

## Tratamiento y Beneficio de un mineral sulfurado de Cu-Mo

### Treatment and benefit of a Cu-Mo sulfide ore



Freddy Rodríguez <sup>1</sup>, Christian Escobar <sup>2</sup>,  Norman Toro <sup>3</sup> <https://eqrcode.co/a/WUAL6c>

**RESUMEN:** En el presente informe se ha trabajado con mineral de 60,12 kg totales -10 #Ty. En donde se hicieron variadas pruebas con el fin de caracterizar y evaluar el mineral a trabajar en función del beneficio de cobre. De manera tal que se ha obtenido, a través de una prueba de humedad utilizando un horno de secado, un 0,27% de humedad. Para su densidad, a través 10 mediciones, se obtiene un promedio de 3,06 g/mL considerándose como la densidad real. Se hizo un análisis granulométrico con una masa de 496 g, de manera que se logra un 1258,56  $\mu$ m además de ajustarse con el menor error a los parámetros de Gaudin-Schumann. Y, principalmente, un análisis químico cuyo porcentaje de cobre fue de 1,62% total, hierro de 19,53% y molibdeno de valor 0,02%. Posteriormente, se hicieron pruebas de molienda, tras caracterizar el collar de bolas y el tiempo óptimo de molienda cuyo valor fue de 19 minutos, tras deslamar y obtener un 60% pasante sobre la malla 200. Finalmente se hicieron pruebas de flotación con diferentes colectores, en variaciones de 10 a 30 g/t de dosificación, dejando en evidencia una mejor recuperación para el espumante DF-250 a 30 de dosificación g/t y el colector primario y secundario Hostafлот x-23 y Aero 3477 Promoter respectivamente, alcanzando un valor de 84,72% de modo que con dichos reactivos, se hicieron pruebas de cinética de flotación, logrando escalar de 8,71 minutos de flotación a 17,41 minutos en escala industrial con el modelo cinético de Klimpel. Finalmente, tras varias pruebas, se determinó que la propuesta técnica en vía de flotación representada por un diagrama de flujo con las dimensiones de los principales equipos.

**Palabras clave:** Minerales sulfurados, Calcopirita, molibdenita, depresantes, flotación, parámetros metalúrgicos.

**ABSTRACT:** In this report we have worked with ore of 60.12 kg total -10 #Ty. Where various tests were done in order to characterize and evaluate the mineral to work according to the benefit of copper. In such a way that 0.27% humidity has been obtained through a moisture test using a drying furnace. For its density, through 10 measurements, an average of 3.06 g/mL is obtained considering as the actual density. A granulometric analysis was carried out with a mass of 496 g, so that a 1258.56  $\mu$ m is obtained, in addition to adjusting with the least error to the parameters of Gaudin-Schumann. And, mainly, a chemical analysis whose percentage of copper was 1.62% total, iron of 19.53% and molybdenum of value 0.02%. Subsequently, grinding tests were performed, after characterizing the ball collar and the optimal grinding time of 19 minutes, after skimming and obtaining 60% through the 200 mesh. Finally, flotation tests were performed with different collectors, in variations of 10 to 30 g/t dosage, leaving in evidence a better recovery for the foaming DF-250 to 30 g/t dosage and the primary and secondary collector Hostafлот x-23 and Aero 3477 Promoter respectively, reaching a value of 84.72% so that with these reagents, flotation kinetics tests were performed, achieving a scale of 8.71 minutes of flotation to 17.41 minutes in industrial scale with the kinetic model of Klimpel. Finally, after several tests, it was determined that the technical proposal on float represented by a flowchart with the dimensions of the main equipment.

**Keywords:** Sulfur minerals, Chalcopyrite, Molybdenite, Depressant, Flotation separation, metallurgical parameters.

Recibido: 25/04/2020

Aprobado en su forma original: 03/06/2020

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica y Minas, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Minería y Metalurgia, Universidad Tecnológica de Chile INACAP, Antofagasta, 1267326, Chile.

<sup>3</sup>Faculty of Engineering and Architecture, Universidad Arturo Pratt, Almirante Juan José Latorre 2901, Antofagasta 1244260, Chile.

