

OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE MOLIBDENITA EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN EN LABORATORIO DE METALURGIA DE LA UTFSM, SEDE VIÑA DEL MAR.

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE TÉCNICO UNIVERSITARIO EN MINERÍA Y METALURGIA

Alumna

Paula Belén Vásquez Zamora

Profesor

Ingeniero Metalurgista Luis Gutiérrez

Meneses

## **RESUMEN**

El presente trabajo se orienta a la optimización de la recuperación del mineral molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ), mediante el proceso de flotación de mineral sulfurado, obtenido de una pequeña faena minera ubicada en IV región, comuna de Illapel.

Para lograr la optimización se realizó una investigación previa para identificar los factores que afectan la flotación de la molibdenita, encontrando parámetros que se puedan variar en el proceso convencional de flotación de molibdenita, con el fin de incrementar el porcentaje en la recuperación del mineral estudiado.

Se realizó el procedimiento experimental en el laboratorio de metalurgia de la UTFSM, sede Viña del Mar.

En primer lugar se conminuyó el mineral sulfurado mediante chancador con la mínima abertura; luego se realizó la separación del mineral por tamaño mediante tamices, para finalmente ingresar el material seleccionado al proceso de flotación, en una celda de laboratorio de 1 litro.

Es importante mencionar que previamente al proceso de flotación, se calcularon las cantidades de mineral y reactivos que se debía ingresar en la celda.

Se realizaron cuatro flotaciones, de las cuales una fue de carácter convencional y las otras tres con parámetros variados, con el fin de obtener un aumento en la recuperación de molibdeno en el concentrado. Se utilizó Diésel como colector en todas las flotaciones realizadas, sin embargo se incrementó la cantidad en dos de ellas, para evaluar el efecto de recuperación del Diésel.

Cada flotación fue realizada en una sola etapa rougher, obteniéndose un concentrado y un relave. Sólo se analizó el concentrado de cada flotación, junto con una muestra del mineral sin flotar, con el fin de tener una cuantificación de molibdeno inicial sin tratar el mineral.

Finalmente los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que según el análisis químico realizado, todas las muestras arrojaron  $<0.1100$  mg/L de molibdeno, lo que se puede asociar a diferentes variables, desarrolladas en el capítulo III.

## ÍNDICE

	PÁG.
Introducción.....	5
Capítulo I: Antecedentes Generales.....	7
1. Flotación.....	8
1.1 Tamaño de Partícula.....	9
1.1.1 Chancado y Molienda.....	10
1.2 Porcentaje de Sólidos.....	12
1.3 Aireación.....	12
1.4 pH de la Pulpa.....	13
1.5 Reactivos de Flotación.....	14
1.6 Ángulo de Contacto.....	15
2. Molibdenita.....	16
2.1 Usos y Propiedades.....	16
2.2 Características.....	17
2.2.1 Flotabilidad de la Molibdenita.....	17
2.2.2 Recuperación de la Molibdenita.....	18
3. Recuperación.....	19
3.1 Recuperación en Peso.....	19
3.2 Recuperación Metalúrgica.....	19
Capítulo II: Estrategia de Control.....	20
1. pH.....	21
2. Reactivos.....	22
3. Granulometría.....	25
4. Conminución.....	26
4.1 Tamizado.....	26
5. Proceso de Flotación.....	28
5.1 Procedimiento.....	29
Capítulo III: Evaluación del Proceso.....	33
1. Análisis.....	34
1.1 Flotación 1.....	34
1.2 Flotación 2.....	34
1.3 Flotación 3.....	35
1.4 Flotación 4.....	35
1.5 Tabla resumen.....	36
2. Resultados Obtenidos.....	37
3. Conclusiones.....	39

Sigla.....	40
Simbología.....	40
Bibliografía.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Capítulo I: Antecedentes generales	
Fig. 1-1. Circuito de Flotación convencional.....	8
Fig. 1-2. Función de las burbujas en Flotación.....	10
Fig. 1-3. Razones de reducción de Cada tipo de Chancador.....	11
Fig. 1-4. Flowsheet general de Chancado y Molienda de minerales.....	11
Fig. 1-5. Proceso de Flotación.....	13
Fig. 1-6. Escala de pH.....	13
Fig. 1-7. Ángulo de Contacto.....	15
Capítulo II: Estrategia de Control	
Fig. 2-1. Aspecto de la Cal.....	24
Fig. 2-2. Chancado de Mandíbula.....	26
Fig. 2-3. Serie Tamices #100, #120 y fondo.....	28
Fig. 2-4. Serie Tamices #170, #200 y fondo.....	28
Fig. 2-5. Agua Destilada en Celda de Flotación.....	29
Fig. 2-6. Compresor.....	30
Fig. 2-7. 1000 RPM.....	30
Fig. 2-8. Celda de Flotación con mineral y agua.....	31
Fig. 2-9. pHmetro.....	31
Fig. 2-10. Proceso de Flotación.....	32
Capítulo III: Evaluación del Proceso	
Fig. 3-1. Resultados Obtenidos.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Capítulo II: Estrategia de Control	
Tabla 2-1. Reactivos y sus Dosificaciones.....	23
Tabla 2-2. Serie de Tamices a Utilizar.....	27
Capítulo III: Evaluación del Proceso	
Tabla 3-1. Resumen datos de flotaciones.....	36

## **INTRODUCCIÓN**

La minería en Chile ha sido la base de la economía durante ya varias décadas, debido a que el país es uno de los mayores exportadores, principalmente de cobre (como materia prima), entre otros metales.

Según indica el Consejo Minero, Chile produce un 31% del total de cobre producido a nivel mundial y un 21% del molibdeno. También, Chile es el tercer país con la mayor reserva de molibdeno (16%), luego de China (39%), y EEUU (25%), respectivamente, según estadísticas de COCHILCO. En Chile, el molibdeno se extrae principalmente de la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ), mineral que se obtiene como subproducto principal en el proceso de concentración de cobre. Es importante enfatizar que la extracción de este elemento en Chile, sólo se realiza de manera secundaria, es decir, no existen mineras dedicadas únicamente a la extracción de molibdeno.

El molibdeno presenta un punto de fusión más alto respecto a los demás elementos, lo que lo hace útil en la industria siderúrgica, principalmente para la producción de aleaciones especiales y aceros, ya que les otorga propiedades de dureza y aumenta su resistencia a la corrosión. Se utiliza también como pigmento en la industria química, como catalizador en la refinación del petróleo, como conductor en la industria electrónica, entre otros.

En Chile, el molibdeno se extrae sólo de manera secundaria, lo que explica su baja producción en comparación a las producciones anuales de cobre. Según SERNAGEOMIN del año 2011 al 2012, hubo una baja de un 15% en la producción de Molibdeno a nivel país.

Una investigación realizada en el año 2013 en la planta de división Los Bronces de Angloamerican, revela que en sus procesos de extracción el molibdeno tiene una baja ley de cabeza de alrededor de 0,011%, lo que se asocia a tamaños anormales en la ganga. Estas bajas leyes, conllevan a obtener bajas recuperaciones del mineral, principalmente en la etapa Rougher.

Por otro lado, un estudio realizado en la planta de concentración de molibdeno de la minera Doña Inés de Collahuasi, realizada en el mismo año, indica que la planta alcanza concentrados con sólo hasta un 43% de molibdeno. Se observó también bajas en las recuperaciones y concentrado final de molibdeno, en los años 2007 y 2014.

Es por esto que se genera el interés por recuperar una mayor cantidad de molibdenita en el proceso de extracción, y que al tratarse de un sulfuro, se realiza mediante flotación de minerales.

