

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA PARA CARACTERIZACIÓN DE MINERALES EN FLOTACIÓN
A ESCALA DE LABORATORIO.

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Técnico Universitario en MINERÍA Y
METALURGIA

Alumnos:
Scarlett Israel Sazo Núñez
Camila Andrea Sánchez Gallardo

Profesor Guía:
Ing. Luis Gutiérrez Meneses

RESUMEN

Keywords: caracterización- propiedades- minerales- procedimiento.

El presente trabajo se orienta en lograr proponer una caracterización de minerales mediante baterías de ensayos a escala de laboratorio estableciendo la viabilidad del proceso de flotación con el propósito de saber que mineral se está llevando a flotar y que logre ser implementado como laboratorio en alguna asignatura que imparta esta materia en la universidad técnica federico santa maría sede viña del mar.

Para lograr la propuesta se realizó una investigación de los principales minerales sulfurados al momento de llevar a cabo el proceso de flotación a nivel de laboratorio, donde se caracterizaron mediante sus propiedades físicas, ópticas y magnéticas.

Consiguiente se investigaron cuáles son los parámetros más importantes en el proceso de flotación, y el enfoque fue definir que son los reactivos, granulometría, pH de pulpa, aireación y porcentaje de sólidos. De esta manera se encontraron tres principales experiencias de laboratorios en flotación con los minerales de molibdenita, calcopirita y pirita donde se logra apreciar su proceso, aplicación de reactivos, y la importancia de los parámetros mencionados anteriormente.

Se realizó una identificación de los ensayos simples a utilizar para que la descripción del mineral sea lo más acertada posible, basándose en su color, brillo, raya, habito, fractura, reacción al HCl, magnetismo, peso específico y tenacidad.

Finalmente se logró llevar a cabo el objetivo de esta investigación ya que se creó una guía de laboratorio, con los materiales e implementos de seguridad a utilizar, su procedimiento experimental con el paso a paso de cómo realizar cada prueba y una hoja de apoyo para ser entregado al alumno como guía, por otro lado se realizó la rúbrica de evaluación específica indicando ítems y puntajes que debiese tener el informe entregado por el alumno para que este laboratorio sea evaluado de la mejor manera por un profesor o ayudante y finalmente se indicaron los insumos y costos que generaría la implementación de este laboratorio para la universidad.

Cabe destacar que esta guía de laboratorio puede ser utilizada para identificar cualquier tipo de mineral o roca obtenida de algún yacimiento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
PROBLEMÁTICA	3
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y CARACTERIZACIÓN DE MINERALES SULFURADOS.	5
1. ANTECEDENTES GENERALES Y CARACTERIZACIÓN DE MINERALES SULFURADOS	6
1.1. PROPIEDADES FÍSICAS	6
1.1.1 Dureza de un mineral.	6
1.1.2. Fractura de un mineral.	7
1.1.3. Exfoliación de un mineral.	7
1.1.4. Tenacidad del mineral.	8
1.1.5. Peso específico.	9
1.1.6. Brillo de un mineral.	10
1.1.7. Color de un mineral.	11
1.1.8. Raya de un mineral.	12
1.1.9. Habito cristalino de un mineral.	13
1.2. PROPIEDADES MAGNÉTICAS.	13
1.3. PROPIEDADES ELÉCTRICAS.	13
1.4. PRINCIPALES MINERALES SUSCEPTIBLES A FLOTACIÓN	13
1.4.1. Calcopirita	13
1.4.2. Molibdenita	14
1.4.3. Galena	15
1.4.4. Pirita	16
1.4.5. Esfalerita	17
1.4.6. Cinabrio	18
1.4.7. Esteatita	19
CAPÍTULO 2: PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO Y DIFERENCIACIÓN DE LABORATORIOS ASOCIADOS A FLOTACIÓN.	21
2. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO Y DIFERENCIACIÓN DE LABORATORIOS ASOCIADOS A FLOTACIÓN	22
2.1. PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES A CONSIDERAR	22
2.1.1. Porcentaje de sólidos	23
2.1.2. Aireación	23
2.1.3. pH de la pulpa	24
2.1.4. Reactivos	24
2.2. FACTORES PARA CONSIDERAR EN LA PREPARACIÓN DE PULPA	26
2.2.1. pH	26
2.2.2. Reactivos	26
2.2.3. Granulometría	28
CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.	35
3. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.	36