\*Autor para correspondencia: Norman Toro. E-mail: [ntoro@ucn.cl](mailto:ntoro@ucn.cl)

## INTRODUCCIÓN

En Chile, la minería participa de forma abrupta en la economía nacional. El PIB alcanzó, para el año 2018 al 9,8%, en donde el cobre tuvo su participación de un 8,9%, números que significaron el mismo año una producción total de 5.872 mil toneladas métricas, correspondiente a un 28,3% de la producción mundial. Y, para el molibdeno, con 60.248 toneladas métricas, correspondiente al 28,3% de la producción mundial ([Sernageomin, 2018](#)).

Las bajas de leyes disponibles por yacimiento implican nuevos proyectos de ampliación y aumento de capacidad. En particular, según lo proyectado en los estudios de inversión de la minería en Chile, el cobre tiene una participación total de un 89,9% total de la cartera de inversiones, alcanzándose los US\$ 53.103 millones entre 32 iniciativas ([Cochilco, 2018](#)).

Actualmente, la minería de nuestro país enfrenta el agotamiento de los recursos oxidados de cobre. Según Cochilco, se proyecta que para el 2027 pasarían a ser de un 30,8% a un 12%. Es por lo que la hidrometalurgia se encuentra en un proceso de constante desarrollo, sobre todo considerando un aumento en los procesos de minerales sulfurados de manera convencional por la baja de ley.

Es importante destacar el aumento en la producción de concentrados, proyectándose a un 74,1% hacia el 2029, exportando 2,5 millones de toneladas de cobre fino, en torno a los 9,27 millones de toneladas métricas secas de concentrados a alrededor de 4,6 millones de toneladas de cobre fino hacia el 2029 ([Cochilco, 2017](#)).

En la siguiente revisión basada en una investigación tras pruebas metalúrgicas para el tratamiento de un mineral de sulfuro Cu-Mo, se hace una propuesta para la concentración de minerales, tanto de cobre como molibdeno, a través de una propuesta técnica

## MATERIALES Y MÉTODO

### Mineral sulfurado Cu-Mo

Para el tratamiento del mineral de sulfuro Cu-Mo se utilizó un mineral que fue entregado por el laboratorio del departamento de metalurgia y minas de la Universidad Católica del Norte,

Antofagasta. El mineral en custodia presenta leyes de cobre y hierro total de 1,62% y 19,53% respectivamente; 0,04% como ley de cobre soluble y 0,02 % de molibdeno. Con respecto al análisis mineralógico en la muestra mineral se apreciaron en su mayor composición por calcopirita, pirita, magnética, molibdenita y otros en mucho menor proporción.

### Reactivos

Los reactivos utilizados para las pruebas de flotación fueron los colectores Hostafлот x-23 y Aero 3477 Promoter, el espumante DF- 250 y como regulador o modificador de pH de la pulpa se utilizó cal en lechada.

### Pruebas de Flotación

Las pruebas de flotación se realizaron en una celda convencional Denver, con el uso de un rotor agitador y un sistema de aireación que es alimentado desde el sistema de flujos de aire del departamento y laboratorios de metalurgia de UCN.

### Métodos experimentales

El mineral sulfurado de Cu-Mo tiene una granulometría bajo la malla - # 10 (1,77 mm) Ty y una masa de 61,24 Kg. Este tamaño de mineral permite homogenizar la muestra sin tener etapas previas de chancado, así bastó homogenizar la muestra con un cortador de rifle y posterior cortador giratorio para poder obtener 40 muestras representativas de 1 kilogramo, las cuales son usadas para los siguientes métodos.

### Preparación de muestras para análisis químico y mineralógico

A través de un cortador de Riffle se dividen una muestra de 1 Kg, hasta conseguir 300 g de mineral homogenizado para llevarlo al pulverizador. Se masan 100 g de el material pulverizado y se envía a posterior análisis químico, análogamente se realiza de igual manera para el análisis mineralógico.