**OBJETIVO GENERAL:**

Optimizar la recuperación de molibdenita en el proceso de flotación, mediante la variación de granulometría y pH.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- I. Identificar parámetros que influyen en el proceso de flotación de la molibdenita mediante investigación teórica.
- II. Establecer un procedimiento para la flotación de molibdenita, variando parámetros de granulometría y pH.
- III. Evaluar el procedimiento propuesto, mediante la recuperación de molibdenita.

**CAPÍTULO I**

**ANTECEDENTES GENERALES**

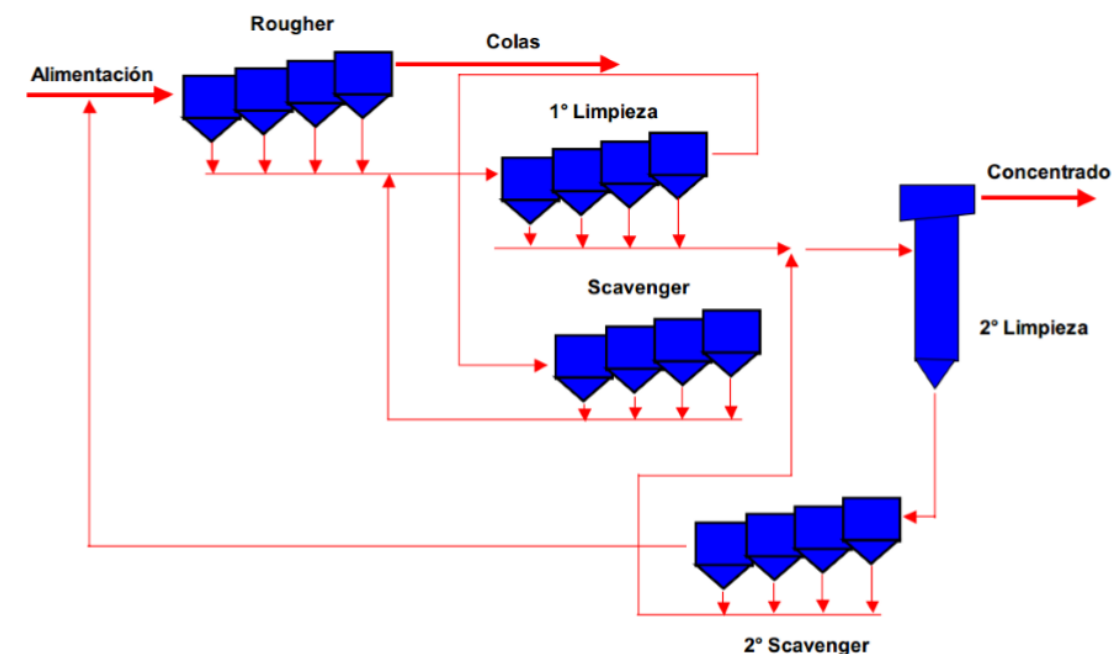
## 1. FLOTACIÓN

La flotación es un proceso físico-químico utilizado para extraer un mineral de interés. Se basa en la formación de una pulpa constituida por mineral, agua y otros componentes (reactivos y aire), donde se busca la adhesión del mineral que se quiere extraer, a burbujas de aire, que se generan gracias a la inyección de aire en el sistema.

Este proceso aprovecha las propiedades superficiales de los minerales. En este ámbito, se diferencian dos características importantes en este proceso, la hidrofobicidad, que se refiere a minerales inmiscibles con el agua. Las partículas que contienen el mineral de interés deben poseer esta característica para adherirse a la burbuja de aire. Por otra parte encontramos la hidrofiliicidad, que son partículas de mineral miscible con el agua. La ganga (mineral sin valor económico), debe tener esta característica para adherirse al agua y decantar en el sistema.

De la flotación se obtiene un concentrado del mineral de interés, el cual se debe refinar en procesos posteriores, hasta alcanzar las leyes necesarias para la comercialización del mineral extraído. Se obtiene también una cola o relave, la cual se va a espesadores, con la finalidad de recuperar un porcentaje importante de agua.

Este proceso se realiza en un circuito, donde participan tres etapas, como se muestra en la figura 1-1.



Fuente: Balance y circuitos de flotación, PDF entregado por docente.

Figura 1-1, muestra un circuito de flotación convencional.

La flotación se divide en tres grandes etapas:

- **Rougher o Primaria:** En esta etapa se realiza la primera recuperación, donde el concentrado obtenido es de baja ley y aún contiene ganga. La alimentación que llega a esta etapa, viene directo de molienda, y su concentrado es normalmente enviado a la etapa cleaner, o en ocasiones se envía como concentrado final.
- **Cleaner o Limpieza:** Junto con el recleaner o limpieza secundaria, tienen la tarea de aumentar la ley del concentrado obtenido en la etapa rougher, para alcanzar la calidad de la pulpa que exige el circuito de flotación. Es necesario realizar una remolienda entre la etapa rougher y la etapa cleaner, ya que ésta última es una etapa mucho más selectiva y necesita que la partícula esté en su mayor grado de liberación.
- **Scavenger o Barrido:** Esta etapa recibe el relave o colas de la etapa rougher y tiene como objetivo aumentar la recuperación de dichas colas. De esta etapa sale el relave final y su concentrado es de baja ley y se recircula ya sea a la alimentación de rougher o a la remolienda.

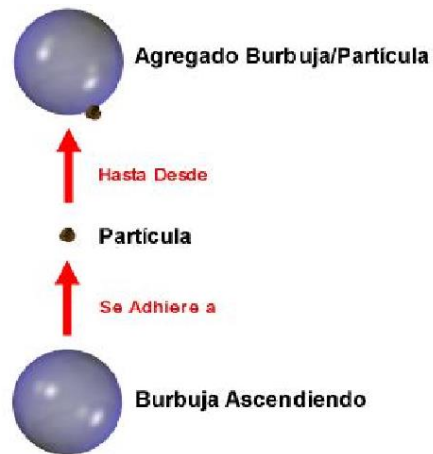
Dentro del proceso se reconocen diferentes parámetros, que son de suma importancia dentro del proceso.

### **1.1 TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRANULOMETRÍA)**

Para llevar a cabo la flotación es necesario que el mineral cumpla con un tamaño promedio de partícula correcto, ya que si el mineral ingresado al sistema posee partículas muy pequeñas, se forman las “Lamas”, que se refiere a que más del 50% de las partículas tiene un tamaño menor a 0,074 milímetros, lo que hace decaer la eficiencia del proceso de extracción.

En el caso contrario, si el mineral inserto en el sistema de flotación presenta partículas muy grandes, la burbuja no tendrá la fuerza suficiente para captarla y hacerla flotar, ya que por densidad ésta partícula tenderá a precipitar, yéndose así como cola, perdiéndose importantes cantidades de mineral de interés.

Como se muestra en la figura 1-2, la burbuja capta en mineral, llevándolo a la superficie.



