

EFFECTO DE LA HÉLICE EN LA RECUPERACIÓN DE PARTICULAS FINAS DE COBRE Y ORO EN RELAVES

L. Valderrama⁽¹⁾, D. Guzmán⁽¹⁾ y B. Zazzali⁽²⁾.

(1) Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – Universidad de Atacama Avenida Copayapu 485 – Casilla 240, Copiapó, Chile – lvalderr@gea.idictec.uda.cl

(2) Departamento de Metalurgia – Facultad de Ingeniería – Universidad de Atacama, Avenida Copayapu 485 – Casilla 240, Copiapó, Chile

RESUMEN

Este trabajo analiza el efecto que tiene sobre la ley y la recuperación el tipo de hélice en la etapa de acondicionamiento en alta intensidad de relaves con partículas finas de cobre y oro contenidas. Fueron estudiados tres tipos de hélices en escala de laboratorio, dos de flujo axial (tipo bote A-100 y de cuatro alas en 45° A-200) y una de flujo radial (turbina Rushton R-100), cuantificando la energía transferida a la pulpa en la etapa de acondicionamiento en alta intensidad. El número de deflectores, su distribución, porcentaje de sólido, velocidad de agitación, concentración de reactivos fue constante en todos los ensayos. Los mejores resultados fueron obtenidos con la hélice de cuatro alas (A-200) con recuperaciones de 16,5% y ley 1,7 g/t de oro, cuando fue transferida una energía de 2 kWh/m³ de pulpa y para cobre una recuperación de 12,7% y ley de 1,3%. Los resultados son discutidos por la probabilidad de agregación de las partículas por las hélices usadas en función a la recuperación y ley de los concentrados obtenidos.

INTRODUCCION

Los problemas encontrados en el procesamiento de partículas finas, tanto en la industria minera como en las áreas alimenticia, petroquímica, biotecnología, control ambiental, entre otras, han sido reportados por diversos autores (Collins y Read, 1971; Trahar, 1981; Sivamohan, 1990).

En la flotación de minerales, existe un intervalo de tamaño de partículas que tiene mejor flotabilidad. Este intervalo puede variar de un mineral a otro y también depende de la magnitud de la operación laboratorio, planta piloto o industrial (Subrahmanyam y Forsberg, 1990).

La presencia de finos y ultrafinos es siempre problemática en el procesamiento mineral y la mejor

solución continua siendo no producirlos. Pero, como no siempre es posible evitarlos, diversas alternativas tecnológicas han sido propuestas y estudiadas para la concentración de estas partículas minerales finas y ultrafinas. Las principales alternativas tecnológicas existentes y emergentes para el procesamiento de partículas minerales finas pueden ser agrupadas de la siguiente manera: procesos que usan una fase orgánica, procesos de flotación en columna, procesos basados en interacción hidrofóbica.

Como la colisión entre partículas y burbujas de aire es de primordial importancia para la flotación, en la floculación por cizalle, las colisiones entre partículas finas y gruesas son de extrema importancia para la agregación. Las condiciones de agregación en la floculación por cizalle no son muy diferentes de aquellas mantenidas en los sistema de flotación, o sea, velocidad de agitación, densidad de la pulpa y geometría de la celda. Como la agregación de partículas no puede ser realizada en los procesos convencionales de flotación, Subrahmanyam y Fossberg. (1990) investigaron la introducción "baffles" en las celdas de flotación.

El proceso de acondicionamiento en alta intensidad, debe ser entendido como una etapa de acondicionamiento antes de la flotación. Varios investigadores explican que la energía transferida en la etapa de acondicionamiento, expresada como tiempo de acondicionamiento a una velocidad de agitación constante o como velocidad de agitación variable con tiempo constante, mejora la flotación de las partículas finas de sulfuros de cobre, plomo y cinc (Bulatovic y Salter, 1989) oro, óxido de uranio y piritita (Stassen, 1991); sulfuros de cobre y molibdeno (Rubio y De Brum, 1994); fosfatos (Davis y Hood, 1994); sulfuros de níquel (Engel et al., 1997); galena y esfalerita (Small et al., 1997) y oro (Valderrama y Rubio 1997).

Para que sea efectivo el acondicionamiento en alta intensidad, es necesario exceder una transferencia mínima de energía para que ocurra la agregación selectiva de las fracciones de tamaño fino. Este límite depende de las propiedades superficiales de las

partículas finas, de los reactivos utilizados y de la hidrodinámica del sistema (Brum et al., 1995).

