

Remoción de Iones Cobre por Flotación Jet

Mario E. Santander¹, Osvaldo F. Pavez¹, Jorge A. Pinto¹ y Bruno S. Zazzali¹

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de estudios preliminares para la remoción de iones cobre desde soluciones sintéticas utilizando una celda de flotación Jet (tipo Jameson) de 1,2 m³/h de capacidad. Los iones cobre fueron removidos por la técnica de flotación por adsorción coloidal, utilizando cloruro férrico como precipitado adsorbente. Fue estudiado el efecto de la concentración de colector y floculante. Los resultados indican que, en las mejores condiciones de operación, es posible alcanzar eficiencias de remoción de iones cobre del orden de 95%.

Abstract

This abstract introduces the results of preliminary studies for ion copper removal from synthetic solutions using a jet flotation cell (type Jameson) of 1,2 m³/h capacity. The copper ions were removed by means of the colloid adsorbing technique, utilizing ferric chloride as adsorption precipitate. It was studied the effect of the collector concentration and the flocculant. The results show that, in the best operating conditions, it was possible to reach 95% of efficiency in the copper ions removed.

I INTRODUCCIÓN

Los efluentes generados por la industria minero metalúrgica, generalmente tienen una composición compleja, conteniendo cantidades considerables de metales como iones o complejos (cobre, plomo, zinc, níquel, hierro, arsénico, cadmio, etc.), cianuro de sodio, aceite utilizado en máquinas, sólidos en suspensión, reactivos de flotación; y que por disposición de la legislación ambiental deben ser descontaminados debido a que mucho de ellos constituyen un veneno para los seres humanos, animales y plantas (como mercurio, cadmio, arsénico, etc.). Los metales pesados son estables y persistentes contaminante del medio ambiente dado que no pueden ser degradados o destruidos. La descarga incontrolada, de residuos líquidos puede contaminar significativamente los suelos, acuíferos y reservas de agua. Las aguas lluvia ayudan a su infiltración y pueden llegar al ser humano a través del agua de bebida o a través de los alimentos.

Existen varios procesos para la remoción de

poluentes inorgánicos, principalmente iones de metales pesados, entre ellos se incluye precipitación, flotación, intercambio iónico, ultrafiltración y osmosis inversa (Harper y Kingham, 1992; Gupta y Chen, 1978; Clifford y Lin, 1991). Dentro de las técnicas de flotación se tiene flotación de precipitados, flotación por adsorción coloidal y flotación por partículas sorbentes (Rubio y Tessele, 1997).

En tratamiento de efluente debido a que las partículas que tienen que ser flotadas son extremadamente pequeñas (incluso precipitados o agregados coloidales) es necesario utilizar microburbujas y evitar las condiciones hidrodinámicas de alta turbulencia para no destruir estos agregados (Rubio, 1998).

El equipo ampliamente utilizado para el tratamiento de efluente es la flotación por aire disuelto (FAD), sin embargo, cuando se requiere tratar grandes volúmenes este presenta algunas limitaciones debido a su baja capacidad de tratamiento. Las tecnologías de flotación no convencional, utilizadas en la concentración de minerales para la separación se-

Palabras claves: Flotación Jet, Adsorción coloidal

¹ Departamento de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama, Av. Copayapu 485, Casilla 240. Copiapó.opavez@crisol.uda.cl, msantand@demet.uda.cl

lectiva, son una alternativa de potencial aplicación para la remoción de iones de metales pesados. La celda Jet, que utilizan burbujas de tamaño intermedio (0,1 a 0,8 mm en diámetro) (Jameson and Manalaping, 1991; Clayton, 1991), condiciones hidrodinámicas relativamente tranquilas y bajos tiempos de retención, tiene potencial aplicación para la separación sólido/líquido y líquido/líquido.

