

Influencia de parámetros críticos en la recuperación de cobre por cementación sobre hierro granular

Este documento es un extracto de la memoria de trabajo que verifica la ejecución de la Meta 5 del Subproyecto Especial de Desarrollo Tecnológico en el Sector del Cobre (Programa de Colombia), desarrollada en el CENTRO DE INVESTIGACION DEL COBRE de la Facultad Nal. de Minas de la Universidad Nacional de Colombia Seccional Medellín, bajo el auspicio del PROYECTO ESPECIAL DE TECNOLOGIAS METALURGICAS DE LA OEA (Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico) y COLCIENCIAS.

Por
Luis Alberto Meza¹, María Patricia Uribe²
y John Jairo Ramírez³

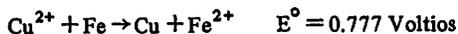
RESUMEN

Se estudió la cementación de Cobre sobre gránulos de hierro en función de parámetros críticos como pH, nivel de agitación y concentración inicial de Cobre en solución. El rango de las variables estudiadas fue el siguiente: para concentración inicial entre 5–15 gr de Cu/l, para pH entre 1–3. El nivel de agitación fue seleccionado como 2250 rpm después de la realización de un bloque preliminar de experimentos.

Se obtuvieron recuperaciones de cobre por encima del 75% operando bajo las condiciones: pH, 185, concentración inicial de Cobre, 8,45 gr/l, y velocidad de agitación 2250 rpm a un tiempo de 25 minutos.

INTRODUCCION

La cementación es un proceso electroquímico por el cual, un ion metálico en solución bajo ciertas condiciones pasa de la solución a estado sólido, sobre la superficie de otro material metálico. Así, cementación de Cobre sobre hierro granular, obedece a la siguiente reacción electroquímica:



Reacciones de esta naturaleza han sido utilizadas por largo tiempo en la industria, tanto para la recuperación de metales valiosos como para la purificación de soluciones lixiviantes, como la remoción de Cd y Cu de flujos electrolíticos de Zinc, usando polvo de zinc (1). En años recientes se han publicado numerosas investigaciones sobre cementación enfatizando primordialmente en el campo cinético empleando diferentes sistemas de cementación; Cu-Fe, Cu-Zn, Cu-Al(2,3,4). Virtualmente todos los sistemas de cementa-

ción obedecen una expresión cinética de primer orden con respecto a la concentración del ion metálico a cementar.

Para el caso del cobre se tiene:

$$\frac{d[\text{Cu}^{2+}]}{dt} = K A [\text{Cu}^{2+}] \quad (1)$$

donde:

$[\text{Cu}^{2+}]$: Concentración de Cobre en solución

K : Constante cinética de cementación

A : Area superficial del metal cementante

t : Tiempo de cementación

Los objetivos de este trabajo son los de estudiar la recuperación de Cobre sobre una superficie de hierro granular bajo ciertas condiciones de proceso y operación específica empleando la metodología estadística de superficie de respuesta. Los resultados de esta investigación se utilizarán como base para el diseño de una unidad de precipitación que en el futuro se incorporará a la planta piloto del Centro del Cobre de la Facultad Nacional de Minas – Universidad Nacional.

MATERIALES Y EQUIPO

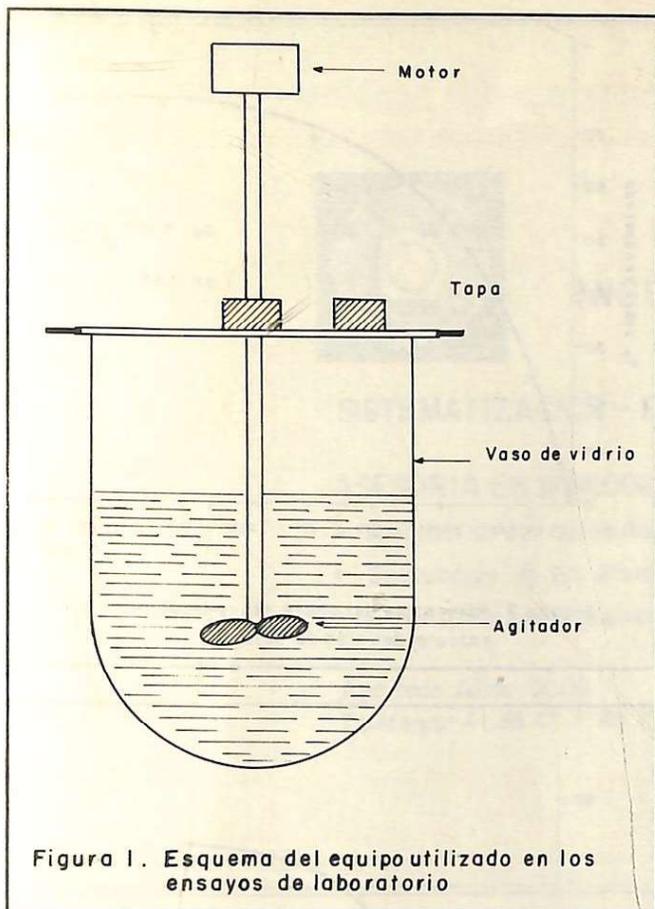
Las muestras proceden de una solución cargada proveniente de la lixiviación de tostados de concentrados de calcopirita (Cu, Fe, S₂) con ácido sulfúrico diluido (H₂SO₄). De esta solución estándar se hacen diluciones a distintos niveles de concentración de Cobre de acuerdo a lo requerido en el proceso experimental. El material precipitante para este trabajo es hierro granular de un tamaño de partícula uniforme. El material es un desecho industrial con un 78% de Fe y un tamaño de partícula entre 150 a 200 mallas de la serie de Tyler.