3.1. ENSAYOS SIMPLES A ESCALA DE LABORATORIO	36
3.2. GUÍA DE LABORATORIO	37
3.3. GUÍA PRACTICA DE LABORATORIO	39
3.4. RUBRICA DE EVALUACIÓN.....	40
3.5. INSUMOS Y COSTOS DEL LABORATORIO.....	42
CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47
Tesis citadas.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESCALA DE MOHS	6
TABLA 2: DENSIDAD DE MINERALES	10
TABLA 3: TIPOS DE BRILLOS.....	11

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 : RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE ASIGNATURA CONCENTRACIÓN DE MINERALES ENTREGADOS POR JEFE DE CARRERA.	3
ILUSTRACIÓN 2 RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE ASIGNATURA INTRODUCCIÓN A MINERÍA Y METALURGIA, ENTREGADOS POR JEFE DE CARRERA.	4
ILUSTRACIÓN 3 : FRACTURA DE MINERAL TIPO CONCOIDEA DE UN TROZO DE OBSIDIANA.	7
ILUSTRACIÓN 4 : EXFOLIACIÓN EN ROCA DE YESO.....	8
ILUSTRACIÓN 5: TROZO DE ROCA DE TALCO.	9
ILUSTRACIÓN 6 : ROCAS Y SUS COLORES.....	12
ILUSTRACIÓN 7 RAYAS DE ROCAS DIFERENTES.	12
ILUSTRACIÓN 8 FASES DEL PROCESO HETEROGÉNEO	22
ILUSTRACIÓN 9 PROCESO DE FLOTACIÓN DENTRO DE UNA CELDA. /	23
ILUSTRACIÓN 10 : ESCALA DE PH.....	24
ILUSTRACIÓN 11 : ESPUMANTE.	25
ILUSTRACIÓN 12 : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.	28

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

A. SIGLAS

N°	:	Numero
%	:	Porcentaje
pH	:	Porcentaje de Hidrogeno
Cu	:	Cobre
Mo	:	Molibdeno
RPM	:	Revolución por minuto
Fe	:	Hierro
μM.	:	Micromol
Mg3	:	Nitrato de Magnesio
Si4	:	Silano
O10	:	Oxido de Fosforo
ZnS	:	Sulfuro de Cinc
NaCl	:	Cloruro de Sodio

B. SIMBOLOGÍA

g/cm ³	:	Gramo por centímetro cubico
#	:	Numero de malla
Kg	:	Kilogramos
gr	:	Gramos
°C	:	Grado Celsius
Lts	:	Litros
cc	:	Centímetros
Cm ³	:	Centímetros cúbicos
min	:	Minutos
seg	:	Segundos
g/t	:	Gramos por cantidad de toneladas
>	:	Signo mayor que
Ptos	:	Puntos
Aprox	:	Aproximado

INTRODUCCIÓN

Las propiedades de los materiales son el conjunto de características que hacen que el material se comporte de una manera determinada ante estímulos externos, los materiales que se necesitan para elaborar un determinado producto se diferencian entre sí y los vamos a elegir en función de sus propiedades.

Las propiedades de los materiales se pueden agrupar dependiendo de distintos criterios, nosotros vamos a establecer la siguiente clasificación las que pueden determinarse por inspección visual sencilla o ensayos simples:

- Propiedades de resistencia
- Propiedades ópticas
- Propiedades a través del aspecto

Estas propiedades son el resultado directo de sus características químicas y estructurales, donde podemos encontrar por ejemplo el color, el brillo, dureza, hábito, fractura, entre otras.

Lograr identificar los minerales según estas propiedades es de suma importancia y eficacia para el proceso de flotación, ya que de esta manera podemos observar si estamos en presencia de minerales sulfurados u oxidados.