La celda Jameson ha sido aplicada en las plantas de extracción por solvente (Readett y Clayton, 1993) y en la separación aceite/agua (Santander et al., 1999; Santander y Rubio, 1998). En las plantas SX-EW (Solvent extraction-electrowining) es recuperado el orgánico emulsificado en la fase acuosa.

Este trabajo presenta resultados de estudios preliminares de la aplicación de una celda tipo Jameson a la remoción de iones cobre desde soluciones sintéticas, utilizando la técnica de flotación por adsorción coloidal.

II FASE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

La solución sintética, con una concentración de 20 mg/L de cobre, fue preparada disolviendo en agua potable una cantidad predeterminada de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ p.a., marca Fluka. Para los estudios de flotación por adsorción coloidal fue utilizado $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ p.a., marca Arquimed, como coprecipitante. Como colector fue utilizado oleato de sodio, $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{O}_2\text{Na}$, marca Arquimed, como espumante fue utilizado Metil Isobutil Carbinol (MIC) y como floculante Almidón Modificado 5561, fabricado por Corproduct Chile-Inducor S.A. Soluciones de NaOH y HCl fueron utilizadas para ajustar el pH.

2.2 Metodología

2.2.1 Precipitación

Priori a los estudios de flotación fueron realizados ensayos para determinar las condiciones óptimas de coprecipitación de los iones cobre con hidróxido de hierro. En los ensayos de precipitación una cantidad predeterminada de cloruro férrico fue adicionada a 300 mL solución conteniendo 20 mg/L de iones

cobre. Posteriormente el pH fue ajustado al valor deseado, la solución fue agitada durante 5 min por medio de un agitador magnético a 150 rpm. La concentración de iones cobre en el líquido clarificado fue medida en el espectrofotómetro de absorción molecular.

2.2.2 Flotación

La remoción de coloides adsorbentes desde la solución sintética fue estudiada utilizando una celda de flotación Jet de 1,2 m³/h de capacidad. La Figura 1 representa un diagrama esquemático de la celda y los equipos auxiliares. Esta celda consiste de un tubo de contacto, un tanque de flotación (separación de las fases) y un sistema de control de nivel. El tubo de contacto esta compuesto de un inyector (generador de burbujas) y un tubo de descenso ("down-comer"). El inyector, localizado en la parte superior del tubo de contacto permite introducir el efluente en forma de jet. El tubo descenso fue fabricado en acrílico de 40 mm de diámetro interno y altura variable. El tanque de flotación de 20 L de capacidad fue construido en PVC. El sistema de control de nivel, también construido en PVC, permite regular la altura del líquido del tanque de flotación (altura de la capa de espuma).

La alimentación a la celda de flotación fue preparada disolviendo 20 mg/L de iones cobre en 200 L agua de agua potable. Posteriormente una concentración predeterminada de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ fue añadido y el pH de la solución fue regulado en el valor preestablecido. La solución fue mezclada durante 5 min y posteriormente acondicionada con colector y espumante.

Después que los coloides adsorbentes fueron hidrofobizados, el efluente es alimentado a presión por la parte superior del tubo de descenso. Al pasar el agua por la reducción de área en el inyector, aumenta la velocidad, al mismo tiempo que decrece la presión. La reducción de presión induce la entrada de aire por la abertura dispuesta para este fin. El movimiento subsecuente de la corriente de dos fases a través de la región de baja velocidad (alta presión) resulta en la dispersión del aire en burbujas pequeñas. Estas son forzadas a descender en sentido opuesto a su flotabilidad natural, en dirección al tanque de

flotación.

En esta celda el proceso de "colección" (colisión-adhesión) formación de los agregados precipitados sorbentes-burbujas de aire, se produce en el tubo de descenso y la separación de los agregados desde el agua, en el tanque de flotación (separación de las fases). La mezcla cae en co-corriente, siendo descargada en el tanque de separación de las fases, donde los agregados ascienden a la superficie (camada de espuma), mientras que el agua tratada es descargada por la parte inferior.