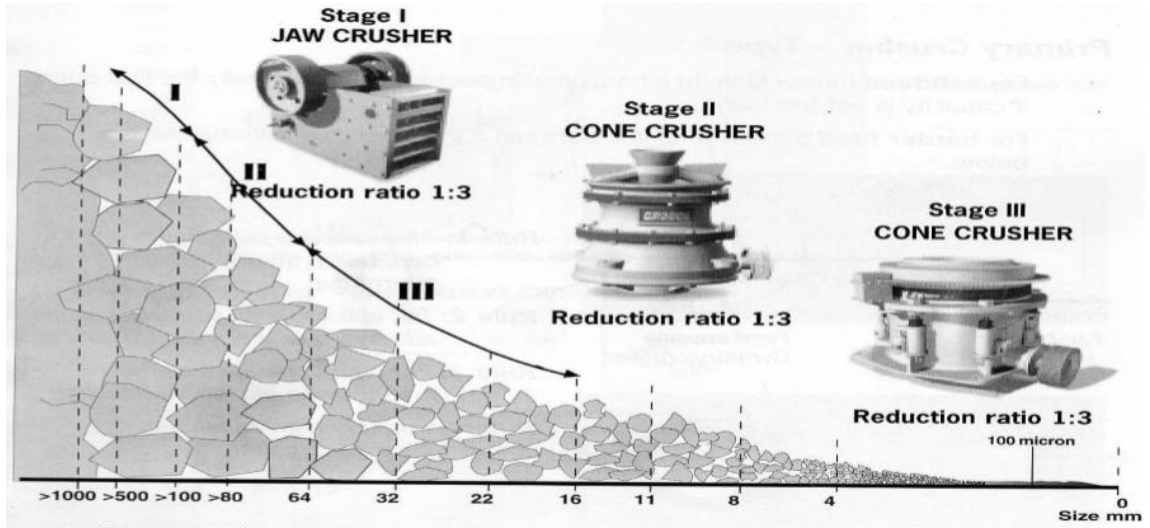
Fuente: Reactivos de Flotación, PDF entregado por docente.  
 Figura 1-2, presenta la función de las burbujas en la flotación.

Es por esto, que es de suma importancia controlar el tamaño de las partículas que ingresan al proceso de flotación, mediante análisis granulométricos y controlando los procesos previos a la flotación, que corresponden a la conminución (chancado y molienda).

#### 1.1.1 Chancado y Molienda (Conminución)

Previo a la flotación, se deben llevar a cabo estos dos procesos, los cuales tienen el propósito de disminuir el tamaño del mineral proveniente de la mina.

En la etapa de chancado se utiliza un chancador de mandíbula, de cono o giratorio, que realizan diferentes disminuciones de tamaño dependiendo de las características del equipo, como se muestra en la figura 1-3:

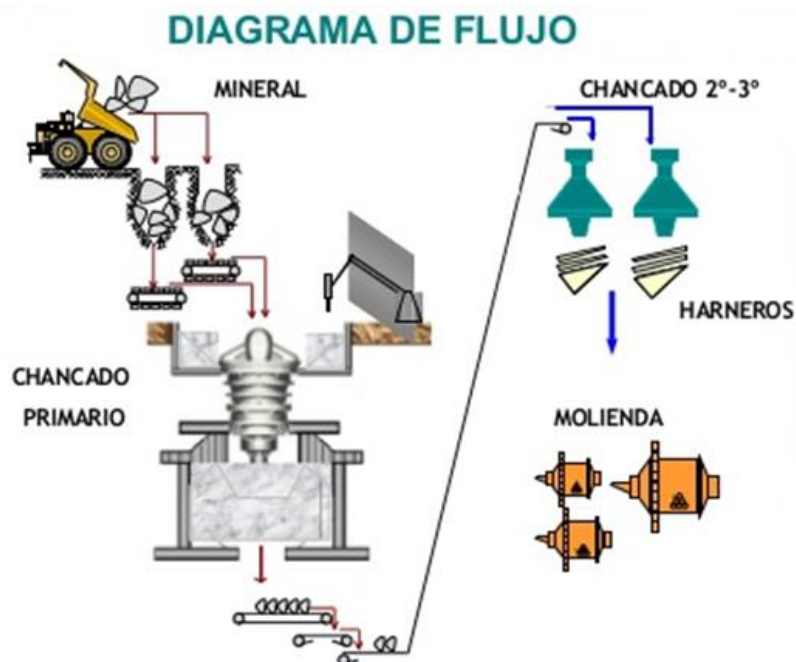


Fuente: Equipos de Trituración, PDF entregado por Luis Gutiérrez Meneses.

Figura 1-3, presenta las razones de reducción de cada tipo de chancador, y para qué tamaño de mineral es apropiado.

Sin embargo, no se obtiene el tamaño de partícula apropiado para la posterior concentración, por lo que se debe ingresar una etapa de molienda, la cual puede ser en un molino de bolas, molino de barras, molienda SAG o molienda autógena.

A nivel industrial se realiza normalmente como se muestra en la figura 1-4:



Fuente: <https://es.slideshare.net/javimelo/procesamiento-cobre>

Figura 1-4, muestra flowsheet general de chanado y molienda de minerales.

## **1.2 PORCENTAJE DE SÓLIDOS**

Es importante expresar la proporción de sólido respecto del agua que existe en la pulpa, ya que la cantidad de sólido por cantidad de agua afecta directamente en la eficiencia que tendrá el proceso de extracción de mineral. En la etapa Rougher se utiliza comúnmente de 30 – 45% de sólidos, y en las etapas Cleaner y Scavenger, se utilizan porcentajes más bajos.

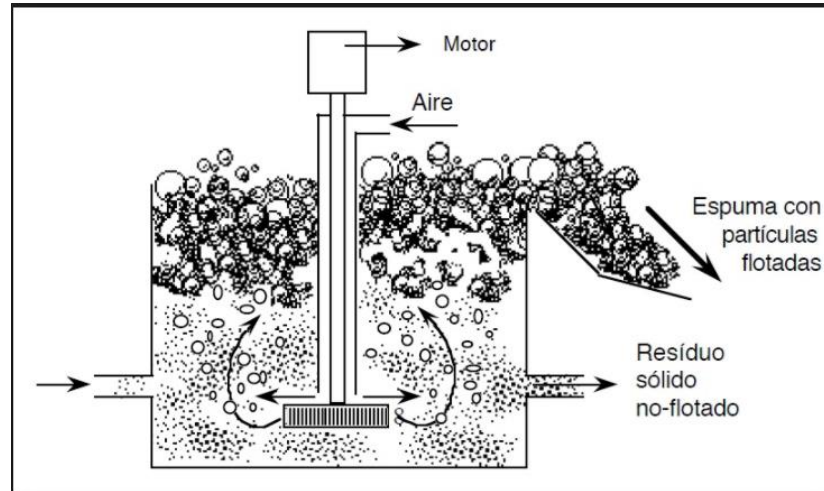
A este parámetro, se le asocia la densidad de la pulpa, la cual también debe ser regulada. Esta afecta en el tiempo de residencia que tendrá el mineral en el proceso, lo que incide en todo el circuito de flotación.

## **1.3 AIREACIÓN**

La aireación es un parámetro controlado por el operador de la celda, y esta variable permitirá acelerar el proceso de colección o retardarlo, según se estime conveniente.

El aire es inyectado a presión por un tubo dirigido en la misma dirección que el aspa giratorio (desde la superficie hacia el fondo), en el sistema de flotación, y las burbujas se producen gracias a un aspa que va en medio de la celda, sumergida, y gira constantemente con el fin de aumentar la probabilidad de colisión entre la partícula y la burbuja.

A continuación, la figura 1-5 representa el aire en la flotación.



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Flotaci%C3%B3n>

Figura 1-5, proceso de flotación dentro de una celda.

#### 1.4 pH DE LA PULPA

El pH es un parámetro que indica si una solución es ácida o alcalina, y se mide en una escala de 0 a 14, donde los valores de pH de 0 a 6 son clasificados como ácido, de 8 a 14 alcalino y el 7 indica un pH neutro, como se muestra en la figura 1-6:

*pH* = potencial de hidrógeno



Fuente: <http://www.chansonportugal.com/ES/o-que-e-o-ph.html>

Figura 1-6, escala de pH.

