



Efectos de Dispersantes en la Flotación de Molibdenita

L. Valderrama¹; H. Toledo²; L. Gómez³ y M. Berríos³

1. Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Atacama, Chile.
2. Departamento de Metalurgia, Facultad de Ingeniería Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.
3. Superintendencia Ingeniería de Procesos, división El Teniente, Codelco Chile.

E-mail: lvalderrama@uda.cl

Resumen

El presente trabajo está orientado a aumentar la recuperación de molibdenita en la División El Teniente de Codelco Chile, en los materiales ultrafinos, tales como calcopirita y ganga que recubren las partículas de molibdenita. El estudio de caracterización granulométrica, realizada a las etapas más críticas de la planta de molibdenita, mostró que la recuperación de molibdenita en las fracciones menor a 10 μm es del orden de 50 % para la flotación rougher y del orden de 22 % para la segunda limpieza. Para contrarrestar el efecto de las partículas ultrafinas, fueron evaluados diversos dispersantes químicos, de los cuales el silicato de sodio fue el que mostró los resultados más favorables a nivel de laboratorio y en pruebas preliminares realizadas en planta. En las pruebas de laboratorio se obtienen incrementos de recuperación de molibdenita de 2,9 % y en planta muestran aumentos de 8 puntos porcentuales.

Palabras claves: Dispersantes, Molibdenita, Incremento de Recuperación.

Abstract

The present work points to increase the Molybdenite recovery of ultrafine materials such as Chalcopyrite and gangue, which coat the Molybdenite particles at the El Teniente Division of Codelco Chile. The granulometric characterization study that was applied at the most critical periods of the Molybdenite plant showed that the Molybdenite recovery of fractions less than 10 μm is about 50 % for rougher flotation and about 22 % for the re-cleaner. For counteracting the effect of the ultrafine particles, several chemical dispersants were evaluated and the Sodium Silicate showed the best results in laboratory tests and also in preliminary tests, which took place in the plant. An increasing of the Molybdenite recovery of 2.9 % is obtained in the laboratory tests, while an increasing of 8 % is obtained in the plant.

Key Words: Dispersants, Molybdenite, increasing the recovery.

1. Introducción

La molibdenita tiene una estructura unitaria hexagonal, el cual muestra la presencia de capas de coordinación triangular prismática poliédrica; cada átomo de molibdeno está rodeado por un prisma triangular de 6 átomos de sulfuro en los vértices del prisma triangular. Dos tipos de enlaces químicos pueden ser establecidos entre átomos, un enlace covalente entre los átomos de S y Mo y enlaces Van der Waals-London entre capas de S-Mo-S. Por lo cual existen dos tipos de sitios superficiales, por un lado existen sitios creados por ruptura de los enlaces Van der Waals, llamados "caras" y por otra parte se encuentran los sitios por la ruptura de los enlaces S-Mo, denominados "bordes" (Sutulov, 1979).

Cuando la molibdenita corresponde al principal componente mineral, la flotación puede ser conducida solo por el uso de espumación (por ejemplo, con el uso de aceite de pino). Sin embargo, ha sido demostrado que el uso de hidrocarburos, tales como el kerosene, aceite combustible (diesel oil), aceite al vapor, aceite transformado, etc., mejoran considerablemente la selectividad de la flotación con una espumación (CIMM, 1991).

La recuperación de molibdenita de los concentrados de Cu - Mo se realiza por flotación diferencial, usando depresantes específicos. Tales reactivos inhiben la -flotación del cobre y sulfuros de hierro, sin alterar la flotación de la molibdenita; desorbiendo de su superficie el reactivo colector utilizado para su beneficio.

El reactivo de Nokes o LR-744 tiene gran efectividad como depresante de los sulfuros de cobre, porque el complejo tiofosfato actúa como un depósito para los iones sulfuros, el cual sirve para la acción depresora. La otra posibilidad es que el reactivo de Nokes con los tioaniones forme componentes superficiales con el cobre, los cuales tienen buena estabilidad, con un claro comportamiento hidrofílico.