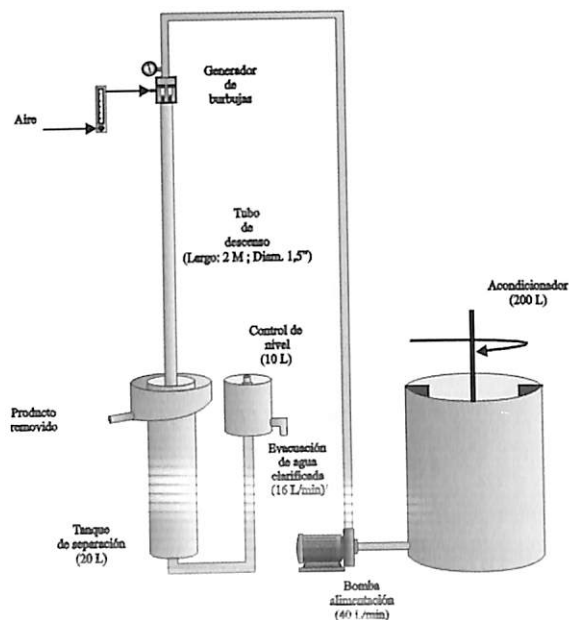


Figura 1. Representación esquemática de la celda de flotación Jet para la remoción de iones cobre por la técnica de adsorción coloidal.

La eficiencia del proceso fue evaluada midiendo la concentración de iones cobre en la solución antes y después del proceso de flotación.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.2.1 Precipitación

La coprecipitación de iones cobre con 100 mg/L de hidróxido férrico fue determinada como una función del pH. Los resultados presentados en la Figura 2 muestran que la concentración residual de cobre decrece cuando el pH aumenta.

El efecto de la cantidad de Fe^{+3} sobre la coprecipitación de iones cobre fue determinado en el pH óptimo. Los resultados muestran que un incremento en la concentración de hidróxido férrico 20 a 100 mg/L no disminuye significativamente la concentración residual de cobre en líquido clarificado, según se observa en la Tabla 1.

Estos resultados difieren de los reportados por Alexandrova y Grigovov (1996), según estos investigadores utilizando 100 mg/L de hidróxido férrico en pH 6.5 la totalidad de los iones cobre son removidos. Estas diferencias probablemente se deben a la alta concentración de sales inorgánicas presentes en el agua utilizada para los experimentos. Según Cohen y Sidney (1975) estudios de la presencia de iones específicos sobre la coagulación han demostrado que su presencia modifica, entre otros factores, el margen de pH de la coagulación óptima.

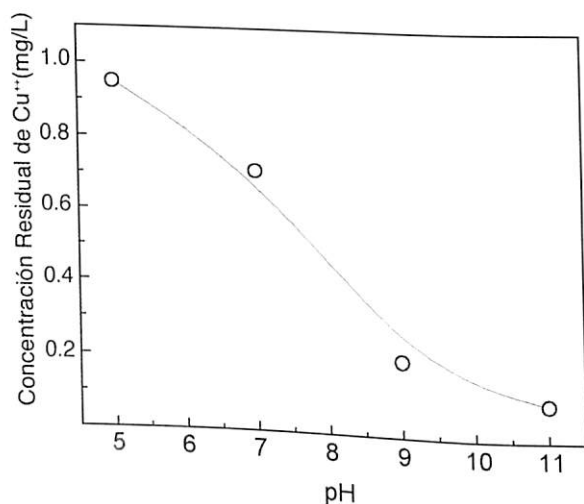


Figura 2. Efecto del pH sobre la concentración residual de iones cobre en el efluente clarificado con 100 mg/L de $Fe(OH)_3$.

Tabla 1. Efecto de la concentración de Fe^{+3} sobre la concentración de iones cobre en la solución clarificada.