Gran parte de las reacciones que ocurren dentro del proceso de flotación, de las cuales depende la liberación de la especie útil, están sujetas al pH que tenga la pulpa. Es por esto que el pH es uno de los parámetros de mayor relevancia al momento determinar la manera de aumentar la recuperación de una especie útil, ya que para cada elemento existe un rango de pH específico al cual su potencial de reacción será el óptimo, lo que se puede corroborar en un diagrama de Pourbaix, donde se expresa el rango de pH en el cual el potencial de reacción será mayor y sus reacciones serán más espontáneas.

Para el caso de la molibdenita, se indica que el pH de pulpa óptimo para su flotación, es de pH 7 – 8.

### **1.5 REACTIVOS DE LA FLOTACIÓN**

Para ayudar en la flotación y se logre un concentrado libre de ganga (minerales que no se desean obtener), se le añaden reactivos, que cumplen diferentes funciones. Los reactivos son sustancias orgánicas que se utilizan para modificar las propiedades de los componentes de la pulpa, ya sea el mineral de interés o la ganga. Se clasifican en:

Colector: Compuesto orgánico que se adsorbe en la superficie del mineral de interés, es decir, es selectivo y su función es transformar la superficie en hidrofóbica para que se adhiera a la burbuja y no al agua.

Espumante: Su función es entregarle a la espuma o burbujas, una buena resistencia ya que debe ser capaz de llevar el mineral hasta la superficie.

Modificadores: En presencia de colectores y espumante, el modificador cumple la función de modificar las propiedades superficiales de la partícula, permitiendo así su flotabilidad.

Activadores: Sirven para aumentar la adsorción de los colectores en la superficie del mineral.

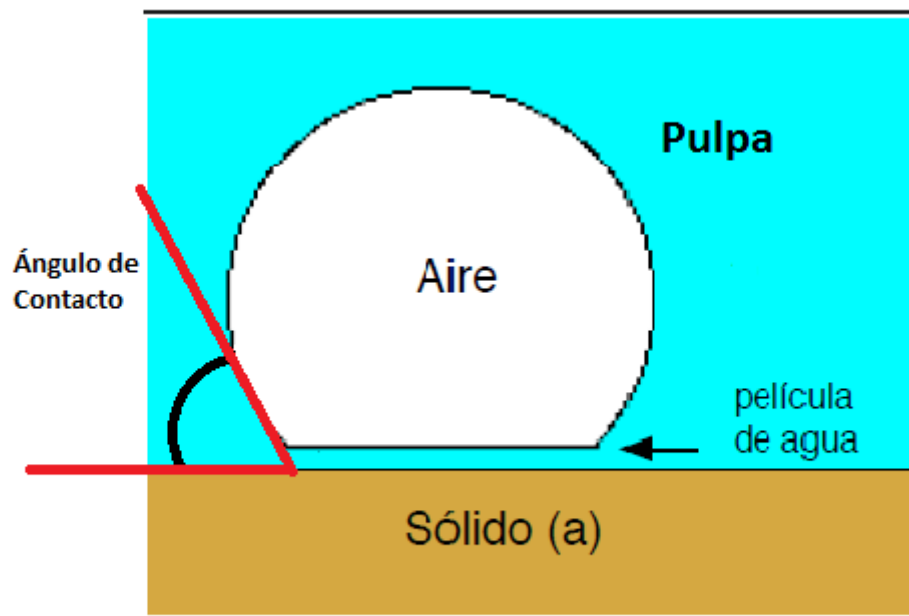
Depresores: Disminuye la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie hidrofílica, impidiendo que el mineral flote. Se utiliza para hacer decantar los minerales que no se desean flotar.

Regulador de pH: Se utiliza para cambiar el pH, ya sea aumentándolo o disminuyéndolo haciéndolo más alcalino o ácido, respectivamente. Generalmente se utiliza cal para aumentar el pH en la flotación de cobre, lo que es muy beneficioso, ya que la cal deprime la pirita.

## 1.6 ÁNGULO DE CONTACTO

El ángulo de contacto, se refiere al comportamiento de la superficie de una partícula respecto a los reactivos dentro de la pulpa, y depende de las fuerzas superficiales, éstas generan un ángulo de contacto entre la superficie de la partícula y la superficie de la burbuja como se muestra en la figura 1-7.

De esta manera, a mayor ángulo de contacto, mayor es la flotabilidad del sistema, y en el caso contrario, si existe ángulo de contacto pequeño, menor será la flotabilidad.



Fuente: <https://procesosbio.wikispaces.com/FLOTACION>

Figura 1-7, representación del ángulo de contacto.

## **2. MOLIBDENITA**

La molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) es un mineral sulfurado que se compone de un 60% de molibdeno y un 40% de azufre, estos valores son aproximados, ya que se puede encontrar molibdenita con hasta un 0,3% de renio. Se origina en yacimientos hidrotermales de altas temperaturas, y se encuentran asociados a ella diferentes minerales como pirita, calcopirita, cuarzo, anhidrita, fluorita y scheelita. Es un disulfuro de molibdeno de apariencia similar al grafito, con una estructura laminada donde se encuentra un átomo de molibdeno contenido en dos átomos de azufre, todo en forma de láminas.

Este elemento fue reconocido a fines del siglo XVIII, y fue durante la Primera Guerra Mundial donde se debió reemplazar el tungsteno por el molibdeno, para la construcción de armas y misiles, comenzando así su uso comercial.

### **2.1 USOS Y PROPIEDADES**

Este mineral tiene propiedades que hacen posible su utilización en la industria electrónica, posee propiedades mecánicas que la hacen ser resistente a la flexibilidad, lo que amplía su campo de utilización en dicha industria. Además, tiene resistencia al desgaste y reduce la fricción en piezas hechas a base de molibdenita.

Dentro de sus propiedades se encuentra la durabilidad, resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas, por lo que se utiliza bastante en la industria siderúrgica para la realización de aleaciones con acero, en la construcción, en la fabricación de piezas de aviones, y piezas forjadas de automóviles. Por otra parte encontramos la utilización de molibdeno en la industria del petróleo, donde se realiza una superaleación de níquel-molibdeno obteniéndose catalizadores que se utilizan para la remoción del azufre. Se utiliza también en la fabricación de lubricantes, revestimientos y solventes en la industria química en forma de pigmentos para plásticos, pinturas y compuestos de caucho.

La molibdenita es el principal mineral desde el cual se obtiene el molibdeno. El molibdeno es un metal de color gris plateado que no existe en estado puro en la naturaleza, por lo que se encuentra asociado a otros minerales sulfurados de los cuales se recupera también el cobre, es por esto que es muy común que el molibdeno se recupere

como un subproducto del cobre. Es un elemento químico de número atómico 42, se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica, se simboliza como Mo y se funde a 2.610 grados centígrados.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS

Al momento de triturar el mineral de molibdenita, la partícula crea dos tipos de superficies debido a su estructura cristalina. Una de las superficies es llamada cara, que es la región no polar de la partícula, la cual tiene un carácter eléctrico neutro y baja energía superficial, por ende la cara tiene una pequeña atracción por moléculas con alta energía superficial como por ejemplo el agua, es decir la cara es hidrofóbica (no afín con el agua). La otra región de la superficie es llamada borde, esta zona de la partícula es un sitio químicamente activo, es decir, capaz de reaccionar, y tienen un carácter iónico que al entrar en contacto con el agua, rápidamente forma compuestos oxidados del tipo tiomolibdato. Así entonces, el borde es la parte hidrofílica (afín con el agua).