La flotación es un proceso heterogéneo, es decir, involucra más de una fase: sólido (mineral), líquido (agua) y gaseosa (burbujas). Para entender el proceso, es necesario estudiar las propiedades fisicoquímicas de las superficies de los minerales ya que se logra separar el mineral valioso del no valioso mediante estas propiedades ya que al saberlas se pueden conocer las adiciones de reactivos que se le aplicaran.

El proceso de flotación es una etapa de la concentración de minerales que ocurre en tres fases (líquido, sólido y gas). Se separa el mineral valioso de aquel material no valioso aprovechando sus características físico - químicas mediante la adición de reactivos; esto propicia la generación de espumas y su posterior colección mediante canaletas o launders, para lo cual se utilizan equipos mecánicos, y/o neumáticos, denominadas celdas de flotación.

El proceso de flotación de una planta concentradora es una etapa fundamental del proceso de concentración de minerales al coleccionar en ella el mineral valioso que se refleja en el rendimiento metalúrgico del proceso; esto es en la recuperación del material y la calidad del producto; todo lo cual tiene un efecto directo sobre los ingresos de la empresa.

La finalidad de este trabajo de título es lograr que los alumnos sepan identificar un mineral o roca, mediante los ensayos simples mencionados anteriormente, y que se logre obtener todos los conocimientos que conlleva esta investigación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Proponer una caracterización de minerales mediante baterías de ensayos a escala de laboratorio estableciendo la viabilidad del proceso de flotación.

Objetivos específicos

- Caracterizar los minerales susceptibles a flotación de acuerdo con su composición mineralógica y propiedades mecánicas estableciendo sus condiciones físico química.
- Diferenciar los parámetros a considerar en laboratorios asociados a flotación de acuerdo con menas, seleccionando los ensayos o pruebas a utilizar más relevantes.
- Elaborar un procedimiento para minerales susceptibles a flotar de acuerdo con ensayos a escala de laboratorio indicando insumos y costos al laboratorio.

PROBLEMÁTICA

No existe una batería estándar de pruebas a nivel de laboratorio en la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del mar, que permita caracterizar mineralógicamente cierto mineral de un yacimiento para lograr saber su reacción a la flotación. Es por esto se requiere encontrar los niveles óptimos de estas variables.

Es muy importante recalcar que en las asignaturas de introducción a minería y metalurgia y concentración de minerales no existe en el laboratorio de cada asignatura la identificación mediante pruebas para identificar si el mineral se podrá flotar o no. Es por lo que esta investigación será muy importante para darle un beneficio importante a las asignaturas. (le implementamos un laboratorio a introducción a minería y metalurgia???)

Concentración de minerales es una asignatura de la especialidad que complementa la asignatura de preparación mecánica de materiales la cual entrega a los estudiantes las herramientas para poder diferenciar en forma teórica y práctica las diferentes formas y equipos relacionados a la concentración de acuerdo con las características mineralógicas.

En los resultados de aprendizaje de esta asignatura no especifica en algún punto como lograr identificar mediante ciertas pruebas si el mineral podrá ser flotado o no, como se muestra a continuación:

RESULTADOS DE APRENDIZAJE QUE SE ESPERAN LOGRAR EN ESTA ASIGNATURA.
RdA1. Diferencias las formas de concentración de los minerales de acuerdo a sus características mineralógicas y composición química.
RdA2. Define el efecto de las variables operacionales del proceso de flotación. Según la concentraciones del mineral
RdA3 Determina el o los reactivos asociados a la flotación del mineral de acuerdo a grado de liberación y composición química
RdA4 Define el efecto de las variables operacionales del proceso de lixiviación. Según la concentraciones del mineral
RdA5 Define el efecto de las variables operacionales del proceso de concentración magnética Según la concentraciones del mineral
RdA6 Elabora un método de concentración por Flotación, de acuerdo a tensión superficial, viscosidad y otros parámetros relacionados el mineral.

Ilustración 1 : Resultados de aprendizaje de asignatura concentración de minerales entregados por jefe de carrera.

