. Después del ataque químico es posible obtener oro metálico contenido en la chatarra electrónica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por las facilidades para la realización de este proyecto.

## Referencias

- Kimbrough, D. E., Wong, P. W., Biscoe, J., & Kim, J. (1996). A critical review of photographic and radiographic silver recycling. *Journal of solid waste technology and management*, 23(4), 197-207.
- Landero, I. R. (2003). Estudio cinético de la precipitación lixiviación de plata en el sistema  $O_2-S_2O_5^{2-}-S_2O_4^{2-}$ . Aplicación en efluentes industriales. . (Tesis de Doctorado). Universitat de Barcelona. Barcelona, España.
- Montiel, J.F.; Reyes, M.I.; Rivera, I.; Patiño, F.; Hernández, J. Caracterización de circuitos impresos vía SEM-EDS y su lixiviación en el sistema  $O_2-H_2SO_4$ . *Bol. Soc. Quim. Mex.* 2012, 6, 21–23.
- Morera, E. (2004). Lixiviación de metales con ozono acuoso. Cinética de la plata y el oro: aplicaciones. (Tesis de Doctorado). Universitat de Barcelona. Barcelona, España.
- Reyes, M.I.; Rivera, I.; Patiño, F.; Flores, M.U.; Reyes, M. Total recovery of gold contained in computer circuit boards. Leaching kinetics of Cu, Zn and Ni. *J. Mex. Chem. Soc.* 2012, 56, 144 –148.
- Ullmann, F., Gerhartz, W., Yamamoto, Y. S., Campbell, F. T., Pfefferkorn, R., & Rounsaville, J. F. (1985). Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. VCH publishers.