La molibdenita es generalmente estable termodinámicamente, es decir, la molibdenita es incapaz de experimentar algún cambio de estado o algún proceso termodinámico si se somete a ciertas condiciones, a diferencia de los sulfuros de cobre, plomo y zinc. Sin embargo, en un medio acuoso la molibdenita se somete a oxidación y producción de iones molibdatos, los cuales pueden ser Molibdatos ( $\text{MoO}_4^{-2}$ ) o Ácido Molibdato ( $\text{HMoO}_4^{-4}$ ), dependiendo del pH de la solución acuosa.

Dicha oxidación ocurre principalmente en los bordes de la partícula. Al ocurrir la oxidación, la molibdenita forma aniones (iones cargados negativamente) solubles, que van a la solución.

### 2.2.1 Flotabilidad de la Molibdenita

La molibdenita es un mineral sulfurado hidrofóbico, lo que la hace natural y altamente flotable con casi cualquier colector, hidrocarbones e incluso con espumante natural. Esta flotabilidad natural se ve empañada por la presencia de trióxido de molibdeno en la superficie de la partícula, compuesto que se vuelve a iones de molibdato en una pulpa en agua, bajo condiciones de pH y se disuelve. Es por esto que es de suma importancia controlar los diferentes parámetros de la flotación.

La molibdenita flota de manera óptima a pH 7 – 8 y para que el proceso de flotación tenga una mayor recuperación, la molienda debe ser fina, del orden de los 150  $\mu\text{M}$ .

### 2.2.2 Recuperación de Molibdenita

Actualmente, el molibdeno se extrae como subproducto del cobre, aprovechando su flotabilidad natural. La molibdenita es flotada en el primer proceso o celda de flotación Rougher, lo que técnicamente se denomina Recuperación Secundaria de Molibdeno. Luego de que los minerales de interés han pasado por todas las etapas de recuperación y flotación, se obtiene un concentrado el cual tiene entre 8 – 20% de cobre y entre 0,1 – 0,5% de molibdenita. Estas bajas concentraciones se explican con la pérdida de casi un 48% de molibdeno en la etapa Rougher, lo cual es difícil de minimizar, ya que el circuito de flotación está diseñado para la recuperación de cobre y no de molibdenita.

Por otra parte se encuentra la Recuperación Primaria de Molibdeno, la cual consiste en la separación de molibdeno desde pórfidos de molibdenita, donde este es el único mineral de interés. En la primera etapa de flotación o flotación Rougher, se obtiene un concentrado con 3 – 4% de molibdeno. Luego el concentrado obtenido es remolido y refltado las veces necesarias, hasta obtener un concentrado con un porcentaje esperado de molibdeno. El concentrado final contiene típicamente de 48 – 50% de molibdeno, lo que equivalente a 80 – 93% de molibdenita, con impurezas de 0,5% de hierro (Fe); 0,06% de cobre (Cu); 0,03% de plomo (Pb); 0,02% de bismuto (Bi) y 4% de ganga insoluble.

### 3. RECUPERACIÓN

La recuperación es un índice de evaluación del proceso de flotación. Se refiere a la eficiencia o rendimiento del tratamiento de extracción que se esté utilizando, y se expresa en porcentaje. Este parámetro señala cuánto del elemento valioso que ingresa al tratamiento, pasa al concentrado final. Cuánto mayor cantidad del elemento que se quiere extraer, pasa al concentrado, mayor será la recuperación.

Se pueden diferenciar dos maneras de expresar la recuperación de un elemento:

#### 3.1 RECUPERACIÓN EN PESO

Se refiere a la razón entre masa del concentrado y la masa de la alimentación, y se expresa como:

$$R = \frac{C}{F} \times 100$$

Dónde:

C = Peso del concentrado.

F = Peso de la alimentación.

#### 3.2 RECUPERACIÓN METALÚRGICA

Es la razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa de material útil contenido en la alimentación, y se expresa como:

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100$$

Dónde:

C = Peso del concentrado.

c = Ley del mineral útil en el concentrado.

F = Peso de la alimentación.

f = Ley del mineral útil en la alimentación.

**CAPÍTULO II**  
**ESTRATEGIA DE CONTROL**

## 1. pH

Como se indicó en el primer capítulo, el pH es parte importante de las condiciones que debe tener la pulpa al momento de realizar una flotación selectiva.

Dentro de la investigación realizada, se determinó que el pH óptimo para una flotación selectiva de molibdenita es de pH 7 – 8 y el pH óptimo en el caso del cobre es de 9 – 11.

Sin embargo, el pH con el que se trabaja comúnmente en la flotación de minerales cobre-molibdeno, rodea **pH 11**, por lo que para realizar una flotación exitosa de molibdenita, se necesita un pH más bajo que no altere la recuperación de cobre, por lo que se determina que el pH a utilizar será **pH 9**, basándose en la premisa de que si se disminuye el pH aumentará la recuperación, ya que se acerca más a las condiciones necesarias para la flotación óptima de molibdenita.

Para regular el pH dentro de la flotación se utilizarán reactivos.

## 2. REACTIVOS

Para que la flotación tenga resultados exitosos, es necesario añadir reactivos que ayuden a la colección del mineral de interés, y la depresión de los minerales sulfurados que no se quieren en el concentrado. Las dosificaciones que se le den a los reactivos son de suma importancia, ya que de esto depende la eficiencia que tengan sobre el proceso.

Un tipo de reactivo son los modificadores, que son: modificadores de pH, activadores y depresores, quienes ayuda al colector a ser más selectivo con el mineral que se desea recuperar, ya que el colector por sí solo es capaz de flotar más de un mineral, mientras estos tengan características similares, como por ejemplo, que ambos sean minerales sulfurados. Es por esto que se añade un modificador, haciendo que la especie útil sea colectada, mientras que los minerales no deseados son depresados.

El modificador de pH, tiene la capacidad de aumentar o disminuir el pH de la pulpa, para que el mineral de interés sea colectado con éxito.

Por otra parte, los activadores cumplen la función de activar el efecto del colector sobre la superficie del mineral que se espera concentrar. Cabe destacar, que sin el activador, el colector no sería del todo selectivo.

Finalmente están los depresores, que evitan que las partículas de minerales no deseados (ganga), floten aumentando la selectividad del proceso.

En el caso de la molibdenita, es el único mineral que no necesita un colector para flotar. Sin embargo, si se desea recuperar molibdenita, es de suma importancia deprimir los otros minerales sulfurados que pueden entorpecer el proceso.

Para realizar esta experiencia se utilizarán diferentes tipos de reactivos con sus debidas dosificaciones, que se muestran en la tabla 2-1.

TIPO REACTIVO	ESPECIFICACIÓN	DOSIFICACIÓN
Colector	Diesel	50 g/t
Espumante	MIBC	100 g/t
Depresor	Na <sub>2</sub> S	50 g/t
Modificador de pH	Cal H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	

Fuente: Tabla elaborada por alumna.

Tabla 2-1, presenta reactivos y dosificaciones a utilizar.

Las cantidades de modificador de pH no fueron especificadas, ya que va a depender del pH inicial que tenga la pulpa, las cantidades a utilizar.

Se optó por utilizar como depresor, el sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S), debido a que es comúnmente utilizado en la flotación selectiva de cobre-molibdeno, para depresar los sulfuros de cobre.

El colector diesel es utilizado para aumentar la flotabilidad natural de la molibdenita, comúnmente a nivel industrial. El espumante Metil Isobutil Carbinol también es el más utilizado a nivel industrial.