### Determinación de Humedad

Para determinar el contenido de agua de la muestra, se lleva una muestra de 1 Kg en base húmeda y se lleva por 24 horas a un horno en un rango de 80 -100°C. Luego del tiempo mencionado se masa la muestra y mediante la ecuación de humedad ([ec. 1](#)) se obtiene el porcentaje de humedad que tiene la muestra.

$$\%Humedad = \frac{Masa\ húmeda - Masa\ seca}{Masa\ húmeda} \times (1)$$

### Determinación de densidad

Para este parámetro se necesita de un picnómetro el cual es un aparato que permite calcular, mediante una serie de pasos, la densidad de un mineral mediante la [ecuación 2](#).

$$Dp = \frac{P2 - P1}{P4 + P2 - P1 - P3} (2)$$

### Molienda

Las pruebas de molienda se llevaron a cabo con una carga que contenía 1 Kg de mineral, 538 ml de agua para obtener la pulpa, cuyo volumen se determinó en base a concentración en peso y densidad del mineral. Se realizaron pruebas de molienda para 10, 15 y 20 minutos para determinar el tiempo necesario para obtener el 60% del mineral bajo la malla #200 Ty.

### Reactivos de flotación

En primer lugar se realizaron pruebas a 3 dosificaciones distintas de espumantes DF - 250 y Aerofroth 70. Una vez escogido el espumante a utilizar según parámetros visuales (colchón de espumas) se procede a hacer las pruebas de forma análoga a la de los espumantes con 3 dosificaciones distintas de colector Hostafлот x-23 (tionocarbamato), Aero 3477 Promoter (ditiofosfato) y SF-632. Se procede a realizar los posteriores análisis químicos para ver los resultados de recuperaciones.

Las condiciones de pruebas de flotación y reactivos se datan en la siguiente [tabla](#).

**Tabla 1.** Condiciones de flotación

Velocidad de agitación	1200 rpm
Flujo de aire	4-6 lpm
ph	10,5
Acondicionamiento	1,5 min
Tiempo	10 min
Paletado	c/10 s

### Cinética de Flotación

Tras probar los reactivos y según su recuperación, se procede a hacer una cinética de flotación, la cual permitirá obtener el tiempo óptimo de residencia de la pulpa en la celda. De

esta forma, la flotación se realiza con 30 g/T de colector primario Aero 3477 Promoter, 30 g/T de colector secundario Hostafлот x-23 y 30 g/T de espumante DF-250.

Para efectuar la cinética, se flota por un periodo más largo, de 32 minutos y se retiran las bandejas con concentrados a los tiempos 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24 y 32 minutos, lo cuales luego son filtrados, secados y enviados a análisis químico. De este último, se obtienen las leyes de cobre parciales por tiempo, que permiten probar los modelos cinéticos para tener un perfil de la recuperación en el tiempo y luego utilizar los criterios de Agar obteniendo así, el tiempo de flotación apropiado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de humedad

En la [tabla 2](#) se encuentran los resultados obtenidos de la prueba de humedad, después de las 24 horas de secado a 100°C.

**Tabla 2.** Humedad del mineral

Masa húmeda (g)	200
Masa seca (g)	199,46
Masa de agua (g)	0,54
Porcentaje de humedad (%)	0,27

Saber la humedad del mineral permite, por una parte, establecer una planificación de las pruebas posteriores de molienda y flotación, en las cuales se puede saber la cantidad de agua a utilizar en el proceso. Por otro lado, obtener una cantidad de humedad puede dar una propiedad de la mineralogía, de modo que podría tratarse de la presencia de arcillas, las cuales, además de traer cierta complejidad a los posteriores procesos, tienen una atracción natural a las moléculas de agua, absorbiendo y aumentando el porcentaje de humedad ([García, E., s.f.](#)). Por otro lado, se sabe que gran parte de las arcillas se encuentran en minerales oxidados, específicamente se pueden hallar en una mayor cantidad con la crisocola  $Cu_2H_2Si_2O_5(OH)_4$ . ([Rojas, F., 2010](#)). Al tener una humedad del 0,27%, lo cual puede ser muy poco probable encontrar una abundancia en mineral arcilloso.

**Tabla 3.** Análisis granulométrico (Fuente: Elaboración propia)

Malla	Abertura (µm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	F(X) G-S
# 10	2000	4,0	0,80	0,80	99,20	103,01
# 20	850	147,7	29,78	30,58	69,42	67,68
# 30	600	59,1	11,92	42,50	57,50	57,04
# 40	425	41,0	8,26	50,76	49,24	48,16
# 50	300	41,9	8,44	59,20	40,80	40,59
# 70	212	34,0	6,85	66,05	33,95	34,23
#100	150	23,2	4,67	70,73	29,28	28,88
#140	106	24,4	4,93	75,65	24,35	24,36
#200	75	21,6	4,35	80,00	20,00	20,55
#200	0	99,2	20,00	100,00	0,00	0,00
<b>Masa total</b>		496	100,00	<b>F 80</b>	1258,56 µm	