Dentro de los factores que contribuyen a las pérdidas de molibdenita en el proceso de flotación, se encuentra la formación de partículas ultrafinas (bajo 10 μm), producidas ya sea por la presencia desde minerales de la mina con elevados niveles de materiales finos

y sobre todo ultrafinos, además de el excesivo incremento de las partículas ultrafinas producto de las etapas de remolienda previa a los circuitos de limpieza.

En el caso específico de la molibdenita, no se conocen suficientes antecedentes cinéticos. Chander y Fuerstenau (1972), han atribuido el fenómeno de la baja flotabilidad de la molibdenita como partícula fina, a efectos estructurales, debido a un rompimiento preferencial del cristal, a través de los enlaces Mo-S en vez de enlaces tipo van der Waals más débiles. Este efecto que cambiaría las condiciones termodinámicas superficiales de la MoS_2 influiría directamente sobre la adhesión partícula-burbuja.

Antecedentes de plantas provenientes de balances previos (Gómez, 2000 y Rojas, 2000), estiman que entre el 65-75% de las pérdidas que se producen en la planta de molibdeno, provienen de la etapa de flotación rougher, por lo que cualquier mejora que se realice a esta etapa, tendrá un efecto positivo en el comportamiento global de la planta.

Antecedentes bibliográficos (Villalobos, 2000 y Hort, 2001), indican que los ultrafinos de calcopirita son capaces de recubrir las partículas de molibdenita deteriorando su flotación. De las diversas alternativas disponibles en el mercado, algunas plantas de molibdeno (como Coppertone-Utha Copper), han logrado justificar el uso de dispersantes químicos como el silicato de sodio, por ser totalmente alcalino y soluble, además de no presentar niveles importantes de toxicidad, fácil manejo y muy bajo costo en comparación a otros reactivos dispersantes.

2. Procedimiento experimental

Las muestras fueron tomadas cada una hora, durante cinco horas en 24 puntos dentro de la planta de molibdeno, analizándose las muestras por contenido de Cobre y Molibdeno.

El muestreo a la etapa de flotación Rougher de la planta de molibdeno, tiene como objetivo conocer la distribución del molibdeno y cobre, por medio de análisis granulométricos y químicos por malla de la alimentación, concentrado y relave de la etapa rougher. El muestreo de la flotación segunda limpieza en columnas de la planta de molibdeno, tiene como objetivo efectuar una caracterización de la etapa que posee la más

baja recuperación de molibdeno (25-45 %), entre las etapas de flotación en columnas, y conocer la distribución del molibdeno y cobre, a través de análisis granulométricos y análisis químicos por malla de la alimentación, concentrado y relave de la etapa segunda limpieza columnar.

Fueron realizada una serie de experiencias a nivel de laboratorio para la etapa rougher o "circuito A" de la planta de molibdeno, con la finalidad de lograr un aumento en la recuperación de molibdeno, mediante el estudio y evaluación de los reactivos adicionados de manera estándar en planta y conocer el comportamiento de reactivos alternativos.

Por lo tanto la idea es poder mostrar, mediante pruebas de laboratorio y en planta, que el uso de algún dispersante químico como reactivo auxiliar en la planta de molibdeno, tiene la potencialidad de aumentar la recuperación de molibdeno.

El primer grupo de experiencia, tuvo como finalidad hacer un barrido del dispersante, esto es, evaluar la alimentación a planta de molibdeno con las condiciones estándar de flotación y como única condición adicional utilizar Silicato de Sodio 52° Be con dosis variables, como es mostrado en la tabla 1.

Las condiciones experimentales usadas fueron la alimentación a planta de molibdeno, con un porcentaje de sólido a la flotación de 38,5 %, con acondicionamiento previo, tiempo de flotación de 6 minutos en una máquina Wemco de 1.140 rpm. Los reactivos adicionados fueron LR-744 2.500 g/t, Kerosene 150 g/t, carbón activado 200 g/t (adicionados en planta) y Silicato de Sodio 52° Be, en dosis variable y agua industrial de la planta, para ajustar el porcentaje de sólido.