La Cal, es de suma importancia en este proceso, ya que no sólo funciona como un modificador de pH, sino también como depresor. En este proceso se utilizará para aumentar el pH, es decir, para obtener un pH más alcalino.

El óxido de calcio (CaO) se obtiene de la calcinación de rocas calizas. Tiene una amplia aplicación para diferentes industrias. En metalurgia se utiliza principalmente para aumentar el pH de la pulpa en la flotación de minerales de cobre, obteniendo una pulpa alcalina y también es utilizado en la fundición de algunos minerales.

Por otra parte, la cal es también un depresor muy común, utilizado industrialmente para depresar minerales de cobre, donde la pirita es el principal sulfuro asociado. La pirita (FeS<sub>2</sub>) es un sulfuro de hierro que se encuentra en altas concentraciones acompañando al cobre, cuando se trata de mena sulfurada. Este mineral no tiene un valor económico, por lo que es imprescindible separarlo de la especie útil.

En flotación la cal se añade en forma de polvos de color blanco como se muestra en la figura 2-1:



Fuente: <http://quimikmk.webnode.es/compuestos-quimicos/compuestos/oxidos/oxido-de-calcio/>

Figura 2-1, presenta el aspecto de la cal utilizada en flotación.

El Ácido Sulfúrico, es un líquido viscoso que se obtiene a partir de anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ). De fórmula química  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , tiene rangos de pH muy bajo, por lo que se utilizará para bajar el pH de la pulpa en caso que fuese necesario.

Es relevante tener en cuenta los cuidados que se deben tener al trabajar con ácido sulfúrico, ya que este puede causar edema pulmonar por inhalación, quemaduras en la boca, tráquea o estómago en caso de ingestión, y puede producir quemaduras severas en contacto con la piel u ojos, entre otras.

La cal también requiere ser tratada con el debido cuidado, ya que puede causar irritación por inhalación, ingestión o contacto con la piel, y puede causar daños severos a la vista en contacto con los ojos.

Para realizar el proceso de flotación, el mineral debe respetar ciertos tamaños de partícula para que la especie útil pueda ser colectada, y el proceso tenga un resultado exitoso. Es por esto que la granulometría del mineral a ingresar es de suma importancia.

### **3. GRANULOMETRÍA**

La granulometría se refiere a la variación de tamaño de partículas y en base a la investigación teórica realizada, se determinó que para alcanzar una mayor recuperación de la especie útil, se requiere de una molienda más fina.

Por otra parte, la granulometría utilizada convencionalmente fluctúa entre los 100-150  $\mu\text{m}$  (malla 140-100 / Datos obtenidos de “Condiciones de Flotación” de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi).

En base a estos datos se determina que se realizarán cuatro flotaciones cuyas granulometrías estarán en los rangos: -#100 y +#120; -#170 y +#200; -#200. Dos de las flotaciones serán realizadas bajo el primer rango de granulometría.

Para llegar a este tamaño de partícula, el mineral sulfurado debe ser conminuido.

#### **4. CONMINUCIÓN**

La conminución previa a la flotación es necesaria, ya que es en este proceso donde se libera la especie útil. Para conseguir este propósito se realizará un chancado en una chancadora de mandíbula (TM, Engineering Ltd.) que se muestra en la figura 2-2, con el fin de alcanzar el tamaño de partícula deseado.



Fuente: Imagen obtenida por alumna.

Figura 2-2, Chancador de mandíbula del Laboratorio de Metalurgia USM Sede Viña del Mar.

El chancado se realizará con la mínima abertura, para que el mineral salga lo más conminuido posible.

Una vez liberada la especie útil, se debe seleccionar el mineral que va a ingresar al proceso de flotación según tamaño, para lo que se utilizan los tamices.

##### **4.1 TAMIZADO**

Para seleccionar el tamaño de partícula y realizar análisis granulométrico se utilizan los tamices, que constan de un contenedor circular con una malla con aberturas en el fondo. Dichos orificios son los encargados de retener o dejar caer las partículas del tamaño que corresponda.

Los tamices poseen diferentes diámetros de abertura de malla, de esta manera se sabe el tamaño promedio del mineral con el que se está trabajando. Pueden ser de bronce o de acero.

Al momento de realizar el tamizaje, se deben determinar las mallas que se van a utilizar dependiendo de la granulometría que se busque. De esta manera se establece la siguiente serie de tamices para las flotaciones en la tabla 2-2:

TAMICES	FLOTACIÓN CONVENCIONAL	FLOTACIÓN CON VARIACIONES
Bajo	100	170
Sobre	120	200
Fondo	Fondo	Fondo

Fuente: Tabla elaborada por alumna.

Tabla 2-2, indica la serie de tamices a utilizar.

Se realizará dos flotaciones sobre malla 120 (Dual Manufacturing) y bajo malla 100 (Gilson), una con mayor cantidad de colector, para evaluar el efecto de este sobre la eficiencia del proceso. Una flotación sobre malla 200 (Gilson) y bajo malla 170 (Dual Manufacturing), de la cual se espera una mayor recuperación de molibdeno por la variación de granulometría. Finalmente se flotará mineral bajo malla 200, del cual se espera una alta recuperación por el tamaño de partícula.

Ya seleccionada la granulometría del mineral, que entrará al proceso de flotación, y determinados los reactivos que se utilizarán para acentuar o disminuir las propiedades de los sulfuros contenidos en la mena, se procede a realizar la flotación.

## 5. PROCESO DE FLOTACIÓN

Previo al proceso de flotación es importante determinar la selección de las cantidades a añadir a la celda, las cuales dependen de la capacidad de esta, que en esta experiencia será de 1 litro.

Se seleccionará 4 kilogramos de mineral sulfurado para llevar al proceso de chancado, el cual se debe alimentar en movimiento con la mínima abertura, para obtener el mineral lo más conminuído posible.

Luego se procede a seleccionar el mineral que entrará a flotación, para lo que se utilizaran sólo 3 tamices para que el proceso sea más rápido, y más selectivo. Para la primera selección de tamaño se utilizará los tamices n°: 100, 120 y fondo, seleccionando sólo lo que queda sobre la malla 120. Para la segunda selección de tamaño se utilizará los tamices n°: 170, 200 y fondo, seleccionando sólo lo que queda sobre la malla 200 y bajo la malla 200 (fondo), como se muestra en las figuras 2-3 y 2-4.



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
Figura 2-3, muestra la serie #100, #120 y fondo en Laboratorio de Metalurgia USM Sede Viña del Mar.



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
Figura 2-4, muestra la serie #170, #200 y fondo Laboratorio de Metalurgia USM Sede Viña del Mar.

Para saber cuánta cantidad de mineral se debe juntar para cada flotación, se debe realizar la ecuación de densidad de la pulpa que se presenta a continuación, en la cual se determina también el porcentaje de sólido, que en esta experiencia será del 40% y el 60% de líquido.

$$\rho_{pulp} = \frac{100}{\frac{\% \text{ s\u00f3lido}}{\rho_{\text{mineral}}} + \frac{100 - \% \text{ s\u00f3lido}}{\rho_{\text{agua}}}}$$

Una vez realizadas las determinaciones de las cantidades necesarias de mineral y reactivos, se procede a flotar.

### **5.1 PROCEDIMIENTO**

En primer lugar es muy relevante mencionar, respecto a los reactivos que se predeterminaron como \u00f3ptimos en el cap\u00edtulo II de la investigaci\u00f3n, que no todos se encontraban disponible en el laboratorio de Metalurgia, de la UTFSM, sede Vi\u00f1a del Mar, donde se llev\u00f3 a cabo todo el proceso. Por lo que se hace necesario modificar los nombres de los reactivos mencionados en la tabla 2-1, anteriormente.

