



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## DIVISIÓN DE INGENIERÍA

### DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA



Otorga la Presente

# CONSTANCIA

a

**G. Juárez L., I. Rivera L., F. Patiño C., E. Salinas R., J. Hernández A., M. Pérez L., J. Silva L. y R. Martínez M.**

Por la Conferencia

**EVALUACIÓN DEL pH SOBRE LA VELOCIDAD GLOBAL DE  
PRECIPITACIÓN DE ORO EN EL SISTEMA  $Au^+ - S_2O_3^{2-} - S_2O_4^{2-} - O_2$**

Presentada en el XX Congreso Internacional en Metalurgia Extractiva  
"Avances Recientes en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente"

En Honor a *Salvador Aguayo Salinas*

Hermosillo, Sonora, México, 18 al 20 de Mayo de 2011

Dr. J. Leobardo Valenzuela G.  
DIRECTOR DE DIVISIÓN DE INGENIERÍA

M.C. J. Leonel Servín R.

Dr. Martín A. Encinas R.



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# **MEMORIAS DEL XX CONGRESO INTERNACIONAL EN METALURGIA EXTRACTIVA**



**Avances Recientes en Metalurgia, Materiales y Medio Ambiente**



**En Honor a  
Dr. Salvador Aguayo Salinas**



**PROYECTOS Y DESARROLLOS  
PRODESA  
S.A. DE C.V.**

ISBN: 978-607-8158-06-5



9 786078 1158065

## EVALUACION DEL pH SOBRE LA VELOCIDAD GLOBAL DE PRECIPITACIÓN DE ORO EN EL SISTEMA $\text{Au}^+ - \text{S}_2\text{O}_3^{2-} - \text{S}_2\text{O}_4^{2-} - \text{O}_2$

G. JUÁREZ L.<sup>1</sup>, I. RIVERA L.<sup>2</sup>, F. PATIÑO C.<sup>2</sup>, E. SALINAS R.<sup>2</sup>, J. HERNÁNDEZ  
A.<sup>2</sup>, M. PÉREZ L.<sup>2</sup>, J. SILVA L.<sup>3</sup> Y R. MARTÍNEZ M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Nuevos Materiales,  
Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Carretera a Acatlima Km. 2.5, Huajuapán de León, Oax., México C.P. 69000.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Materiales y Metalurgia, UAEM.

Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Pachuca Hgo., México. C.P. 42184.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología,  
Universidad Autónoma de Tlaxcala,

Calzada Apizaquito s/n, Apizaco, Tlaxcala,  
gjuarezl@hotmail.com; gjuarezl@mixteco.utm.mx

### RESUMEN

Para estudiar el efecto pH sobre la velocidad global de precipitación de Au contenido en las soluciones agotadas base Tiosulfato, provenientes de los procesos industriales minero metalúrgicos, se realizaron una serie de experimentos a diferente pH en el sistema  $\text{Au}^+ - \text{S}_2\text{O}_3^{2-} - \text{S}_2\text{O}_4^{2-} - \text{O}_2$ , utilizando hidrosulfito como agente reductor. Las condiciones iniciales para este estudio fueron:  $[\text{Au}] = 0.250 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_4^{2-}] = 1 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 30 \text{ gL}^{-1}$ , velocidad de agitación  $500 \text{ min}^{-1}$  en un volumen de solución de 500 ml, variando el pH entre 4 y 7; para ello, fue necesario mantener el pH constante a un valor predeterminado a través de un preciso control, mediante la adición al reactor de solución de NaOH 0.5 M. El avance de la reacción se evaluó por análisis cuantitativo de Au a distintos tiempos de la reacción. Los resultados obtenidos muestran que la influencia del pH sobre la velocidad global de precipitación de Au, tiende a aumentar conforme aumenta el pH, presentando las mejores recuperaciones entre valores de 6 y 7. Por otro lado, el utilizar valores de pH inferior a 5, provoca que el ditionito sea inestable en el sistema estudiado.

### ABSTRACT

To study the effect pH on the global speed of precipitation of Au contained in the waste solutions bases Thiosulfate from mining metallurgy industry process, they were carried out a series of experiments to different pH in the system  $\text{Au}^+ - \text{S}_2\text{O}_3^{2-} - \text{S}_2\text{O}_4^{2-} - \text{O}_2$ , using Dithionite like agent reducer. The conditions initials for this study were:  $[\text{Au}] = 0.3 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_4^{2-}] = 1 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 30 \text{ gL}^{-1}$ , speed of agitation  $500 \text{ min}^{-1}$ , in a volume solution of 500 ml, varying the pH among 4 y 7, for it was necessary to maintain the constant pH to a default value through a precise control by means of the addition to the reactor of solution of NaOH 0.5 M. The advance of the reaction was evaluated by quantitative analysis from Au to different times of the reaction. The obtained results show that the influence of the pH about the global speed of

precipitation of Au, spreads to increase in agreement it increases the pH, presenting the best recoveries among securities of 6 and 7. On the other hand, using securities of inferior pH at 5, it causes that the Dithionite is unstable in the studied system.

