

# EFFECTO DEL ACONDICIONAMIENTO TURBULENTO EN LA RECUPERACIÓN DE PARTÍCULAS FINAS DE SÚLFUROS Y ÓXIDOS DE COBRE

Valderrama, L. (1); Espoz, C. (2); J.C. Bolivar

(1) Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas–UDA. [ivalderr@gea.idictec.uda.cl](mailto:ivalderr@gea.idictec.uda.cl)

(2) Departamento de Metalurgia – Facultad de Ingeniería – Universidad de Atacama

(3) Magíster en Ingeniería Metalúrgica – Facultad de ingeniería – Universidad de Atacama

## RESUMEN

El presente trabajo, muestra el aumento de la flotabilidad de partículas finas de sulfuros y óxidos de cobre, por efecto de la energía transferida a la pulpa, durante la etapa de acondicionamiento en alta intensidad. Los intervalos granulométricos de menor flotabilidad encontrados, fueron acondicionados en alta intensidad, previo a la flotación, transfiriendo energía a la pulpa, usando dos tipos de impeler: una hélice de tres aspas y una tipo turbina. Los resultados obtenidos, muestran un aumento en la flotabilidad para los minerales estudiados, dependiendo de la energía transferida en el acondicionamiento, tipo de agitación y dosificación del colector. Dichos incrementos se verifican en distintas magnitudes, según las condiciones de operación, que varían desde un 40% hasta valores que alcanzan el 80% de incremento en flotabilidad. Para bajos grados de energía transferida en el acondicionamiento, las partículas finas se agregan entre sí, incrementando su flotabilidad.

**Palabras claves:** Covelina, antlerita, flotación, acondicionamiento en alta intensidad.

**Área Temática:** Métodos Físicos de Concentración de Minerales.

## INTRODUCCIÓN

La baja recuperación de partículas finas por flotación, provoca la pérdida de cantidades significativas de molibdeno, fosfatos, cobre, tungsteno, estaño, hierro, por efecto de la granulometría fina (Rubio, 2000). El problema de recuperación de las fracciones finas y ultra finas, han sido analizadas en extenso por diversos autores quienes han descritos las dificultades existentes con relación a la flotación. La flotación convencional de estas fracciones son ineficientes por la alta turbulencia de estas celdas y la baja probabilidad de colisión y adhesión partícula - burbuja.

La presencia de ultra finos es siempre problemática, y la mejor solución sigue siendo el no producirlas. Diversas alternativas de procesamientos se presentan para las partículas de menor tamaño; uso de colector que se adsorba químicamente, con el fin de minimizar el problema de una adsorción no específica; ultra flotación; flotación en columna; extracción líquido- líquido; electro flotación; flotación por aire disuelto; floculación selectiva, etc. En los procesos basados en la agregación de las partículas tenemos la flotación por cizallamiento ("shear flocculation"), la flotación transportadora y autotransportadora ("carrier flotation" y "autogeneous carrier flotation"), y una técnica que consiste en someter una suspensión de partículas minerales tornadas hidrofóbicas, a través de la adición de reactivos surfactantes y de una intensa agitación ("high intensity conditioning"), produciendo agregados grandes y consistentes (Koh y Warren, 1979), (Chia Somasundaran, 1983), (Rubio y Hoberg, 1993), (Hu et al., 1988) .

En el acondicionamiento en alta intensidad se debe exceder una transferencia mínima de energía, sobre un adecuado tiempo, para que ocurra la agregación selectiva inducida por fracciones de tamaño finas. Solamente una extensión de tiempo de acondicionamiento no es suficiente para alcanzar la agregación. El límite mínimo de transferencia de energía, depende de las propiedades superficiales de las partículas finas, los reactivos utilizados y la hidrodinámica del sistema (velocidad de agitación, número de deflectores, geometría de las hélices impulsoras, etc.).

Con diferentes minerales (Subrahmanyam et al. 1989) y (Raju et al. 1991), indicaron que la recuperación de partículas menores que 5  $\mu\text{m}$  es más intensa en el intervalo de 20 x 38  $\mu\text{m}$ , por el fenómeno de recubrimiento de finos sobre estas partículas gruesas, y que los agregados formados sufrían ruptura para períodos prolongados de agitación. Este fenómeno es explicado por la falta de área superficial para la adherencia de finos, y por otro lado, las colisiones de partículas recubiertas de finos, provocan el desprendimiento de éstos.