### Densidad del mineral

De un total de 10 pruebas de picnometría hechas, se hicieron los análisis para poder establecer el valor de la densidad del mineral. Es importante destacar que en las pruebas no se logró establecer una moda, de tal forma que se hizo un breve análisis. Dentro de un mínimo de 3,00 g/mL a un máximo de 3,13 g/mL se considera una mediana de 3,08 g/mL, sin embargo, al tener gran parte de los datos dentro de un rango similar tal como se detalla en el anexo, tabla 28, se decide tomar el valor de la media, de 3,06 g/mL, la cual se mantiene como el valor a utilizar en los procesos posteriores.

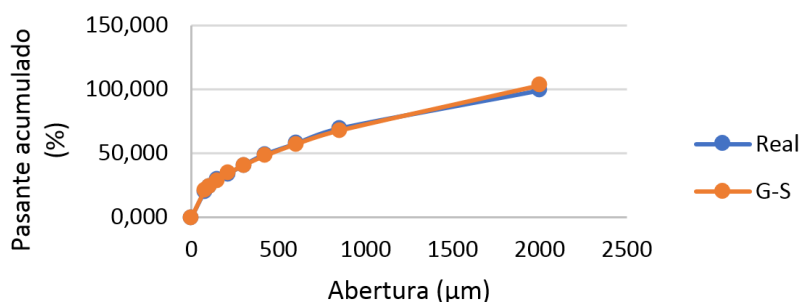
### Análisis Granulométrico

Como se ha mencionado en la teoría, realizar una caracterización granulométrica del material a tratar resulta fundamental para determinar los procesos posteriores a aplicar en beneficio del mineral. De esta forma, se realizó un análisis

granulométrico de cabeza, ingresando una muestra representativa de 500 gramos al RO-TAP por un tiempo de 12 minutos.

Al contrastar los resultados obtenidos con la teoría planteada por [Cárcamo \(2003\)](#), se establece que el mineral a tratar tiene un tamaño de grano medio y que posiblemente un porcentaje de este tenga granulometría fina (menores a 75 µm). Además, el F80 obtenido indica que el 80% del material particulado tiene una granulometría inferior a 1258,56 µm, lo que corrobora que es necesario realizar un proceso de conminución adicional, específicamente molienda, para lograr que el diámetro de grano disminuya a valores inferiores a 75 µm y así, el mineral se encuentre en un tamaño adecuado para ingresar al proceso de flotación.

Al observar el [Gráfico](#), que muestra la relación entre la cantidad de mineral pasante en porcentaje y el tamaño de partícula correspondiente, se corrobora lo descrito en el párrafo anterior, ya



(Elaboración propia)

**Gráfico 1.** Pasante Acumulado (%) vs Abertura (µm).

que establece de manera visual que la totalidad del mineral tiene un tamaño inferior a 2000  $\mu\text{m}$ . También, permite aseverar que la función que mejor se ajusta a la distribución de tamaño obtenida es la de Gaudin-Schumann, lo que guarda estricta relación con la teoría que plantea que esta función se usa comúnmente para partículas más finas.

### Tiempo Molienda

En la [Tabla 4](#) se observa que, para un tiempo de 15, 20 y 25 minutos se obtiene un pasante -200#Ty de 54,36%, 65,14% y 75,02%, respectivamente. Los resultados guardan relación con la teoría que indica que mientras mayor es el tiempo de molienda, más conminuido queda el material alimentado al proceso, debido a esto el porcentaje pasante se incrementa. ([Concha, 2015](#)).

Así, para encontrar el tiempo exacto en el cual el 60% del mineral tiene una granulometría inferior a #200Ty, se realiza una interpolación simple entre los datos de los tiempos de 15 y 20 minutos. Según lo mostrado en la tabla 5, para alcanzar el tamaño de partícula indicado, el tiempo de molienda corresponde a 17,62 minutos ([Tabla 5](#)).

**Tabla 5.** Interpolación tiempo de molienda efectivo (Fuente: Elaboración propia)

Tiempo (min)	Pasante -200# Ty (%)
15,00	54,36
17,62	60,00
20,00	65,14

### Cinética de flotación

Según los datos obtenidos por la prueba de cinética, el modelo matemático de Klimpel, es el que mejor se ajusta a los valores experimentales, expresado en el siguiente [gráfico](#).