Concentración de Fe^{+3} (mg/L)	Concentración de Cu^{+2} (mg/L)
20,00	0,11
40,00	0,13
60,00	0,10
100,00	0,10

3.1.2 Flotación

Tomando como base, los resultados de coprecipitación descritos anteriormente, fueron realizados estudios para la remoción de iones cobre por la técnica de flotación por adsorción coloidal utilizando hidróxido de hierro como coprecipitante, oleato de sodio como colector y Almidón Modificado 5561 como floculante.

Después de la coprecipitación de los iones cobre, con hidróxido férrico, estos fueron removidos por flotación Jet. Las condiciones experimentales en todo los ensayos fueron las siguientes: concentración inicial Cu^{+2} , 20 mg/L; concentración de Fe^{+3} , 20 mg/L, pH, 11; concentración de espumante, 15 mg/L; flujo de aire, 4 L/min. La Figura 3 muestran los resultados obtenidos en la remoción coloides adsorbentes en función de la concentración de colector.

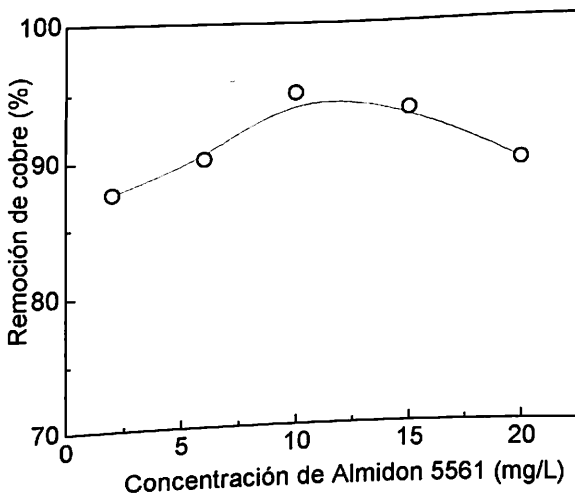


Figura 3. Efecto de la concentración de colector sobre el porcentaje de remoción de iones cobre.. $[\text{Cu}^{+2}]_{\text{inicial}} = 20 \text{ mg/L}$; $[\text{Fe}^{+3}] = 20 \text{ mg/L}$; $[\text{MIC}] = 15 \text{ mg/L}$, pH= 11, Flujo de aire = 4 L/min.

En la Figura 3, se observa que un incremento en la concentración de colector aumenta el porcentaje de remoción. Sin embargo, el máximo alcanzado es 71%, cuando la concentración de colector es 50 mg/L. La concentración residual de iones cobre en la solución tratada para este porcentaje de remoción es del orden de 5,75 mg/L.

La baja eficiencia de remoción probablemente se debe a que los precipitados de hidróxido férrico son muy frágiles y al ser bombeada a través del inyector se destruyen. Observaciones experimentales evidenciaron en la solución tratada partículas de precipitado de tamaño coloidal, las que posiblemente contienen iones cobre adsorbidos.

Con el propósito de aumentar la consistencia de los precipitados fueron realizados estudios de flotación adicionando floculante, Almidón Modificado 5561, en diferentes concentraciones, la Figura 4 presenta los resultados obtenidos. En la figura se observa que la adición de floculante incrementa significativamente el porcentaje de remoción de los iones cobre, alcanzando remociones del orden de 95% cuando la concentración de floculantes es 10 mg/L, concentraciones mayores decrecen la eficiencia de remoción.