Varios autores (Bulatovic y Salter, 1989), (Stassen, 1991), (Rubio y Brum, 1994), (Valderrama y Rubio, 1997), postulan que la energía transferida en la etapa de acondicionamiento, tiene un efecto significativo sobre la recuperación, la ley y cinética de flotación. El acondicionamiento en alta intensidad (AAI), mejora el rendimiento de la flotación de partículas finas de sulfuros de cobre, plomo y zinc, sulfuros de cobre, molibdeno y oro. El aumento de la flotabilidad de las partículas finas depende grandemente de la naturaleza del mineral y de la energía entregada por unidad de volumen en la pulpa tratada.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El mineral con un tamaño de 100% -4", fue concentrado en forma manual, eliminando la mayor parte de la ganga. Posteriormente fue reducido de tamaño a 100% -30 mallas. A este material se le realizó una concentración en forma manual usando un microscopio, luego una concentración mediante líquido denso

(bromoformo, densidad 2,86 gr/cm<sup>3</sup>). Enseguida, fue reducida de tamaño a 100% -75µm. De esta muestra fueron extraídas fracciones para realizar análisis mineralógicos, peso específico real y análisis de cobre. La muestra fue clasificada por tamaño en los intervalos tamaños -75+53 µm; -53+45 µm; -45+38 µm; -38+25 µm; -25+20 µm y -20 µm. El análisis mineralógico y químicos indicó que el óxido de cobre, era una antlerita con una pureza de 98,8% y un sulfuro de cobre era covelina con una pureza de 96,6%.

Los colectores usados en las pruebas de flotación, fueron amil xantato de potasio e hidroxamato de potasio en una dosificación de  $1 \times 10^{-3}$  M y  $2 \times 10^{-4}$  M y como regulador de pH fue usado hidróxido de sodio y ácido clorhídrico.

Las pruebas de flotación, fueron realizadas en un tubo Hallimond, de 250 cm<sup>3</sup> de volumen. Fue utilizado 1 gramo de mineral en 250 cm<sup>3</sup> de solución, la cual fue acondicionada por 5 minutos al pH deseado. La suspensión acondicionada, fue transferida al tubo Hallimond, donde fue flotada con un flujo de aire constante de 60 cm<sup>3</sup> de nitrógeno. Después de 1 minuto de flotación, las fracciones flotadas y sedimentadas fueron removidas, secadas y pesadas para la determinación de la recuperación de la prueba.

En la etapa de acondicionamiento en alta intensidad, fueron usados dos tipos de impeler, una hélice tipo propeller de tres aspas (A – 100) y la otra tipo turbina (A – 200).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

La figura 1 muestra la flotabilidad de la covelina con amil xantato de potasio, para una concentración,  $1 \times 10^{-3}$  M, para los tamaños -75+53 µm; -53+45 µm; -45+38 µm; -38+25 µm; -25+20 µm y -20 µm en todo el rango de pH estudiado. Se observa un valor máximo de flotabilidad para las fracciones granulométricas -75+53; -53+45; -45+38 y -38+25 µm sobre 90,0 % en promedio entre los pH 6 a 10, y ésta decrece notoriamente en los extremos de la escala de pH. La misma figura, muestra que la flotabilidad de la covelina para las fracciones granulométrica -25+20 µm y -20 µm, decrece notoriamente en todo la escala de pH estudiado. Esta disminución de la flotabilidad, se hace mucho más notoria para la granulometría – 20 µm, llegando a pH 12 a un valor de 17,9 %, y a pH 2 de 9,1 %.