El equipo utilizado para las pruebas de laboratorio se muestra en la Fig. 1. Consta de las siguientes partes: Vaso de vidrio Pyrex de fondo semielíptico de 5 litros de capacidad, tapado con dos orificios para el agitador y toma de muestras respectivamente, un rotor con motor eléctrico marca

¹ Ingeniero de Minas y Metalurgia, MS, Prof. Asociado a Investigador del Centro del Cobre – Facultad de Minas, Universidad Nacional.

² Ingeniero Químico, Facultad de Minas – Universidad Nacional

³ Ingeniero Químico, Facultad de Minas – Universidad Nacional



Denver de velocidad variable (300–3000 rpm). El agitador consta de un conjunto de álabes curvados para lograr un flujo axial que pone en movimiento el hierro granular y así lograr un mayor contacto con la solución. Para el control de pH se utilizó un potenciómetro eléctrico digital.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se diseña un bloque de experimentos que considere los parámetros pH, velocidad de agitación y concentración inicial de la solución. Para un experimento en particular, se toma un litro de solución a la concentración y pH indicados y se lleva al reactor de cementación; separadamente, se pesa la cantidad de hierro requerida. Se enciende el agitador a la velocidad seleccionada. En el instante cero se introduce el hierro granular; este es el momento inicial del experimento. Se toma cierto número de muestras a intervalos de tiempo definidos. Las muestras se llevan para análisis químico, lo que reporta la concentración de la solución remanente y su variación a medida que el tiempo transcurre.

METODO ESTADISTICO PARA LA OPTIMIZACION DEL PROCESO DE CEMENTACION

Para la optimización de las variables del proceso de cementación se utilizó el método de superficie de respuestas⁵. Cada variable se estudia en tres (3) niveles que correspon-

den al punto central y a los puntos extremos superior e inferior del rango elegido.

Las variables estudiadas son: pH, nivel de agitación y concentración inicial de Cobre en solución. Para un primer bloque de experimentos realizados se determinó como valor óptimo de agitación 2250 rpm. Para el segundo bloque de experimentos se estudiaron las variables pH y concentración inicial de Cu en solución. Los valores de los parámetros a los diferentes niveles se hallan por medio de la siguiente expresión:

$$X = X_0 + ND \quad (2)$$

Donde:

N : Unidades de codificación que corresponden a los niveles 0, 1, -1, 2 y -2.

X₀ : Valor de las variables en el nivel cero.

X : Valor de las variables para cada unidad de codificación.

D : Valor del intervalo escogido que indica la amplitud de rango experimental abarcado.

La Tabla 1 muestra las condiciones bajo las cuales se ejecutaron las pruebas y sus resultados siguiendo un diseño central compuesto rotable para dos variables. La ecuación que correlaciona los parámetros estudiados presenta la siguiente forma:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i,j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 \quad (3)$$

TABLA 1. Valor de las variables y datos obtenidos en las pruebas de laboratorio.

X ₁	X ₂	Y
6.47	1.293	54.076
13.53	1.293	67.317
6.47	2.707	61.780
13.53	2.707	47.045
5.00	2.000	81.011
15.00	2.000	50.479
10.00	1.000	71.693
10.00	3.000	41.916
10.00	2.000	69.282
10.00	2.000	75.761
10.00	2.000	75.258
10.00	2.000	75.258
10.00	2.000	70.790

X₁ : Concentración inicial de la solución en gr/l

X₂ : pH

Y : Respuesta (porcentaje de recuperación de Cobre)

donde:

y: Valor de la respuesta estimada (porcentaje de recuperación de Cobre)

bo, bi, bij, bii: Coeficientes del modelo i, j = 1, ... K

Xi, Xj: Valor de las variables codificadas

K = 2 : Número de variables

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados mostrados en la Tabla 1, se calculan los coeficientes del modelo, obteniéndose la siguiente expresión de correlación de la respuesta y:

$$y = 73.269 - 5.584X_1 - 6.88X_2 - 4.709X_1^2 - 9.112X_2^2 - 6.994X_1X_2 \quad (4)$$

También se realizó un análisis estadístico que permitió correlacionar las variables estudiadas. El análisis de la variancia muestra que los resultados experimentales se ajustan al modelo propuesto.