Se mantuvo el colector Diesel, y los modificadores de pH. No se aplicar\u00e1 depresante, ya que no se encuentra ninguno que cumpla caracter\u00edsticas \u00f3ptimas para el resultado que se desea obtener en el proceso. El espumante se cambi\u00f3 por OREPREP f501, que posee una r\u00e1pida cin\u00e9tica en flotaci\u00f3n, ya sea convencional o por columnas, utilizado para part\u00edculas preferentemente finas.

Se realizar\u00e1 el mismo procedimiento para todas las flotaciones, variando los par\u00e1metros que correspondan seg\u00fan sea necesario.

La celda utilizada es de la marca Metso, y su motor Baldor Reliance, con la celda de 1000 cc.

- En primer lugar se a\u00f1ade el agua a la celda de flotaci\u00f3n, como se muestra en la figura 2-5



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
 Figura 2-5, agua destilada en celda de flotación.

- Es relevante destacar que para la inyección de aire se utilizó un compresor que se muestra en la figura 2-6.



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
 Figura 2-6, compresor.

- Se hace andar el aspa a 1000 RPM sólo con el agua, para luego agregar el mineral. A continuación se presenta la figura 2-7, en la cual se observa el regulador de las RPM del aspa, posicionado en las mil.



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
 Figura 2-7, 1000 RPM.

- Dejar homogenizar durante cinco minutos. A continuación se presenta la figura 2-8, donde se muestra la celda de flotación con agua, mineral, inyección de aire y aspa girando.



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
Figura 2-8, celda de flotación con mineral y agua.

- Realizar una medición de pH inicial, para lo cual se utilizará un pHmetro , de la marca Clean Instruments, que se muestra en la figura 2-9, previamente calibrado con buffer de pH=4, pH neutro y pH=10.



Fuente: Imagen obtenida por alumna  
Figura 2-9, pHmetro del Laboratorio de Metalurgia USM Sede Viña del Mar.

- Añadir reactivos y dejar acondicionar durante 5 minutos. Volver a tomar el pH, y añadir modificador en caso que fuese necesario.
- Pasado los 5 minutos, adicionar inyección de aire y dejar flotar durante 16 minutos, y realizar paleteo con frecuencia de 10 segundos. A continuación se presenta la figura 2-10 que muestra la celda en el proceso de flotación.



Fuente: Imagen obtenida por alumna

Figura 2-10, proceso de flotación, concentrado húmedo.

- Añadir agua a las paredes de la celda para limpiarla, durante el proceso.
- Terminado los 16 minutos, parar la inyección de aire y detener el aspa.
- Tomar muestras de concentrado de las flotaciones.

Luego las muestras fueron enviadas a análisis para saber la concentración de molibdeno en cada concentrado, junto con la concentración del mineral sin tratar.

**CAPITULO III**  
**EVALUACIÓN DEL PROCESO**

## **1. ANÁLISIS**

Se realizaron las cuatro flotaciones respecto al procedimiento indicado en el capítulo II, y se observaron comportamientos diferentes de la pulpa al momento de flotar con las diferentes cantidades de reactivos y mineral.

Es relevante mencionar que para obtener la densidad del mineral utilizado, se realizó el método de Arquímedes, con el cual se obtuvo una densidad de mineral de 2,5 g/ml. Por otra parte, para obtener la densidad de los reactivos se utilizó el método del picnómetro.

Se trabajó con 40% de sólido, y con agua destilada, debido a que es el tipo de agua con el que se realizan los estudios en laboratorio. A nivel industrial se utiliza el agua de procesos.

Ya determinados estos valores, se ingresan a la ecuación de densidad de la pulpa, obteniéndose una densidad = 1,3 g/ml. Con este dato se puede calcular la cantidad (en gramos) de mineral que se debe ingresar a la celda, y la cantidad (en ml) de agua.

### **1.1 FLOTACIÓN 1**

La primera flotación se realizó con mineral de - #170 y + #200. Se trabajó con 500,6 gramos de mineral y 800 ml de agua destilada.

En primer lugar se añadió el agua a la celda, y se midió un pH inicial de 7,2. Luego se añadió el mineral y los reactivos. Se debió añadir 0,6 gramos de cal para alcalinizar la pulpa, ya que se medía un pH de 4,3 aproximadamente y el pH esperado era igual a 9, se obtuvo así un pH de 8,7 de la pulpa durante el proceso de flotación.

### **1.2 FLOTACIÓN 2**

La segunda flotación se realizó con mineral de - #100 y + #120. Se trabajó con 500,6 gramos de mineral y 800ml de agua destilada.

Al agregar el agua a la celda, se obtuvo un pH inicial de 8,4. Luego el pH de la pulpa, incluyendo los reactivos, arrojó 4,4, por lo que se debió añadir 2,4 gramos de cal para alcanzar un pH igual a 10,44, ya que el pH esperado era de 11.

Se observó en esta flotación que hubo un mayor rebalse de burbujas respecto de la primera flotación, lo que se asoció a la cantidad de cal añadida, ya que al añadir cal, subía el nivel de las burbujas.

### **1.3 FLOTACIÓN 3**

En la tercera flotación se disminuyó el porcentaje de sólidos a 30%, para observar la variación de recuperación. Se trabajó con mineral de - #100 y + #120 y se utilizó en este caso, 365,5 gramos de mineral y 855 ml de agua destilada.

En este tercer proceso de flotación, se determinó previamente la cantidad de Diesel en 0,1 ml, para observar la variación de recuperación. Se esperaba una mayor recuperación, ya que el Diesel en este proceso actúa como colector de molibdenita.

Se obtuvo un pH inicial de 9,8 al añadir solo el agua destilada a la celda, luego con el mineral arrojó un pH de 5,6, por lo que se debió añadir 1,9 gramos de cal, ya que se esperaba llegar a pH = 11, obteniéndose un pH = 12.

### **1.4 FLOTACIÓN 4**

En la cuarta y última flotación se utilizó mineral de - #200, con 30% de sólidos. Se trató 365,7 gramos de mineral y 855 ml de agua destilada.

En este último caso también se determinó la cantidad de Diesel en 1ml.

El pH medido al agua en la celda fue de 6,1. Luego de añadir el mineral y los reactivos, se debió añadir 0,7 gramos de cal, alcanzando un pH de 8,5. En este caso el pH esperado era de 9.

Se observó que en el proceso de burbujeo, la espuma se demoró más en subir y rebalsar, respecto de los casos anteriores.

### **1.5 TABLA RESUMEN DE TODOS LOS PROCESOS REALIZADOS**

A continuación se presenta una tabla, con todas las flotaciones realizadas y sus respectivos datos obtenidos, durante el proceso.

FLOTACIÓN	1	2	3	4
Porcentaje de Sólidos	40	40	30	30
Cantidad de Diesel añadido (ml)	0,03	0,03	0,1	1
Cantidad de mineral añadido (g)	500,6	500,6	365,5	365,7
Granulometría	-#170 y +#200	-#100 y +#120	-#100 y +#120	-#200
Cantidad de agua (ml)	800	800	855	855
Cantidad de cal añadida (g)	0,6	2,4	1,9	0,7
Cantidad de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> añadida (ml)	0,0	0,0	0,0	0,0
pH inicial	7,2	8,4	9,8	6,1
pH final	8,2	10,4	12	8,5

Fuente: Tabla elaborada por alumna.

Tabla 3-1, Resumen datos de flotaciones.