**Tabla 4.** Pasantes -200#Ty para los tiempos de molienda (Fuente: Elaboración propia)

Tiempo (min)	15	20	25
Masa acumulada real +200# Ty (g)	456,4	348,6	249,8
Masa pasante real -200# Ty (g)	543,6	651,4	750,2
<b>Porcentaje pasante real -200# Ty (%)</b>	<b>54,36</b>	<b>65,14</b>	<b>75,02</b>

**Tabla 6.** Parámetros del modelo Klimpel.

$R_{\infty}$	81,27
k	3,51
Error	0,79

(Fuente: Elaboración propia)

Además de lo mostrado visualmente, este modelo es el que presenta el menor error cuadrático de 0,79, como se muestra en la [tabla 6](#), en comparación a los otros modelos sin el ajuste matemático, la recuperación acumulada es de 81,13%, levemente más baja que la entregada por Klimpel, de 81,27%. Debido a lo anterior, se le considera a este modelo como ideal para efectuar los siguientes pasos, que corresponden a la aplicación de los criterios de Agar.

a. [Criterio 1](#). No agregar al concentrado material de ley menor a la alimentación en la etapa de separación.

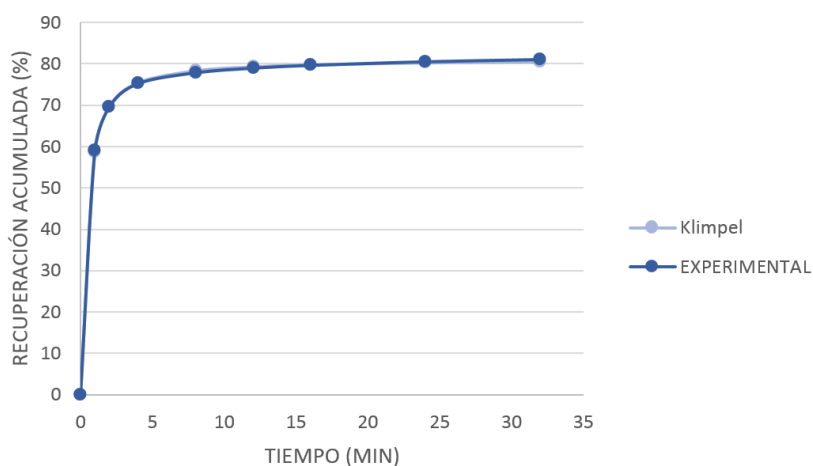
b. [Criterio 2](#). Maximizar la diferencia de recuperación entre el mineral deseado (útil) y la ganga.

En el [criterio 2](#), tras determinar un modelo cinético para el cobre, se utiliza el mismo para la obtención de los parámetros de la ganga.

c. [Criterio 3](#). Maximizar la eficiencia de separación.

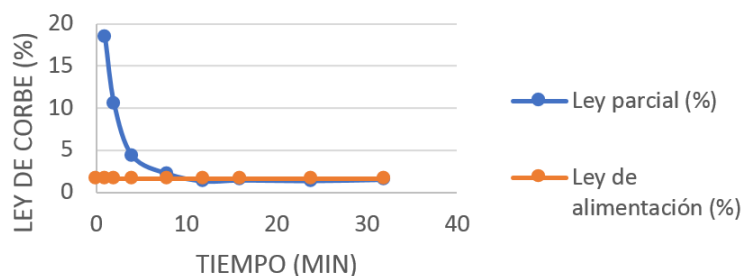
Para el último criterio se hace uso de las recuperaciones acumuladas y sus diferencias, con el fin de obtener el tiempo al cual se observa la máxima eficiencia de separación.