Prueba	Disp. g/t	Acondic. (min)	pH flotación
1	0	1	12,1
2	100	1	12,2
3	200	1	12,2
4	400	1	12,2
5	600	1	12,0
6	200	60	12,0

Tabla 1: Efecto de la dosis de Silicato de Na 52° Be.

El segundo grupo de experiencia, simula la adición del silicato al estanque envejecedor de pulpa, por lo que el tiempo de acondicionamiento, aumenta de 1 minuto a una hora, se probaron distintas variedades de Silicato de Sodio con una dosis de 200 g/t (tabla 2). Por último, se realizaron pruebas preliminares en la planta, para estudiar su comportamiento en flujo continuo.

Test N°	Tipo de dispersante	pH
1	Sin dispersante	12,0
2	Silicato de Na 38° Be	12,1
3	Silicato de Na 42° Be Corr.	12,1
4	Silicato de Na 42° Be Peg.	12,1
5	Silicato de Na 52° Be corriente	12,0

Tabla 2: Condiciones pruebas de flotación (200 g/t).

3. Resultados y Discusión

A continuación se muestran los resultados de las caracterizaciones granulométricas realizadas a las etapas críticas del proceso productivo de la planta de molibdeno (etapa rougher convencional y segunda limpieza columnar), que muestran que el problema de bajas recuperaciones se encuentra principalmente en los rangos ultrafinos para la etapa rougher y en todo rango de tamaño para la segunda limpieza en columnas.

La primera de ellas considerada es la etapa de flotación rougher o "circuito A", por considerarse ésta como el corazón de la planta (65-75 % de las pérdidas de la planta se presentan en esta etapa), ya que las pérdidas de molibdeno que aquí se producen van directamente a la Fundición, por lo que un buen conocimiento y buen control de ésta, tenderá a minimizar las pérdidas en las colas (Toledo, 2003).

En la tabla 3 se presentan los resultados de recuperación de Cobre, Molibdeno y la razón de enriquecimiento de Molibdeno por malla para la etapa rougher, y que pone de

manifiesto de inmediato que el problema de baja recuperación se encuentra en la fracción ultrafina (bajo 8 μm) con solo un 50,95 %.

Por otra parte, se aprecia que la razón de enriquecimiento, es buena para los rangos de tamaño entre 106 μm hasta los 45 μm , con razones que van entre 8 y 13 aproximadamente, pero, para los rangos de tamaño de partículas inferiores, o sea, desde 32 μm hacia abajo, la razón de enriquecimiento de Molibdeno experimenta un notable descenso, con valores del orden de un 2 %.

La depresión de Cobre en la etapa rougher, se ve afectada negativamente a medida que el tamaño de partícula disminuye, bajo la malla 45 μm , la depresión de Cobre comienza a ser inferior a 80 %, siendo solo de un 40,29 % para la fracción ultrafina (bajo 8 μm), probando que existen problemas en la depresión de Cobre para las partículas finas y ultrafinas.

Tam. (μm)	Depr. Cu	Rec. Mo	R (e)
106	56,36	82,13	7,73
75	94,62	91,93	9,28
53	85,97	92,07	7,22
45	80,47	93,86	12,93
32	70,96	96,78	2,25
21	68,28	96,51	2,12
16	67,07	93,75	2,25
11	55,56	91,69	1,92
8	48,66	87,82	1,93
-8	40,29	50,95	2,49
Global	66,82	87,75	2,71

Tabla 3: Caracterización para la etapa rougher moly.

El análisis de la caracterización granulométrica a la etapa segunda limpieza en columnas (tabla 4), indica una mala recuperación de Mo en todo rango de tamaño, tanto grueso como finos y ultrafinos, siendo la recuperación en los rangos de 11 μm hacia abajo (fracción ultrafina), inferiores al 28 %. Además, se aprecia que la razón de enriquecimiento, es deficiente para todos los rangos de tamaños, con razones de enriquecimiento que no superan el valor 2,5 siendo bajo 2 para las partículas sobre 45 μm .