El punto estacionario para las variables estudiadas corresponde a

$$X_1 = 8.457 \text{ gr de Cu/l y}$$

$$X_2 = 1.857 \text{ (pH)}$$

para un valor de la respuesta de

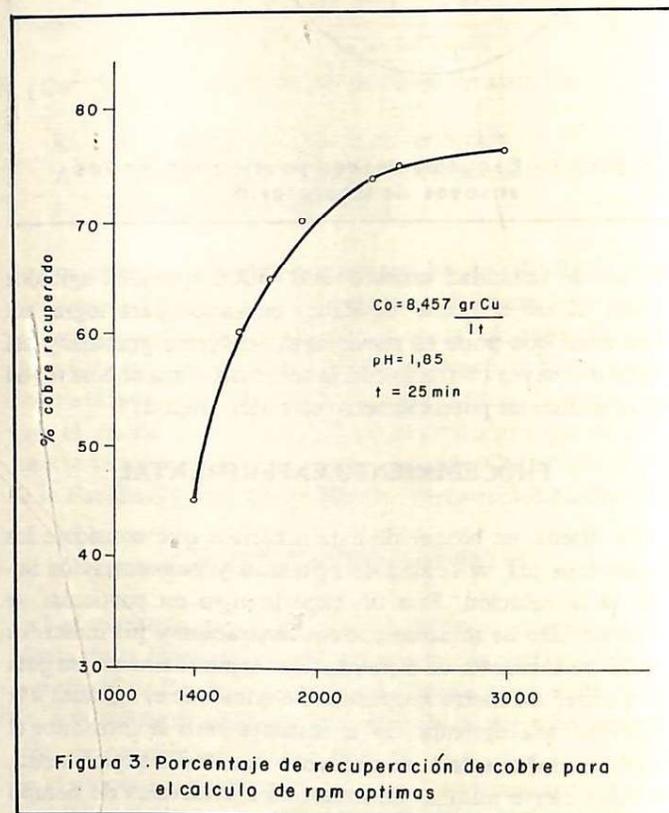
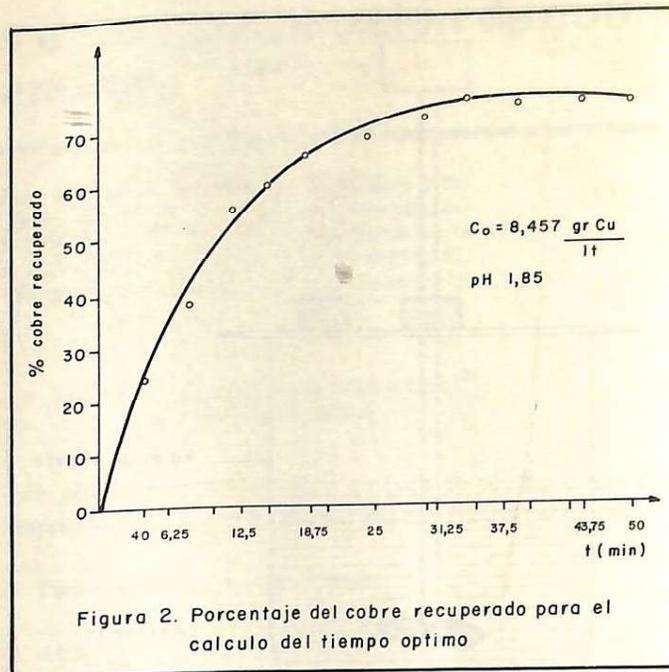
$$y_0 = 75.211 \% (\text{recuperación de Cobre})$$

Para tales condiciones óptimas se realizó una prueba en la cual se tomaron muestras a varios tiempos con el objeto de determinar la variación de la concentración (% recuperación) de Cobre con el tiempo. Los resultados de la prueba están representados en la Figura 2. Del análisis de dicha curva el tiempo óptimo es de 25 minutos.

Con las mejores condiciones de tiempo, pH y concentración inicial de Cobre en solución se realizaron varios ensayos con diferentes velocidades de agitación para obtener así el punto óptimo de las variables en conjunto. Estos resultados están graficados en la Figura 3. Analizando esta figura se concluye que a 2250 rpm la recuperación de Cobre es 73%. Por encima de 2250 rpm el aumento de la recuperación de Cu es muy bajo para un mayor gasto de energía.

REFERENCIAS

1. BRATT G. G. and GORDON, A. R., Solution Purification for Electrolytic Refining of Time, Research in Chemical and Ext. Met. Aust. Inst. Min. Met. Melbourne (1967) pp 197-210.
2. MACKINNON, D. J. and INGRAHAM, T. R., Kinetics of Cu(II) Cementation on Pure Aluminum Disc in Acid Sulfate Solutions, Can. Met. Quart. Vol. 9, (1970) pp 443-448.



3. NADKARNI, R. H., JELDEN, C. E., BOELES, K. C., Flanders, H. E., and WADSWORTH, M. E., A Kinetic Study of Cu Precipitation on Iron, Part I., Trans. Met. Soc. of AIME, Vol. 289, 1967, pp. 581-585.
4. MEZA Saucedo, Luis A., A kinetics Study of Copper Cementation on Granular Zinc, Master's Thesis, University of Idaho, Graduate School, Feb. 1977.
5. MYERS, Raymond H., Response Surface Methodology, Boston, Allyn and Bacon, 1971, 245 p.