El sistema de agitación no ha recibido una mayor atención por los investigadores, de acuerdo a la geometría del estanque, geometría, forma y tamaño de las hélices impulsoras, número de "baffles" en el estanque, tipo de impulsores, inclinación y velocidad de rotación (Thring y Edwards, 1990). Los impulsores pueden ser divididos en función del ángulo que forman las aletas de las hélices con el plano de rotación del impulsor, en impulsores de tipo axial e impulsores de flujo radial (Oldshue y Herbst, 1990). Los impulsores de flujo axial, son todos aquellos que sus aletas forman un ángulo menor que 90°, con el plano de rotación, las más representativas son las hélices. Los impulsores de flujo radial tienen aletas paralelas al eje matriz y son llamados turbinas.

Debido a que se requiere un grado crítico de cizalle (energía de colisión) para iniciar el proceso de floculación, se ha supuesto que las regiones de más alto grado de cizalle son las zonas más eficientes para obtener la formación de agregados. Koh (1984) utilizó este concepto y definió tres zonas: una zona impulsora de alto grado de cizalle, una zona de carga ("bulk") de grado intermedio y un "espacio muerto", en la parte alta y en el fondo del estanque en la cual el grado de cizalle se encuentra por debajo del valor crítico para que ocurra la agregación.

La hélice, dependiendo de su diseño, actúa también como una bomba y hace circular la suspensión desde la zona impulsora hasta la zona de carga y regresar otra vez hasta el impulsor. La frecuencia con la cual las partículas circulan a través de la zona impulsora y el tiempo que las partículas pasan en cada zona, depende, de esta forma, del grado de bombeamiento de la hélice y de los volúmenes relativos de las tres zonas.

En los últimos años algunos estudios han sido realizados con la intención de cuantificar la turbulencia en celdas de flotación y mejorar el diseño de acondicionadores específicos para flujos turbulentos (Tomi y Bagster, 1978; Fallenius, 1987). Oldshue (1978), indica que la energía que entra, por medio de una hélice hasta el fluido, se disipa a través de su acción de bombeo y su acción de cizalle y que no se conoce cual debería ser la división óptima entre el bombeo y el cizalle para la floculación.

Los relaves generados en los procesos de tratamientos de minerales por flotación se estimaban en 202 millones de toneladas al año (Estado, 2000). Algunos de estos relaves se encuentran cercanos a centros poblados y/o recursos hídricos, donde los riesgos son mayores y se conocen casos severos de contaminación de agua y suelos en varias regiones del

país. Algunos de éstos contienen especies valiosas cuyo contenido depende de la ley de alimentación y del proceso usado, y éstas pueden ser recuperadas en forma económica.

PARTE EXPERIMENTAL

Muestra

La muestra de relave de cobre procedente de una planta de beneficio de la Región de Atacama, contenía calcopirita como mineral principal de cobre, con partículas de oro y cuarzo, hematita, limonita, calcita como ganga. El análisis químico del relave es mostrado en la tabla I.

Tabla I. Análisis químico del relave

Muestra	Cu (%)	Au (g/t)	SiO ₂	Fe _T (%)
Relave	0,16	0,13	62,5	21,7

El análisis granulométrico del relave es mostrado en la tabla II. Se observa que la mayor parte de las partículas (73,2%) se encuentran a un tamaño mayor a 200 mallas.

Tabla II. Análisis granulométrico del relave

Malla Tyler	Peso (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)
200	363,2	73,2	73,2
270	48,9	9,9	83,1
325	15,3	3,1	86,2
400	9,9	2,0	88,2
-400	58,6	11,8	100,0

Reactivos. La dosificación usada en el acondicionamiento en alta intensidad y en las pruebas de flotación fue un 20% de lo usado en la planta y fueron isobutil xantato de sodio (SF - 114); etil butil ditiofosfato de sodio (A - 208); isobutil ditiofosfato de sodio (SF - 3477), como espumante el éter metil glicol propileno (DF - 250); y metil isobutil carbinol (MIBC).

Metodología. El acondicionamiento en alta intensidad del relave fue realizado en un estanque de 2 litro de capacidad, con cuatro deflectores de 1,2 cm de ancho; 0,3 cm de espesor y 15 cm de largo.