La depresión de cobre resulta ser inversamente proporcional al tamaño de partícula, presentando valores de depresión sobre el 80 % para los rangos finos y ultrafinos.

Tam. (μm)	Depr. Cu	Rec. Mo	R (e)
106	30,6	13,4	1,63
75	61,7	19,6	1,44
53	73,3	44,0	1,43
45	75,6	51,5	1,44
32	82,2	63,5	2,24
21	87,8	54,7	2,16
16	90,3	37,2	2,21
11	91,4	28,8	2,40
8	92,1	26,6	2,36
-8	84,7	22,6	2,18
Global	77,0	36,2	2,16

Tabla 4: Caracterización para la etapa 2^o limpieza.

En las tablas 5 y 6, se muestran los resultados de las pruebas de flotación estándar de laboratorio, al usar distintas dosis del dispersante Silicato de Sodio con una formulación de 52^o Be. En ellas, se observa que para 200 y 400 g/t de dispersante, el incremento de recuperación de Molibdeno 1,3 y 2,3 puntos porcentuales respectivamente, además, la adición de 200 g/t, pero con un acondicionamiento de una hora del dispersante produce el mismo incremento de recuperación de 400 g/t, vale decir 2,2 puntos porcentuales.

Silicat o (g/t)	Concentrado		Recuperación		
	Cu	Mo	Cu	Mo	Incr
0	33,2	2,45	22,5	89,7	Ref.
100	32,6	2,94	18,8	90,8	1,1
200	32,4	2,93	19,2	91,0	1,3
400	32,8	2,70	20,4	92,0	2,3
600	32,3	2,91	19,8	92,4	2,7
200*	34,5	2,59	22,3	91,9	2,2

Tabla 5: Efecto del Silicato de Sodio 52^o Be.

Por otra parte, el uso de distintas formulaciones de Silicato de Sodio disponibles en el mercado, con una dosis de 200 g/t y un tiempo de acondicionamiento de una hora,

simulando una adición en terreno al estanque envejecedor de pulpa, muestran que para las formulaciones de Silicato de Sodio de 38° Be y 52° Be corriente, se obtienen incrementos de aumento de recuperación de Molibdeno, de 2,1 y 2,9 respectivamente.

Todo lo anterior, muestra el efecto favorable de utilizar Silicato de Sodio como dispersante auxiliar en la planta de molibdeno, considerando además, que se trata de un reactivo químico de bajo precio (0,30 US\$ Kg), por lo que una mínima ventaja sería esperable para poder justificar económicamente su utilización.

Tipo (g/t)	Concentrado		Recuperación		
	Cu	Mo	Cu	Mo	Incr.
Sin	30,3	3,9	15,9	90,6	Ref.
38° Be	31,9	2,7	22,5	92,7	2,1
42° Be	32,6	2,6	22,3	92,3	1,7
42° peg	33,0	2,0	20,7	84,8	-5,8
52° Cor	31,3	3,0	19,2	93,5	2,9

Tabla 6: Efecto de diferentes tipos de Silicato de Sodio.

Los resultados obtenidos en la prueba realizada en planta se puede observar que la adición de dispersante sobre un banco del circuito rougher (circuito A), el incremento de recuperación de Molibdeno es de 9,98 % y 13,49 % para el porcentaje de recuperación de Molibdeno calculado en función del flujo másico y de las leyes globales respectivamente, con una diferencia de 2,31 y -1,2% en los índices que para este caso fue establecido como indicativo del error experimental asociado, el cual es bajo y, por lo tanto, estas dos pruebas permiten inferir que el uso de dispersantes tiene una buena posibilidad de lograr un aumento de recuperación de Molibdeno. Para validar esta prueba, el parámetro usado para conocer el error experimental asociado a factores externos como el humano y la inestabilidad en los flujos que actualmente presenta la planta, será observar las diferencias que existe al calcular el porcentaje de recuperación de Molibdeno.