La figura 2, muestra el comportamiento de la antlerita para una concentración de amil xantato de potasio de  $1 \times 10^{-3}$  M. Se observa que las mayores flotabilidades se alcanzan a pH 6 con valores de 96,4 % a pH 8 y de 95,5 % a pH 10, para los tamaños -75+53 µm; -53+45 µm y -45+38 µm; disminuyendo su flotabilidad a 5,1% para pH 2 y 66,7% para pH 12. Para las granulometrías -38+25; -25+20 y -20 µm el óxido experimenta una disminución bastante notoria en su flotabilidad para todo el rango de pH, alcanzando valores máximos a pH 4 de 72,4% para el tamaño -38+25µm; de 40,1% para -25+20 µm y de 5,2% para -20 µm.

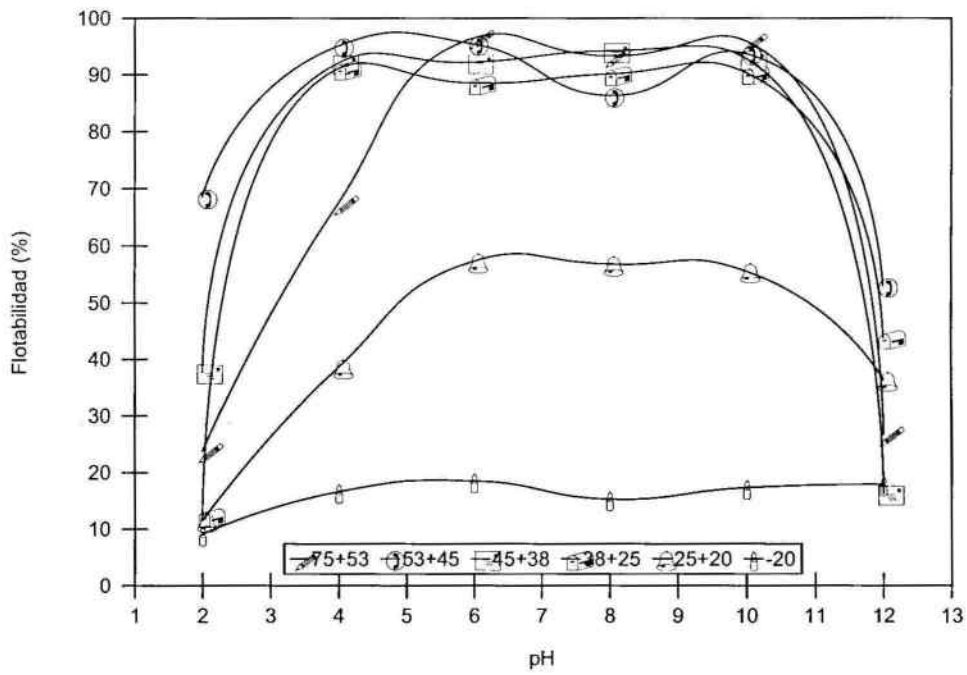


Figura 1. Flotabilidad de la covelina con amil xantato para los diferentes granulometrías.