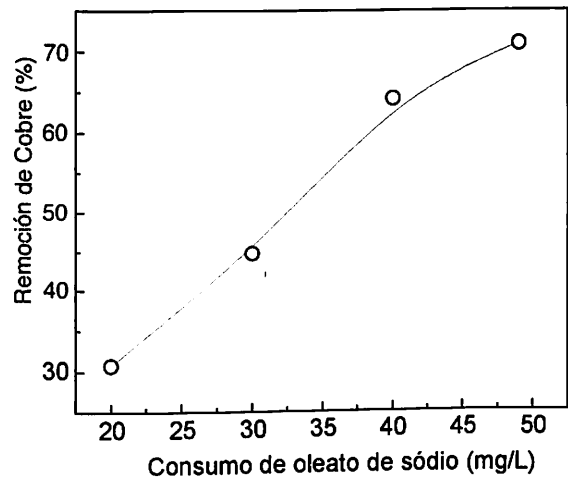


Figura 4. Efecto de la concentración de colector sobre el porcentaje de remoción de iones cobre.. $[\text{Cu}^{+2}]_{\text{inicial}} = 20 \text{ mg/L}$; $[\text{Fe}^{+3}] = 20 \text{ mg/L}$; $[\text{Oleato de Sodio}] = 49 \text{ mg/L}$, $[\text{MIC}] = 15 \text{ mg/L}$, pH= 11, Flujo de aire = 4 L/min.

El aumento en el porcentaje de remoción cuando se incrementa la concentración de floculante hasta 10 mg/L se debe a que se forman floculos (agregados de precipitados de hidróxido férrico) voluminosos los cuales resisten el bombeo a través del inyector. La disminución en la eficiencia de remoción probablemente se debe a que el exceso de floculante absorbido sobre los precipitados de hidróxido de fé-

rrico y el disuelto en la solución impiden la formación de floculos grandes disminuyendo, la probabilidad de colisión-adhesión floculos-burbuja, y aumentando el arrastre de precipitados adsorbentes hacia la solución tratada.

IV CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que la flotación Jet de coloides adsorbentes utilizando colector y floculante presenta potencial aplicación para el tratamiento de efluente contaminados con iones de metales pesado. La principal ventaja comparada con la flotación por aire disuelto (FAD) es la mayor velocidad de flotación y el menor tamaño del equipo.

V AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero a la Dirección de Investigaciones de la Universidad de Atacama.

VI REFERENCIAS

- Alexandrova, L. And Grigorov, L. Precipitate and Adsorbing Colloid Flotation of Dissolved copper, Lead and Ziinc Ions. *Int. J. Miner: Process*, 48, 1996, 111-125.
- Harper, T.R and Kingham, N.W. Removal of Arsenic from Wastewater Using Chemical Precipitation Methods. *Water Environ. Res.* 1992, 64, 200-203.
- Gupta, S.K. and Chen, K. Y. Arsenic Removal by adsorption. *J. Water Pollut. Control Fed.* 1978, 50, 493.

Clifford, D. and Lin, C.C. Arsenic (III) and Arsenic (V) Removal from Dinking Water in San Ysidro, New Mexico; EPA/600/S2-91/011; June 1991.

Rubio, J. Enviromental applications of the flotation process. In *Efluent treatment in the mining industry*. Edited by S.H. Castro, F. Vergara, M. A. Sánchez, Department of Metallurgical Engineering, University of Concepción, 1998, pp 335-363.

the Jamenson flotation cell Column '91: Sudbury, Canada, Eds. Agar et al., Volume II, canadian Instiute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 1991, p'p 673-687.

Clayton, R.L., *The Developement and Application of the Jameson Cell*, Mineral Engeering, 1991, Vol. 4 (7-11), pp 925-933.

Rubio, J. and Tessele, F., Removal of Heavy Metal ions by Adsortive Particulate Flotation Mineral Engeering., 1997, 10(7), 671-679.

Readett, D. and Clayton, B., *Cleaning Hydrometalurgical Liquor using Jameson Cells, InFlotation Plants: Are they optimized*, Editor D. Malhotra, Published by Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littuten, Colorado, 1993, Cap.23, pp 165-170.

Santander, M. y Rubio, J., Remoción de aceites emulsificados por flotación jet. *Anales del X CONAMET, Copiapó-Chile*, 1998, pp.396-406.

Santander M., Da Rosa J.J., Rodrigues, R.T. and Rubio, J. *Advances in Flotation in Waste Streams Treatment. International Mining and Environment Congress. Clean Technology: Third Millenium Challenge*. Lima Peru