En el gráfico anterior, se observa que la eficiencia de separación aumenta en los primeros minutos para luego sufrir muy leves variaciones, ya que la curva se vuelve prácticamente asíntota. Sin embargo, este criterio busca el tiempo en el



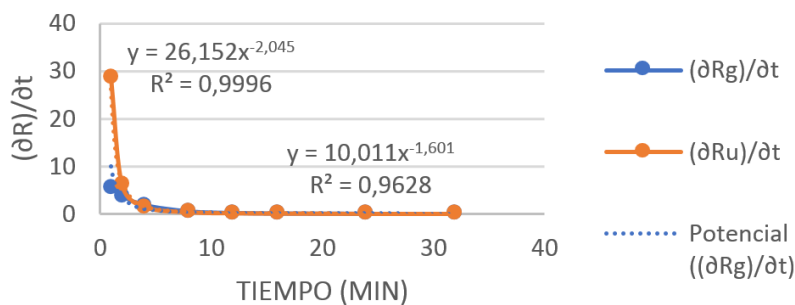
(Fuente: Elaboración propia)

**Gráfico 2.** Curva de recuperación por el modelo Klimpel.



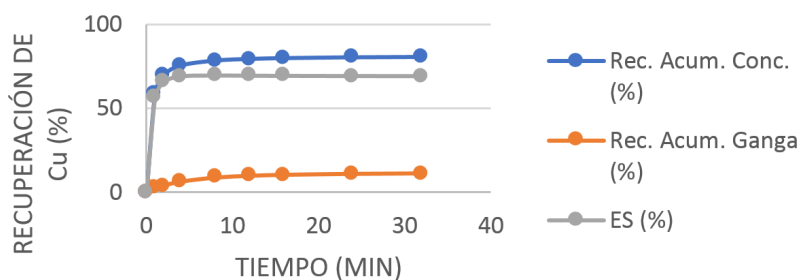
(Fuente: Elaboración propia)

**Gráfico 3.** Criterio N°1.



(Fuente: Elaboración propia)

**Gráfico 4.** Criterio N°2.



(Fuente: Elaboración propia)

**Gráfico 5.** Criterio N°3.

cual el valor de la eficiencia de separación (E. S) es máximo y para encontrarlo se hace uso de la herramienta solver, obteniéndose que a 7,25 minutos, la recuperación de cobre en el concentrado y en la ganga es de 78,07% y 8,55%, con la más alta ES de 69,51%.

**Tabla 7.** Tiempos de flotación criterios de Agar.

Tiempo flotación laboratorio	
Criterio	Tiempo (min)
1	10,17
2	8,69
3	7,25
Promedio	8,71

(Fuente: Elaboración propia)

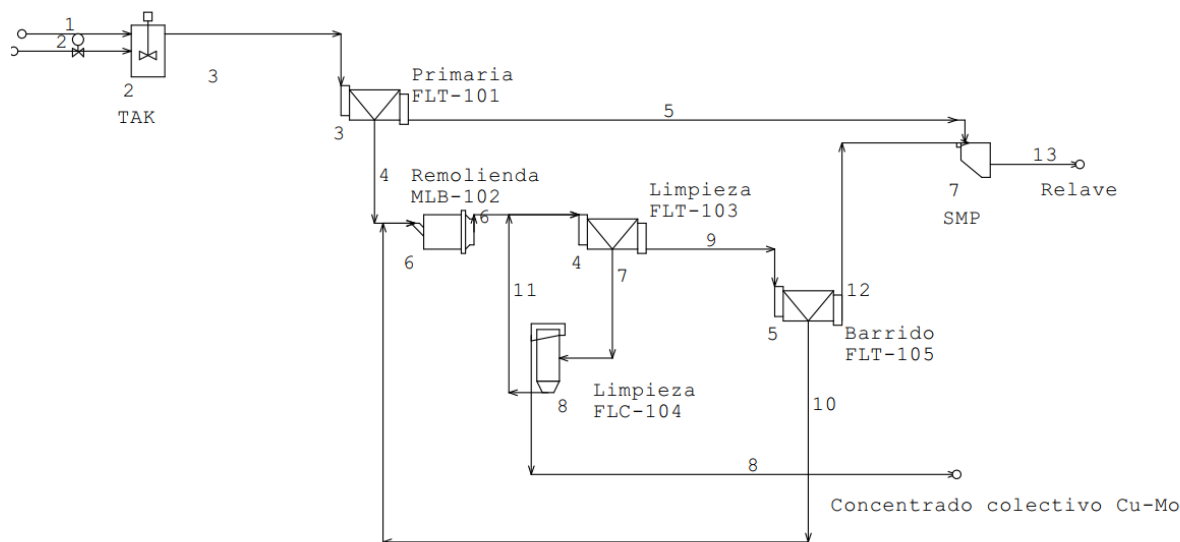
De esta forma, en la [Tabla 7](#), se observan los tiempos obtenidos para los tres criterios de Agar a nivel laboratorio. Al realizar una resta simple entre ellos, con el fin de compararlos, se obtiene que la variación entre el 1° y el 2° es 1,48; mientras que entre el 2° y el 3° es de 1,46, razón por la cual no se descarta ningún criterio, ya que los valores no representan diferencias