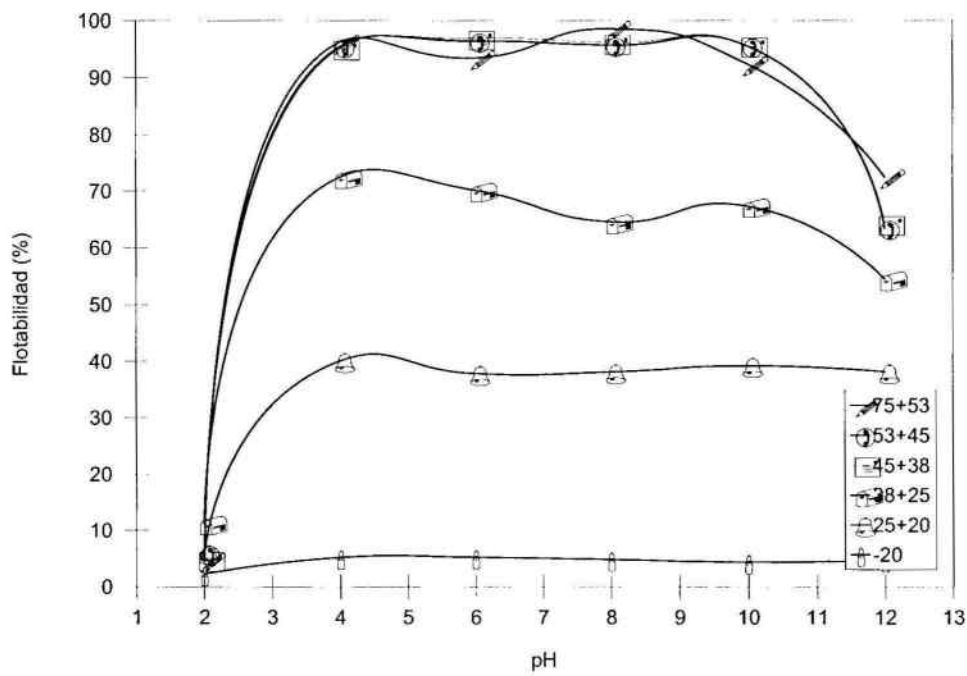


Figura 2. Flotabilidad de la antlerita con amil xantato para los diferentes granulometrías.

La figura 3 y 4, muestran la flotabilidad de la covelina y antlerita con el reactivo hidroxamato de potasio con una concentración  $1 \times 10^{-3}$  M, para las mismas fracciones granulométricas de las figuras anteriores y en el mismo intervalo de pH.

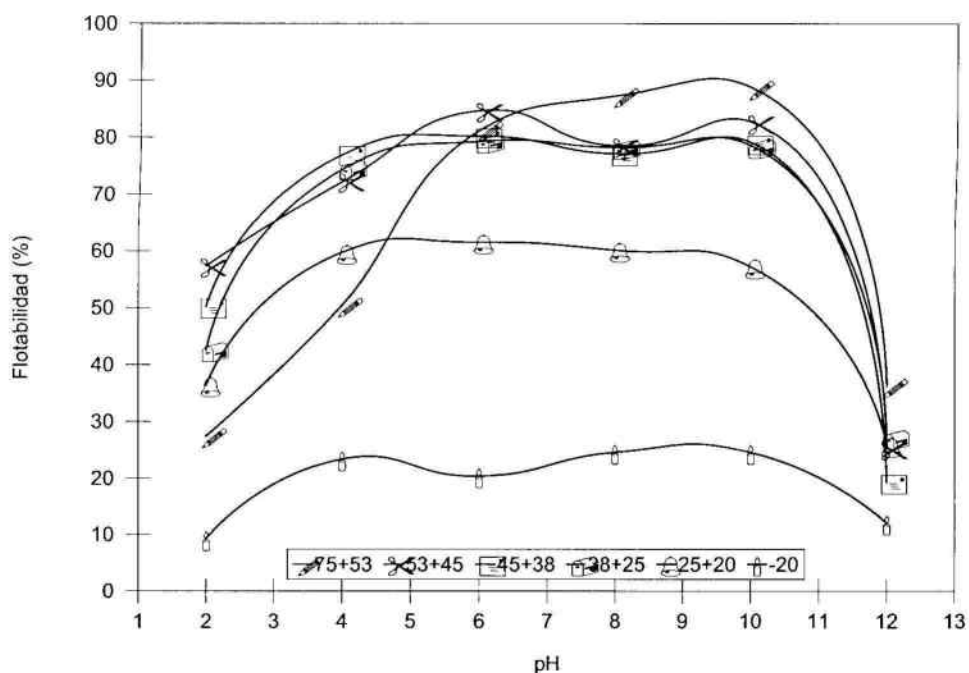


Figura 3. Flotabilidad de la covelina con hidroxamato para las diferentes granulometrías.

La figura 3, muestra que la covelina alcanza su máxima flotabilidad a pH 6 de 81,4% en promedio, para los intervalos de tamaños 75+53  $\mu\text{m}$ ; -53+45  $\mu\text{m}$ ; -45+38  $\mu\text{m}$ ; -38+25  $\mu\text{m}$ . Para las granulometrías -25+20  $\mu\text{m}$  y -20  $\mu\text{m}$  la flotabilidad, decrece a valores de 60,0 % y 23,3% respectivamente entre pH 4 y 12.