## INTRODUCCIÓN

Los países desarrollados se mueven rápidamente por incrementar el uso de nuevas técnicas para la recuperación de oro contenido en efluentes industriales[1], puesto que son considerados tóxicos y peligrosos, debido a que generalmente están presentes como complejos ya sea en medio tiosulfato o cianuro, por lo que no pueden ser vertidos en causas públicas sin un tratamiento previo[2], ya que provienen de procesos metalúrgicos [3], hidrometalúrgicos[4], electrólisis[5], afino e industria de recubrimientos metálicos, además que son atractivos debido a su alto valor económico. Para el oro, el manejo, responsabilidad y seguridad en la generación de efluentes es muy extensa y detallada[6], pero no obstante a esto, grandes cantidades de oro no son recuperadas y algunas otras aun no son tratadas óptimamente[7]; por lo que, en este trabajo se propone recuperar oro contenido en soluciones complejada base tiosulfato, estudiando el efecto pH sobre la velocidad global de precipitación de oro, procedente de efluentes industriales y licores de lixiviación agotadas, a través de la precipitación química y utilizando un agente reductor que sea capaz de alcanzar máximas recuperaciones de oro contenido en dichas soluciones, como es el caso del hidrosulfito ( $S_2O_4^{2-}$ ).

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo de este trabajo, consistió en estudiar el efecto pH sobre la velocidad global de precipitación de oro; para ello, se realizaron una serie de experimentos a presión atmosférica y a diferente pH, manteniendo los demás parámetros constantes. Utilizando para ello, un reactor de vidrio convencional de 500 ml de capacidad conteniendo oro complejado con tiosulfato. La agitación se realizó con un agitador magnético de acero recubierto con teflón de 3 cm de largo. La medición de pH se realizó en un pH-metro, equipado con un electrodo apto para operar en condiciones extremas de acidez y alcalinidad (0-14). Los ajustes de pH se realizaron adicionando solución acuosa de NaOH 0.5M, directamente al reactor por medio de una bureta graduada. La temperatura del sistema fue llevada a través de un estricto control. Por otro lado, las soluciones de oro, fueron preparadas a partir de  $AuCl_3$  de alta pureza, utilizando en la mayoría de los casos  $0.250\text{ gL}^{-1}$  de oro. Para determinar la concentración inicial del metal presente en la solución complejada, se tomo una alícuota antes de iniciar la precipitación del metal, la cual es considerada como tiempo cero. Posteriormente, se adicionó la correspondiente concentración del agente reductor hidrosulfito. El tiempo de inicio de la reacción, es considerado cuando el hidrosulfito entra en contacto con la solución complejada. Para evaluar el avance de la reacción, una vez iniciada la misma, se procedió a tomar alícuotas de 5 mL a diferentes intervalos de tiempo, previamente establecidos. Posteriormente, las soluciones fueron filtradas y

analizadas en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS). La fracción [6,7] de oro precipitado  $X_p$ , fue calculado mediante las ecuaciones (1) y (2):

$$X_s = \frac{[Au]_t}{[Au]_i} \quad [1]$$

$$X_p = 1 - X_s \quad [2]$$

Donde:  $X_s$  = Fracción de oro en solución;  $X_p$  = Fracción de oro precipitado;  
 $[Au]_t$  = Fracción de oro al tiempo t;  $[Au]_i$  = Concentración de oro inicial.

Al final de cada experimento de precipitación, la solución es filtrada en un embudo con papel filtro Whatman 40. El sólido obtenido, es lavado con agua destilada y secado a 40°C por un tiempo de 30 min. Los sólidos fueron caracterizados por vía húmeda y Microscopía Electrónica de Barrido, seguido por Microanálisis de Dispersión de Energías.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