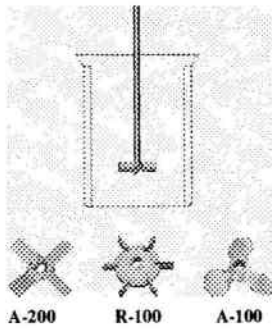


Figura 1. Hélices usadas en el acondicionamiento

El estanque y las hélices usadas en este estudio a escala de laboratorio son mostradas en la figura 1, dos hélices son de flujo axial (A-100 y A-200) y una de flujo radial (R-100).

La energía transferida por el motor del agitador a la pulpa fue variada por el control del tiempo de acondicionamiento, con una velocidad constante del motor de 1400 rpm y medida mediante un amperímetro y un voltímetro en el motor.

Una vez acondicionada con un 20% de sólido en peso, la pulpa fue flotada en una celda Minemet de 2,3 litros de capacidad. El tiempo total de flotación fue de 10 minutos, con adiciones parciales de agua a la celda para mantener constante el nivel en esta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla III presenta las leyes de cobre y oro acumulada obtenidos al variar la energía que se transfiere a la pulpa para las tres hélices estudiadas. La tabla muestra que el acondicionamiento en alta intensidad aumenta la ley del concentrado para las hélices A - 100 y A - 200 en todo el intervalo de energía estudiado.

Tabla III. Análisis químico de los concentrados obtenidos

Energía Kwhm ⁻³	Ley de cobre (%)			Ley de oro (g/t)		
	A-200	A-100	R-100	A-200	A-100	R-100
0	1,00	1,00	1,00	0,9	0,9	0,9
0,5	1,10	1,10	1,10	1,2	1,0	1,0
1,0	1,10	1,10	0,98	1,2	1,3	1,1
1,5	1,10	1,10	1,00	1,5	1,2	1,0
2,0	1,30	1,10	1,10	1,7	1,2	1,0
2,5	1,20	1,20	1,10	1,3	1,5	1,1
3,0	1,10	1,20	1,10	1,1	1,3	1,1
3,5	1,00	1,10	1,00	1,3	1,1	1,0
4,0	1,00	1,1	1,10	1,2	1,2	1,1

La ley de oro y cobre no es afectada, cuando fue usada la hélice R - 100 en la etapa de acondicionamiento. Los resultados muestran que las hélices de flujo axial permiten obtener las mejores leyes, pero con la hélice A-200 se requiere transferir una menor energía a la pulpa.

En la tabla IV muestra los resultados de recuperaciones de cobre y oro obtenidos con las diferentes hélices para los diferentes valores de energía transferidos a la pulpa. Las recuperaciones de oro y cobre presentan aumentos significativos, siendo los mayores para cobre (12,7) cuando es transferida una energía de 2,0 kWh/m³ de pulpa con la hélice A-200; y para el oro 16,5% de recuperación. Recuperaciones de cobre y oro menores se obtienen con transferencia de energía mayor con la hélice A-100. Esta recuperación puede ser explicada por una mayor agregación de las partículas finas de cobre y oro a las medias contenidas en el relave.

Como el objetivo es obtener un concentrado con la mayor ley de cobre y oro entonces la mayor ley de cobre fue 1,3% y de oro 1,7 g/t con una recuperación de 12,7 de cobre y 16,5% para oro, cuando la energía transferida a la pulpa fue de 2,0 kWh/m³.

Estos resultados indican el efecto positivo del acondicionamiento en alta intensidad sobre la performance del proceso de flotación.

De la misma forma que se debe exceder una transferencia mínima de energía, para que ocurra la agregación hidrofóbica selectiva de las fracciones granulométricas finas. Con un aumento mayor de energía, los agregados comenzaran a ser destruidos por la fuerza de cizalle haciendo disminuir la recuperación y la ley del concentrado.

Tabla IV. Recuperación de cobre y oro del relave

Energía Kwhm ⁻³	Recuperación de cobre (%)			Recuperación de oro (%)		
	A-200	A-100	R-100	A-200	A-100	R-100
0	8,7	8,7	8,7	8,1	8,1	8,1
0,5	10,5	8,9	7,4	10,7	9,2	8,6
1,0	8,8	8,7	6,9	10,7	11,2	7,8
1,5	8,8	9,0	7,4	13,0	10,7	7,8
2,0	12,7	9,6	7,2	16,5	10,1	7,4
2,5	10,7	10,6	6,7	11,9	14,7	8,4
3,0	10,3	8,5	6,8	11,3	12,3	8,6
3,5	9,5	8,6	6,5	11,1	10,8	8,3
4,0	9,7	8,6	6,3	10,1	10,7	8,6

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten establecer las siguientes conclusiones:

- El acondicionamiento en alta intensidad como pre - tratamiento de la pulpa previo a la flotación, aumenta la recuperación y la ley de cobre y oro en el concentrado. Los mejores resultados obtenidos muestran aumentos de recuperación de 16,5% y ley 1,7 g/t para oro y una recuperación de 12,7% y ley de 1,3% de cobre con la hélice de cuatro alas (A-200).
- Los resultados obtenidos son explicados por el aumento en la recuperación de partículas finas y ultrafinas, como resultado de un proceso de agregación hidrofóbica, seguido por un fenómeno de flotación transportadora o autotransportadora, debido al aumento de la energía transferida por la hélice a la pulpa.
- El acondicionamiento en alta intensidad produce la limpieza de la superficie de las partículas y permite que los colectores reaccionen más rápidamente, aumentando significativamente la cinética de flotación.

REFERENCIAS

- Brum, I. A.; Valderrama, L.; Rubio, J. Condicionamiento turbulento para recuperação de finos de minérios por flotação. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 16., 1995, Rio de Janeiro, Anais... v. 1, p. 367, 1995.
- Bulatovic, S. M.; Salter, R. S. High intensity conditioning: a new approach to improve flotation of mineral slimes. In: Conference of Metallurgists, Halifax, Canada, Proceedings... p. 182, 1989.
- Collins, D. N.; Read, A. D. The treatment of slimes. Mineral Science and Engineering, Randburg – South Africa, v. 3, p. 19, 1971.
- Davis, B. E.; Hood G. D. Conditioning parameter effects on the recovery of coarse phosphate. Minerals and Metallurgical Processing, v. 11, 1, p. 50, 1994.
- Engel, M. D.; Middlebrook, P. D.; Jameson, G. J. Advances in the study of high intensity conditioning as a means of improving mineral flotation performance, Minerals Engineering, Pergamon v. 10, p. 55, 1997.
- Estado del medio ambiente en Chile, Informe país 1998, Universidad de Chile, mayo 2000.
- Fallenius, K. Turbulence in flotation cells. International Journal of Minerals Processing. v. 21, nº1/2. p. 1, 1987.
- Koh, P. T. L. Comportamental modeling of stirred tank for flocculation requiring a minimum critical shear rate. Chemical Engineer science, London, v. 39, p. 1759, 1984.
- Oldshue, J. Y. The role if mixing in beneficiation of mineral fines. In: Beneficiation of Minerals Fines: Problems e Research Needs. Nat. Sci. Found. Workshop Rep., P. Somasundaran and N. Arbirer (Ed.), Chapter 16, p. 201, 1978.
- Oldshue, J. Y.; Herbst, N. R. A guide to fluid mixing, Mixing Equipment Company, Rochester, N. Y., U.S.A., p. 161, 1990.
- Rubio, J.; Brum, I. The conditioning effect on the flotation of copper/molly minerla particles. Anais do IV Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology, Concepción-Chile, S. Castro e J. Álvarez, (Eds), v. 2, p. 295, 1994.
- Thring, R.W. Edwards, M.F. An experimental investigation into the complete suspension of floating solids in an agitated tank. Ind. Eng. Chem. Res., v 29, (3/4), 1990.
- Sivamoham, R. The problem of recovering very fine particles in mineral processing – A review. International Journal of Mineral Processing,, v. 28, (3/4), p. 247, 1990.
- Small, G. L.; Grano, s. R.; Ralston, J.; Johnson, N. W. Methods to increase fine minerl recovery in the Mount Isa mines Lead/zinc concentrator, Minerals Engineering, Pergamon, v. 10, (1) p. 1, 1997.
- Stassen, F. J. N. Conditioning in the flotation of gold uranium oxide and pyrite. J. S. Afr. Inst. Min. Metall., v. 91, (5), p. 169, 1991.
- Subrahmanyam, T.V.Fossberg, E.S. Fine particle processing: Shear flocculation and carrier flotation – A review. International Journal of Mineral Processing, Amsterdam, v.30 ,p 265, 1990.
- Tomi, D. T.; Bagster, D. F. The behaviour of aggregates in stirred vessels. Transactions Institute Chemical Engineering. v. 56, p. 1-18, 1978.

Trahar, W. J. A rational interpretation of role of particle size in flotation. *International Journal of Mineral Processing*, v.8, (4), p. 289, 1981.

Valderrama. L; Rubio, J. High intensity conditioning and carrier flotation of gold mineral particles. *International Journal of Mineral Processing*, v. 52, (4), p 273, 1997.