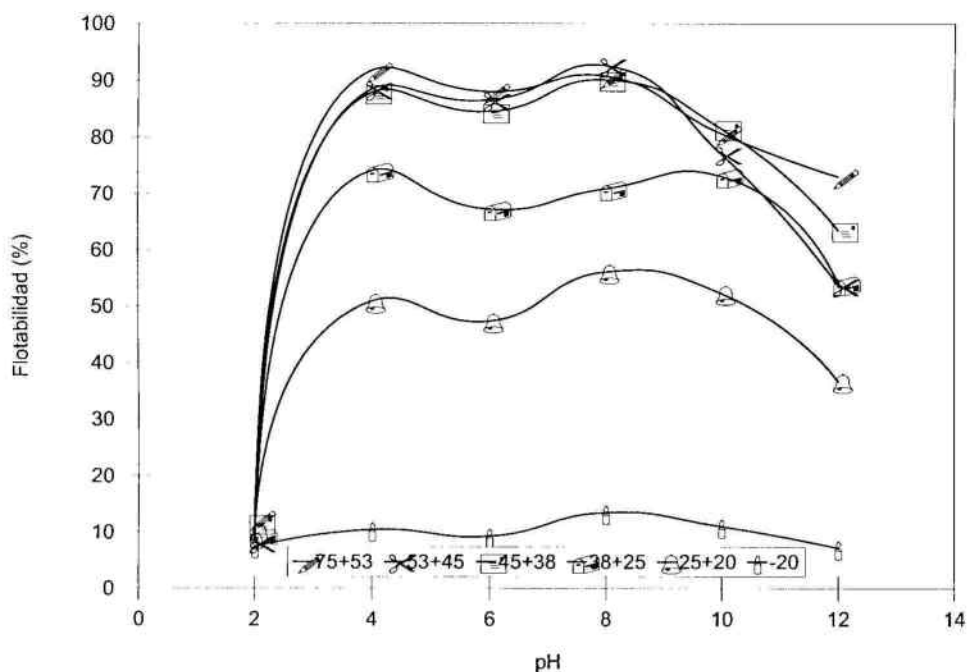


Figura 4. Flotabilidad de la anterita con hidroxamato de potasio para las diferentes granulometrías.

La figura 4, muestra que las mayores flotabilidades de la anterita, se obtienen en los intervalos granulométricos -75+53; -53+45; -45+38 y -38+25  $\mu\text{m}$ . Para las granulometrías -25+20  $\mu\text{m}$  y -20  $\mu\text{m}$ , nuevamente se observa una disminución drástica de la flotabilidad, aunque éstas son mayores a las obtenidas con el colector amil xantato de potasio.

Del análisis de los resultados obtenidos anteriormente, los cuales fueron mostrados en las figuras 1 al 4, se establece que las fracciones de tamaños  $-25+20 \mu\text{m}$  y  $-20 \mu\text{m}$ , son las granulometrías en la cuales se produce una disminución significativa en la flotabilidad de la covelina y antlerita.

La granulometría  $-25+20 \mu\text{m}$ , fue acondicionada en alta intensidad con los dos tipos de impeler. El procedimiento de trabajo fue el mismo usado anteriormente, sin embargo, en ésta se incorporó una etapa de agitación con acondicionamiento en alta intensidad, previo a la flotación.

La figura 5, muestra la variación de la flotabilidad de la covelina y la antlerita, donde se usó una concentración de  $1 \times 10^{-3} \text{ M}$  de amil xantato de potasio, en función de la energía transferida a la pulpa, para el tamaño  $-25+20 \mu\text{m}$ , utilizando el impeler de tres aspas (A-100) para los pH estudiados. El aumento de la flotabilidad de la antlerita se incrementa significativamente cuando es transferida energía en el acondicionamiento. Entre los pH 4 al 12 la flotabilidad se incrementa en promedio en un 100% con respecto a las pruebas sin acondicionamiento en alta intensidad.