## 2. RESULTADOS OBTENIDOS

Los cuatro concentrados obtenidos fueron enviados a análisis químico, para obtener la concentración de molibdeno, también se envió una muestra del mineral sin tratar para tener una concentración inicial con la cual comparar las recuperaciones obtenidas.

Sin embargo los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que como se observa en la figura 3-1, todas las concentraciones fueron inferiores a 0,11 mg/L.

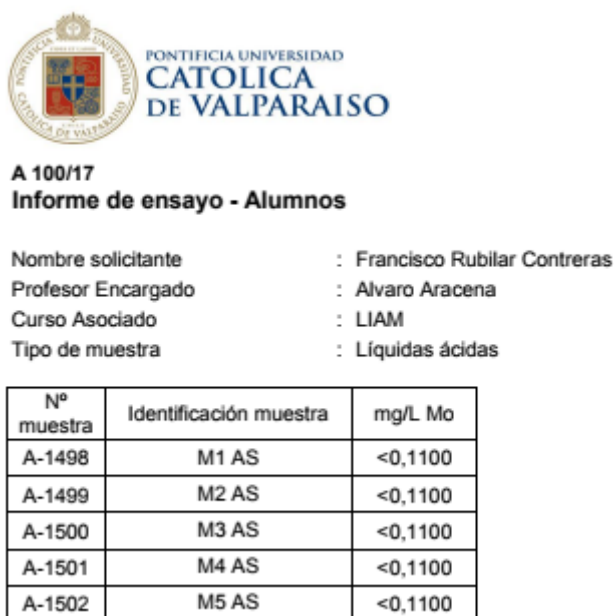


Figura 3-1, Resultados Obtenidos.

En base a estos resultados se deduce, en primer lugar, que el mineral utilizado no tenía molibdeno, o tenía muy bajas concentraciones del mismo, por lo que el proceso de flotación fue irrelevante para el resultado de las concentraciones obtenidas en los concentrados.

Por otra parte, se encuentran los errores que se pueden haber cometido en el procedimiento, comenzando por la dosificación de los reactivos que podría no haber sido la adecuada interfiriendo en la recuperación del mineral en cuestión.

Los reactivos seleccionados para realizar la flotación, pudieron no ser los más acertados para el resultado esperado, que era un incremento en la recuperación de molibdeno, comenzando por el Diesel que se utilizó como colector de molibdenita. El combustible fue obtenido desde una bencinera común, por lo que no se tenía la certeza de que esta

iba a funcionar en el proceso, por lo que se realizaron dos flotaciones con variaciones en las cantidades de Diesel, con el fin de observar las posibles variaciones que causara el combustible en el proceso.

La cantidad de Cal añadida fue en promedio de 1,4 gramos por litro, sin embargo no a todas las flotaciones se les añadió la misma cantidad, debido a que no todas las flotaciones tenían el mismo pH inicial, y en dos de ellas se deseaba llegar a pH 9, y en las otras dos, se deseaba llegar a pH 11. Este comportamiento aleatorio pudo afectar la recuperación del mineral estudiado, ya que no se tiene una cantidad fija de cal necesaria en el proceso de flotación, para alcalinizar la pulpa.

### 3. CONCLUSIONES

Lo que se ha deseado conseguir, es un procedimiento que optimice la recuperación de molibdeno en el proceso de flotación de mineral sulfurado, variando los parámetros convencionales del proceso, por otros que se consideraron más convenientes.

Para optimizar el proceso se hace necesario estudiar de manera teórica el proceso que se va a realizar, junto con los parámetros que se desean reemplazar, para acercarse a un resultado óptimo y evitar errores.

Se estableció un procedimiento para realizar cuatro flotaciones, de las cuales una tenía la característica de ser convencional, otra de parámetros variados, y dos flotaciones donde se varió la cantidad de colector añadido para evaluar la eficiencia de este. Sin embargo los resultados obtenidos se encuentran muy por debajo de la recuperación esperada, ya que aparentemente el mineral estudiado posee una muy baja concentración de molibdeno.

Es relevante mencionar, que previo a realizar la flotación del mineral, no se realizó ningún tipo de análisis para saber la ley que este contenía, por lo que se realizó el proceso sin saber con exactitud, cuáles serían los resultados, sino más bien se realizó una hipótesis de resultados esperados, en base a una investigación teórica.

Con la experiencia adquirida en este trabajo, se determina que es necesario realizar un análisis al material sólido que se desee estudiar, previamente a tratarlo para saber las concentraciones del mineral a extraer.

También queda descartado el estudio del Diesel, quien actuaría como colector sobre el molibdeno, ya que con la concentración que se tenía en el mineral sin procesar, y con los resultados obtenidos, es imposible definir si el colector cumplió o no la función esperada.

Finalmente, se deja abierta la opción de realizar el mismo procedimiento en mineral extraído desde otro yacimiento, con un previo estudio, de tal manera que se asegure una concentración de molibdeno que pueda ser extraída de manera convencional y con variaciones para observar una real optimización del proceso.

**SIGLA**

COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería

SAG: Semi-autógeno

pH: Potencial de Hidrógeno

RPM: Revoluciones por Minuto

**SIMBOLOGÍA**

mg: Miligramo

L: Litro

$\mu$ M: Micrometro

g: Gramos

T: Tonelada

#: Malla de Tamiz

$\rho$ : Densidad (rho)

%: Porcentaje

mL: Mililitros

## **BIBLIOGRAFIA**

- UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA. Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Analíticas. [En línea]. 27/07/2001  
<<http://www2.uned.es/cristamine/fichas/molibdenita/molibdenita.htm>>
- WIKIPEDIA. Molibdenita. [En línea]. [201\_].  
<<https://es.wikipedia.org/wiki/Molibdenita>>
- GRAFENO. Molibdenita, Un nuevo semiconductor. [En línea]. 31/01/2011.  
<<http://grafeno.com/molibdenita/>>
- MOLYMET. Uso del Molibdeno. [En línea]. [20\_\_].  
<<http://www.molymer.cl/es/Compania/Paginas/Applications-of-Molybdenum.aspx>>
- IRENE GONZÁLEZ. Molibdenita. [En línea]. 03/06/2012.  
<<http://molibdenitamos2.blogspot.cl/>>
- CODELCO. Innovación, Nuevos usos del cobre, Molibdeno. [En línea]. [20\_\_]. <[https://www.codelco.com/molibdeno/prontus\\_codelco/2011-06-03/224147.html](https://www.codelco.com/molibdeno/prontus_codelco/2011-06-03/224147.html)>
- WIKIPEDIA. Óxido de Calcio. [En línea]. [201\_].  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido\\_de\\_calcio#Aplicaciones\\_de\\_la\\_cal\\_viva](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_calcio#Aplicaciones_de_la_cal_viva)>
- DANAFLOAT. Minerales de Cobre-Molibdeno. [En línea]. [201\_].  
<[http://www.danafloat.com/es/mining\\_ores/copper\\_molybdenum](http://www.danafloat.com/es/mining_ores/copper_molybdenum)>
- DORWIL. Hoja de datos de seguridad, Ácido sulfúrico 95-98%. [En línea]. Febrero, 2008. <<http://www.dorwil.com.ar/msds/Sulfurico95-98.pdf>>
- SPT. Tabla de conversión de malla hasta micrones. [En línea]. [201\_].  
<<http://sunpowerspain.com/pdf/Domestico/TABLA%20DE%20CONVERSION%20DE%20MALLA%20A%20MICRONES.pdf>>

- EDISON QUISPE. Reativos de Flotación II. [En línea]. 27 de octubre, 2013.  
<<https://es.slideshare.net/erqbfimmuncp2/reactivos-y-flotacion>>