A fin de evaluar el efecto del pH sobre la velocidad global de la reacción, se realizaron una serie de experimentos. Las condiciones experimentales para uno de ellos fue:  $[Au] = 0.250 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[S_2O_3^{2-}] = 30 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[S_2O_4^{2-}] = 1 \text{ gL}^{-1}$ , temperatura 25 °C, velocidad de agitación = 500  $\text{min}^{-1}$  y variando pH= 4, 5, 6 y 7. El comportamiento de la reacción, se muestra en la Figura 1, donde se representan tiempos de hasta 120 min, debido a que en este tiempo se obtuvieron los valores máximos de precipitación de Au. El proceso presenta curvas del tipo S, observando la presencia de la etapa de inducción, la cual no presenta formación de oro y como consecuencia la solución no sufre cambios importantes. Seguido por la zona de precipitación progresiva, destacada por un aumento en la velocidad de precipitación de oro, observando que a medida que incrementa el valor de pH de 5 hasta 7, la velocidad global de reacción tiende a aumentar. Calculando las respectivas constantes experimentales mediante regresión lineal para cada valor de pH estudiado y tomando el tiempo frente al factor de conversión de oro se calcula la pendiente de la línea recta que representa tales constantes experimentales. Por lo que, para valores de pH=5 se tienen velocidades de 0.00922  $\text{min}^{-1}$  alcanzando velocidades de hasta 0.06541  $\text{min}^{-1}$  para valores de pH=7. Mientras que para valores de pH=4 no se observa precipitación de oro, debido principalmente a la inestabilidad química del ditionito en medio ácido, lo que representa cierta dependencia de la velocidad global de precipitación en función del pH. La Zona de estabilización es alcanzada linealmente donde la conversión de oro es aproximadamente igual o cercana a 1.

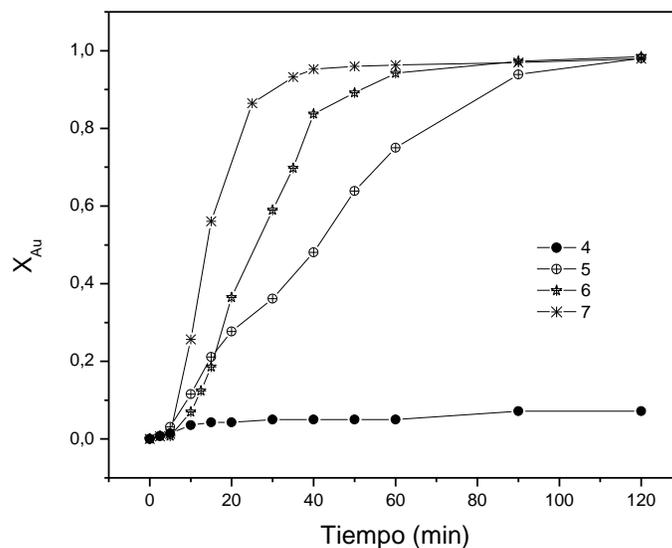


Figura 1. Fracción de Au precipitado en función del pH a temperatura = 25°C,  $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4] = 1 \text{ g L}^{-1}$ ,  $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 30 \text{ g L}^{-1}$ ,  $[\text{Au}] = 0.25 \text{ g L}^{-1}$ , vel. de agitación =  $500 \text{ min}^{-1}$ .

Cabe hacer mención, que para los valores de pH=5, 6 y 7, se logran recuperaciones superiores al 99.2%, dejando en el líquido residual concentraciones de oro inferiores a  $5 \text{ mgL}^{-1}$  y de la misma manera el coeficiente de regresión lineal  $r$  de las pendientes calculadas fue en todos los casos superior a 0.99. Así mismo, la caracterización por MEB del sólido obtenido presenta una distribución morfológica de partículas consistente de agregados cristalinos soldados entre si y constituidos por microcristales de forma esferoidal, uniformes y de tamaños menores a  $0.5 \mu\text{m}$ , como se observa en la Figura 2. Por otro lado, el microanálisis por EDS del producto obtenido, confirma que se trata de oro metálico como única especie presente, mostrado en la Figura 3.

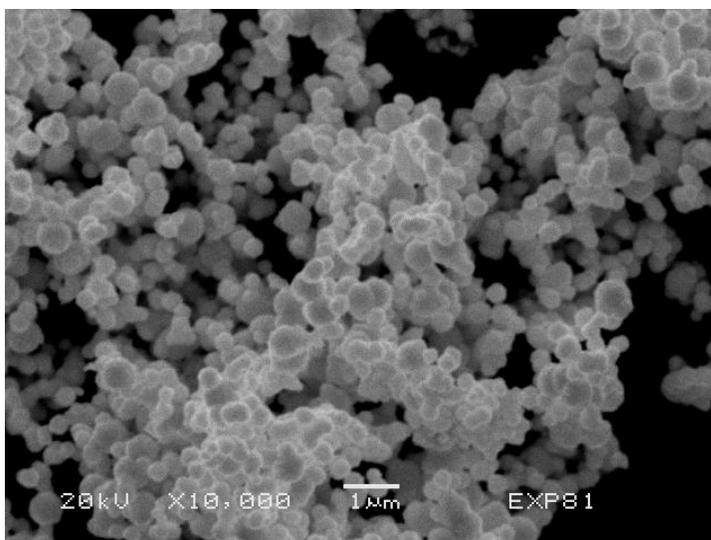


Figura 2 Imagen obtenida por MEB del producto precipitado.