significativas. Así, el valor adecuado de tiempo de residencia para el mineral tratado según los criterios de Agar, corresponde a un promedio de los tres tiempos, siendo de 8,71 minutos. Al escalar este valor a nivel industrial, utilizando un factor igual a 2, se obtiene un tiempo de 17,41 minutos, como se muestra en la [Tabla 7](#).

### Propuesta técnica

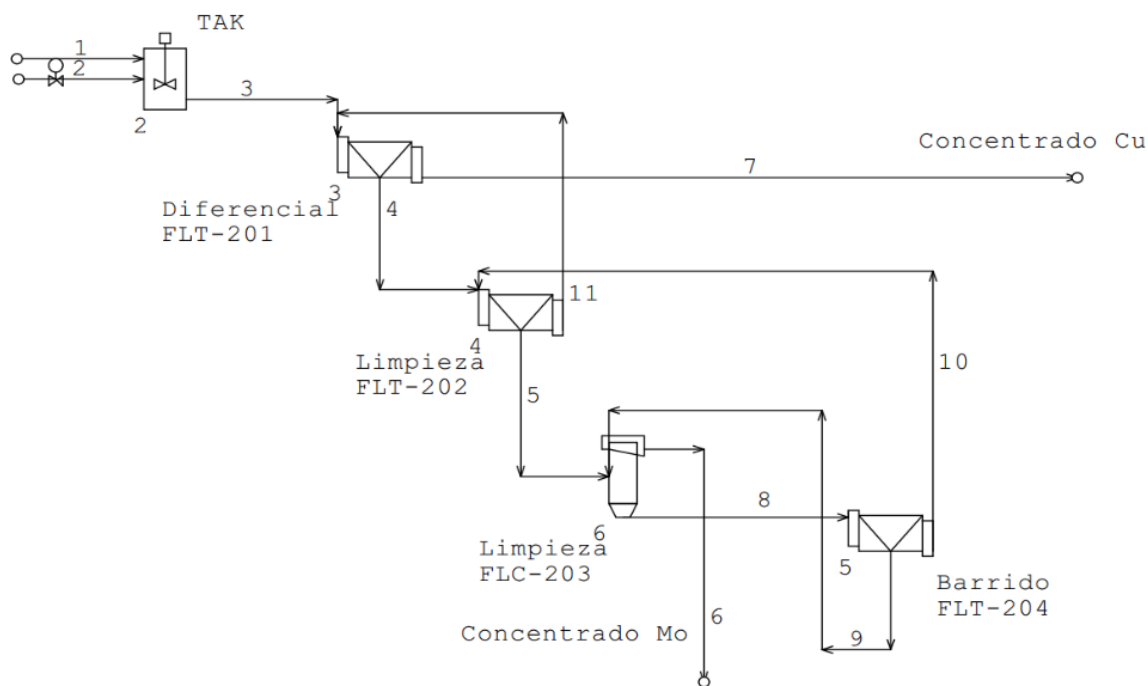
Se plantea una propuesta técnica evaluando cada parámetro y resultado dado para tratar el mineral sulfurado de Cu-Mo mediante concentración colectiva y selectiva del mineral para la recuperación de cobre y molibdeno en primera instancia y luego una concentración selectiva de cada mineral valioso por separado.

La propuesta técnica fue dimensionada por el software METSIM, el cual se llevo con todos los análisis de los resultados planteados. El modelamiento y configuración de celdas y bancos de flotacion para el tratamiento y beneficio del mineral queda planteado en la siguiente esquematización que diseño el software.



(Fuente: Elaboración propia)

**Figura 1.** Diagrama de flujos de flotación colectiva.



(Fuente: Elaboración propia)

**Figura 2.** Diagrama de flujos de flotación selectiva.

## CONCLUSIONES

1. Se realizaron las operaciones de caracterización, a través del muestreo, picnometría, humedad, análisis químico y granulometría para obtener las propiedades del mineral a tratar. La humedad del mineral es de 0,27%, de modo que no se considera una alta presencia de arcilla y la densidad es de 3,06 g/mL, valor que se encuentra en el rango promedio de densidad de minerales.