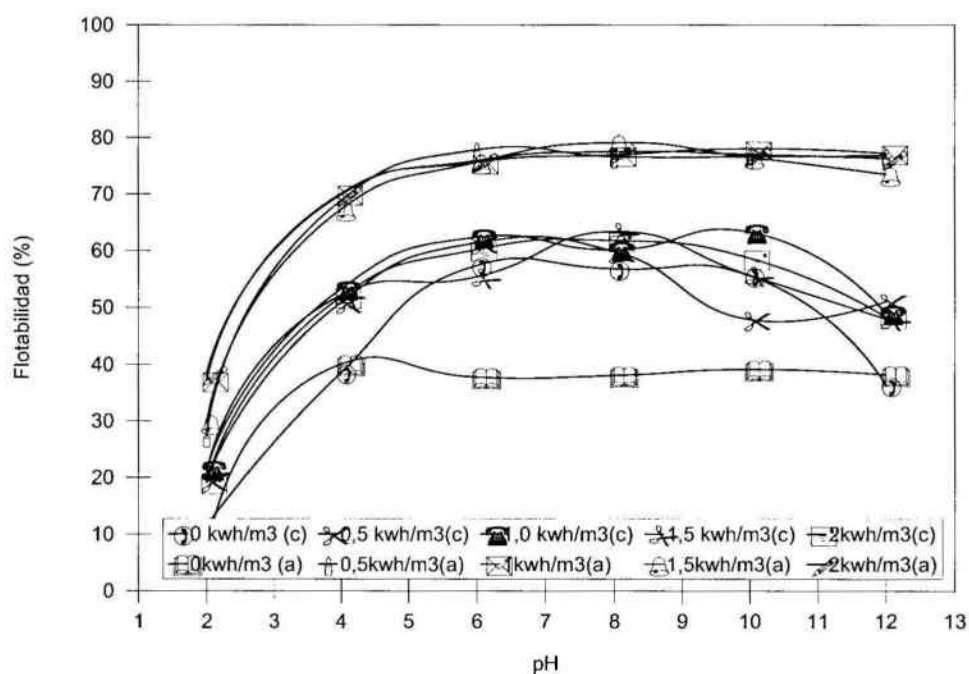


Figura 5. Flotabilidad de la covelina y antlerita con amil xantato de potasio con la hélice A-100.

En la figura 6, se muestra los resultados obtenidos de la flotabilidad de la covelina y antlerita, para las granulometrías  $-25+20 \mu\text{m}$ , para los diferentes valores de energía transferida a la pulpa, en la etapa de acondicionamiento en alta intensidad usando el impeler (A-200).

Haciendo un análisis de estas curvas, es posible notar que la flotabilidad en función de la energía transferida a la pulpa, se incrementa en todo el rango de pH. Para la la covelina, este aumento es de 40%, mientras que para la antlerita, este incremento es de 120%.