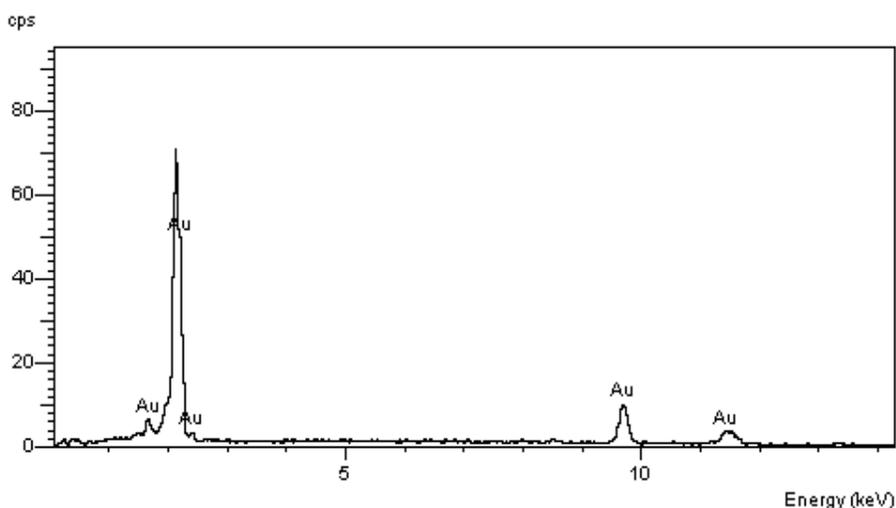


Figura 3 Análisis por Microscopía Dispersiva de Energías (EDS) del producto precipitado.

## CONCLUSIONES

1. La reacción de precipitación de oro en el sistema  $\text{Au}^+ - \text{S}_2\text{O}_3^{2-} - \text{S}_2\text{O}_4^{2-} - \text{O}_2$ , bajo condiciones experimentales de  $[\text{Au}] = 0.250 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 30 \text{ gL}^{-1}$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_4^{2-}] = 1 \text{ gL}^{-1}$ , temperatura  $25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=6$  y velocidad de agitación =  $500 \text{ min}^{-1}$ , se caracteriza por la obtención de curvas de precipitación del tipo “S”, presentando tres periodos: un primer periodo de inducción, seguido de un periodo de precipitación progresiva y un periodo de estabilización.
2. A medida que incrementa el valor de pH de 5 hasta 7, la velocidad global de reacción tiende a aumentar.

3. Para valores de pH=5 se tienen velocidades de  $0.00922 \text{ min}^{-1}$  alcanzando velocidades de hasta  $0.06541 \text{ min}^{-1}$  para valores de pH=7, lo que representa una dependencia de la velocidad global de precipitación en función del pH.
4. De acuerdo a la caracterización realizada por MEB del sólido obtenido presenta una distribución morfológica de partículas consistente de agregados cristalinos de Au de tipo esferoidal soldados entre sí y constituidos por microcristales uniformes y de tamaños menores a  $0.5 \mu\text{m}$ .
5. Los análisis realizados por EDS del producto obtenido, confirman que se trata de oro metálico como única especie presente.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Earle B.A. "Gold Recycling in the United State in 1998". Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United State, Scott F. Sibley (ed.) pp. 5-15, (2005).
2. Rivera, F. Patiño, M. Cruells, A. Roca y Viñals. Precipitación de plata de efluentes electrolíticos. Revista de Metalurgia, Madrid 40 pp. 369-373 (2004).
3. M.G. Lamisse. Metal recovery process. Res. Discl. England. Vol 201, pp 3-20, (1981).
4. C.A. Fleming. Hydrometallurgy, of precious metal recovery. Hydrometallurgy, Vol 30, pp127-162, (1992).
5. G. Lacoste, H. Olive Electrolytic recovery of metals from aqueous solutions using a porous electrode. Brit. U.K. Patente Eur. Pat. Appl. 37, 325, 20 pp, (1982).
6. W. Kunda. Processing of photographic spend solution by chemical methods. Precious metals book. Edited by Reese, David A. Pergamon. Toronto Canada, pp 185-195, (1988).
7. I. Rivera L. Estudio cinético de Precipitación/Lixiviación de plata en el sistema  $\text{O}_2\text{-S}_2\text{O}_3^{2-}\text{-S}_2\text{O}_4^{2-}$ . Aplicación a efluentes industriales. Universitat de Barcelona. Tesis Doctoral (2003).