El análisis químico realizado, muestra un 1,62% de cobre total con un 0,02% soluble. Un alto contenido de hierro de 19,53% total y una cantidad de molibdeno menor del 0,01%.

2. Los reactivos de flotación son el DF-250 como espumante y el colector primario y secundario Hostafлот x-23 y Aero 3477 Promoter respectivamente, a una dosificación de 30 g/T cada uno. Se alcanzó un valor de 84,72% de recuperación de cobre.

3. Mediante pruebas de cinética, se establece que el modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales es el de Klimpel, obteniéndose un tiempo de flotación óptimo de 8,71 minutos escalado a 17,41 minutos a escala laboratorio.

4. Se ha elaborado una propuesta técnica con todos los procesos de flotación colectiva (cobre-molibdeno) y selectiva (molibdeno) utilizando cálculos de celdas y el uso del software METSIM que permite la optimización del proceso.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Académico Norman Toro por contribuir tanto en guiar, así como también monetariamente para que esta investigación se pudiera realizar. Además, se destaca que este trabajo fue apoyado por la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo Tecnológico, UCN.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, A. 2014. Comparación del consumo de energía específica en la etapa de molienda en un molino de bolas a escala de laboratorio entre el producto de un hpgr y chancado convencional. Universidad Católica del Norte, Chile.
- Alfaro, M. 2002. Introducción al muestreo minero. Santiago de Chile.
- Álvarez, M. 2016. Interacción agua/roca y controles fisicoquímicos sobre el

- procesamiento de minerales en las celdas de flotación: efecto aluminio, calcio y magnesio. Santiago. Universidad de Chile.
- Gorain, B.K., Franzidis J.P. & Manlapig, E.V. 2000. Flotation Cell Design: Application of Fundamental Principles. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre.
- Blanco, E. 2014. Tecnología Mineralúrgica. Bloque II. Universidad de Cantabria.
- Bustamante, O., Gaviria, A., & Restrepo, O. 2008. Concentración de minerales. Medellín. Universidad Nacional de Colombia.
- Cárcamo, H. 2003. Operaciones Mecánicas para alumnos de Ingeniería Metalúrgica. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Universidad Católica del Norte. Antofagasta, Chile.
- Carvalho, M. 2015. Análisis técnico de recuperación de finos de molibdeno en circuito de celdas neumáticas en flotación selectiva Compañía Doña Inés de Collahuasi. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Cerda, M. 2013. Balance de masa y simulación de planta piloto de flotación. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- COCHILCO. 2017. Sulfuros primarios: desafíos y oportunidades I Comisión Chilena del Cobre. Available: Available: [http://www.cochilco.cl/ListadoTemático/sulfurosprimarios\\_desafiosyopportunidades.pdf](http://www.cochilco.cl/ListadoTemático/sulfurosprimarios_desafiosyopportunidades.pdf), [Consulted: January 6, 2019].
- COCHILCO. Anuario de estadísticas y otros minerales 1998-2017. (2017). Santiago de Chile.
- COCHILCO. 2017. Franjas metalogénicas de los Andes Centrales: blancos clave para la exploración minera. Santiago de Chile.
- COCHILCO. 2018. Santiago de Chile.
- Concha, J. & E, W. (s.f.). Flotación de finos y gruesos aplicada a la recuperación de minerales de cobre.
- Conejeros, V. 2003. Procesamiento de minerales. Antofagasta. Universidad Católica del Norte.
- Cytec. 2002. Mining Chemicals Handbook. Cytec industries.
- Delgado, S. 2011. Implementación de chancadores de impacto en la producción de gravillas para uso en concretos asfálticos de rodadura. Valdivia, Chile.
- García, E. (s.f.). Las arcillas: propiedades y usos. Universidad Complutense. Madrid, España.
- FLSmidth. (s.f.). FLSmidth Dorr-Oliver Eimco Flotation Technology. FLSmidth Minerals.
- Rojas, F. 2010. Reactivos de flotación de minerales. Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, Perú.
- Sernageomin. 2018. Anuario de la Minería de Chile.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)