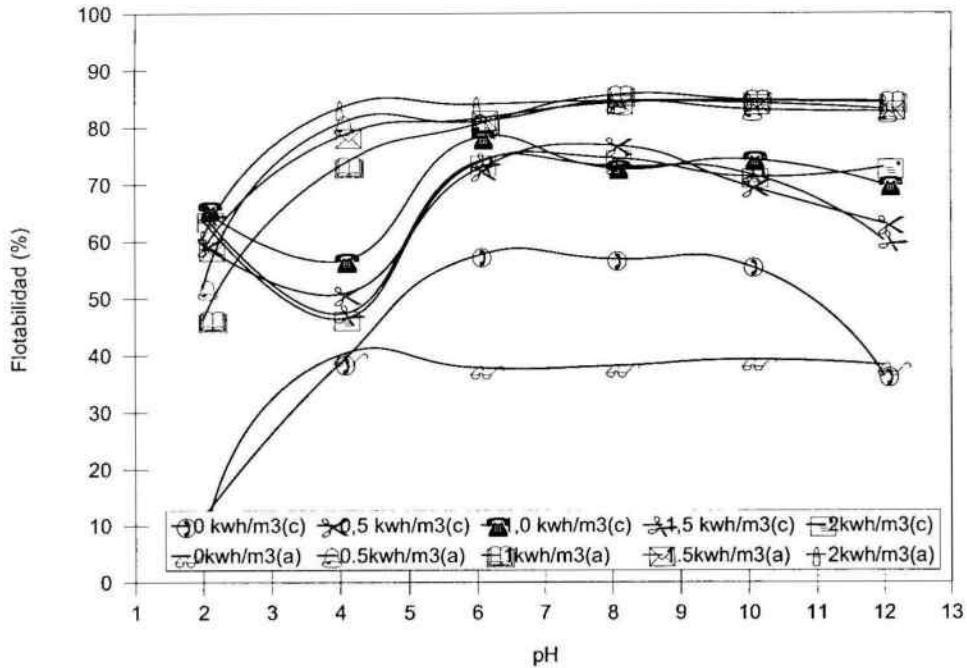


Figura 6. Flotabilidad de la covelina y antlerita con amil xantato de potasio con la hélice A-200.

## CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas para determinar el efecto que produce el acondicionamiento en alta intensidad sobre la flotabilidad de la covelina y antlerita, se puede concluir lo siguiente:

- El acondicionamiento en alta intensidad, previo a la flotación, aumenta la flotabilidad de la covelina y antlerita en los intervalos de tamaños y en todo el rango de pH estudiado. Para los tamaños -75+53; -53+45; -45+38 y -38+25  $\mu\text{m}$ , las flotabilidad de ambas especies son similares para ambos reactivos, aunque con amil xantato de potasio son mayores.
- Para los tamaños -25+20  $\mu\text{m}$ , la covelina y la antlerita se incrementa grandemente con acondicionamiento en alta intensidad para los dos tipos de hélice, la (A - 100) y la (A - 200). Este aumento en la flotabilidad ocurriría porque el acondicionamiento en alta intensidad produciría el agregado de las partículas, aumentando la adhesión partícula burbuja.

## BIBLIOGRAFIA

- BULATOVIC, S.M. y SALTER, R.S. High intensity conditioning: a new approach to improve flotation of mineral slimes. Conference of Metallurgists, Halifax, Canada, Processing of Complex ore, p. 182-197, 1989.
- CHIA, Y.H. Y SOMASUNDARAM, P. A. Theoretical Approach to flocculation in carrier flotation for beneficiation of clay. Colloids and Surfaces, 8, 187-202, 1983.
- HU, W.B., WANG, D.Z. y QU, G.Z, Autogeneous carrier flotation. In K.S. FORSSBERG (Ed). Proc. XVI Int. Min. Process. Cong., Elsevier, Amsterdam, Part A:445-459-1988.
- KOH, P.T.L. y WARREN, L.J. Flotation of an ultrafine Sheelite ore and the effect of shear.-flocculation. 13 th Proc. Int. Min. Process. Warsaw, 263-293, 1979.
- RAJU, G.B., SUBRAHMANYAN, T.V., SUN, Z. E FORSLING, W. Shear flocculation of quartz. Int. J. Min. Process., 32:283-294, 1991.

- RUBIO, J. Nuevas técnicas de tratamiento de partículas finas. Departamento de Ingenierías en Minas de la Universidad de Chile, 2000.
- RUBIO, J. y BRUM, I. The conditioning effect on the flotation de copper/molly mineral particles. Anais do IV Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology, Concepción-Chile, S. Castro e J. Alvarez, (Eds), V. 2, p. 295-308, 1994.
- RUBIO, J. Y HOBERG, H. The process of separation fine mineral particles by flotation of with hydrophobic polymeric carrier. Int. J. Min. Process., 37, 109-122, 1993.
- STASSEN, F.J.N. Conditioning in the flotation of gold uranium oxide and pyrite. J.s. Afr. Inst. Min. Metall., 91(5):169-174, 1991.
- SUBRAHMANYAN, T.V., SUN, Z., FORSSBERG, K.S.E. e FORSLING, W. Shear flocculation and flotation of galena and synthetic PbS. Int. Symp. Advances in the Fine Particles Processing. Fine Particles Society, Boston, Mass, In J. Hanna and Y.A. Attia (Eds) Advances in Fine Particles Processing. Elsevier, Amsterdam, 269-279, 1998.
- VALDERRAMA, L., Y RUBIO, J. High intensity conditioning and carrier flotation of gold mineral particles. International Journal of Mineral Processing, v.52, N° 4. p. 273 – 285, 1998.