Los resultados anteriores, ameritaron seguir evaluando su potencial, adicionando el dispersante por un período mas prolongado, en toda la etapa rougher y adicionándolo en el estanque envejecedor de pulpa, para asegurar un mejor acondicionamiento del dispersante.

Los resultados de las pruebas con silicato de sodio 38° Be, realizadas durante 8 días en planta, indican que podría esperarse un aumento en el porcentaje de recuperación de Mo de 7.7 ± 7.5 puntos porcentuales con un nivel de confianza del 89 %, resultados que se suman a las tendencias favorables que muestran las pruebas de laboratorio y de planta ya realizados, y que confirman las posibilidades de lograr un aumento de recuperación de Molibdeno, mediante la adición de un dispersante químico como reactivo auxiliar en la planta de molibdeno, que para este caso sería el silicato de Sodio.

Todas las pruebas anteriores de carácter preliminares realizadas, indican que se hace necesario seguir evaluando el potencial técnico-económico que el silicato de sodio puede tener en la planta en períodos de adición *mas* prolongados aún, y una vez que las condiciones de estabilidad de flujos mejoren en la planta y asegurando un acondicionamiento en el estanque envejecedor de pulpa, considerando además una formulación diferente, que de acuerdo a los resultados del laboratorio, podría ser el silicato de sodio 52° Be corriente.

4. Conclusiones

La recuperación de molibdeno en la etapa rougher es de solo un 50 % para la fracción ultrafina (bajo los 10 micrómetros), la razón de enriquecimiento de molibdeno cae de 8-10 a solo 2 bajo los 45 μm y la depresión de cobre disminuye a medida que el tamaño de partículas es menor. En la segunda limpieza en columnas: la recuperación de molibdeno es baja en todo rango de tamaño de partículas, la razón de enriquecimiento de molibdeno varía desde 1,5 a 2,5 bajo los 45 μm y la depresión de cobre aumenta a medida que disminuye el tamaño de partículas.

Las pruebas de laboratorio, indican que el silicato de sodio en sus formulaciones 52^o Be, corriente y 38^o Be., son los que presentan el mejor incremento de recuperación de molibdeno, con +2,91% y +2,06% respectivamente. Las pruebas en la etapa rougher de la planta con el dispersante silicato de sodio 38^o Be, en un período de varios días la recuperación de molibdeno aumenta 7,7 ± 7,5 puntos porcentuales, el nivel de confianza fue de 89 %.

Estos resultados indican que es posible aumentar la recuperación de molibdeno, mediante la adición de dispersantes químicos, por lo que sería importante seguir evaluando su potencial técnico-económico por períodos más prolongados de tiempo usando la formulación de silicato de sodio 52^o Be.

5. Bibliografía

Chander S. and Fuersternau D.W. (1972). On the Natural Flotability of Molybdenite, Trans. Vol. 252, 62.

CIMM. (1991). Taller Técnico Flotabilidad de la Molibdenita, Volumen II, Anexo B, Santiago de Chile.

Gómez, L. (2000). Ampliación y modernización planta flotación selectiva, Respaldos técnicos para diseño básico, julio. Anexos, balances de planta.

Horn, P. (2001). Estudio sobre Flotación Selectiva de Cu/Mo de El Teniente y Optimización de Parámetros Relevantes. Tesis de Grado P.U.C.

Rojas, V. (2000). Optimización de la flotación columnar del molibdeno de la División El teniente de Codelco Chile, Trabajo de Titulación, Universidad de Atacama.

Sutulov, S. (1979). Flotation of Molibdenite, Internacional Molibdenite Encyclopedia, volume II, Processing and Metallurgy, Santiago de Chile.

Toledo, H. (2003). Estudio para mejorar la recuperación de Molibdeno en la planta de Molibdenita Codelco Chile-División El Teniente. Trabajo de Titulación, Universidad de Atacama.

Villalobos, J. (2000). Flotación de Molibdeno en El Teniente, Programa de Desarrollo del Negocio Codelco-Chile.