Por otro lado la asignatura de introducción a minería y metalurgia tiene una naturaleza teórica practico cuyo propósito es introducir al estudiante en los fundamentos y conocimientos básicos de ambas ciencias, a través de los diversos procesos minero-metalúrgicos.

En los resultados de aprendizaje esperados por la asignatura tampoco especifica en algún punto como identificar mediante ciertas pruebas si el mineral podrá ser flotado o no, como se muestra a continuación:

RESULTADOS DE APRENDIZAJE QUE SE ESPERAN LOGRAR EN ESTA ASIGNATURA.
RdA1 Identifica los principales equipos a utilizar, en operaciones de perforación.
RdA2 Reconoce equipos adecuados para Carguío y Transporte en yacimientos mineros.
RdA3 Diferencia los procesos metalúrgicos considerando características mineralógicas.

Ilustración 2 Resultados de aprendizaje de asignatura introducción a minería y metalurgia, entregados por jefe de carrera.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y CARACTERIZACIÓN DE
MINERALES SULFURADOS.**

1. ANTECEDENTES GENERALES Y CARACTERIZACIÓN DE MINERALES SULFURADOS

1.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de los minerales son muy importantes para la determinación rápida de estos, pues muchos pueden reconocerse por simple observación. Estas propiedades se pueden agrupar en:

- Propiedades de resistencia
- Propiedades ópticas
- Propiedades a través del aspecto

A continuación, se describirán todas las propiedades de resistencia, ópticas y de aspecto.

1.1.1 Dureza de un mineral.

La dureza es una propiedad bastante característica, la cual se define como la resistencia que ofrece la super lisa de una mineral a ser rayada, esto dependerá de la cohesión y por lo tanto de la estructura, cuanto mayor sea la fuerza de enlace, mayor será la dureza y también su composición química. La dureza varía con la dirección, su determinación exacta es difícil para esto existe la identificación mediante la escala de Mohs, esta escala toma como referencia 10 minerales a los cuales se les asigna un número entero, comparando sus durezas se puede determinar la de cualquier mineral.

El mineral número superior, raya a los inferiores, como se muestra en la imagen siguiente.

Dureza	Mineral	Comentario
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con una uña.
2	yeso	Se puede rayar con la uña con más dificultad.
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre.
4	Fluorita	Se puede rayar con un cuchillo.
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo.
6	Ortoclasa	Se puede rayar con una lija de acero.
7	Cuarzo	Raya el vidrio.
8	Topacio	Raya a todos los anteriores. Esmeralda.
9	Corindón	Zafiros y rubíes son formas de corindón.
10	Diamante	El mineral más duro.

Tabla 1: Escala de Mohs

<https://eloviparo.wordpress.com/2012/02/10/escala-de-mohs/>

1.1.2. Fractura de un mineral.

La rotura de un mineral es la manera en que se rompe a lo largo de una superficie irregular, según el aspecto que presente la superficie de rotura estas se pueden identificar para describir la naturaleza de las caras rotas, estos son los siguientes:

- Concoidea: El tipo más común de fractura, es una rotura limpia, hueca y curvada
- Subconcoida: Como la anterior (concoidea), aunque menos pronunciada
- Desigual: Esta se produce cuando la línea de rotura es desigual
- Recortada: Similar a la desigual, pero tiene puntos nítidamente agudos en la línea de rotura.
- Astillada: Se produce cuando una fractura da lugar a una rotura fibrosa o acicular.
- Terrosa: Resultado de una fractura en un material mal consolidado.

En la siguiente imagen se puede mostrar cómo se ve un tipo de fractura en la roca obsidiana:



Ilustración 3 : Fractura de mineral tipo concoidea de un trozo de obsidiana.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Fractura_\(geolog%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Fractura_(geolog%C3%ADa))

1.1.3. Exfoliación de un mineral.

La exfoliación tendencia de un mineral a romperse en direcciones preferentes, a lo largo de planos de debilidad reticular, produciendo superficies planas y brillantes, es una consecuencia del arreglo interno de los átomos. Representa la dirección de debilidad en que los enlaces atómicos son relativamente débiles dentro del mineral, un mineral se rompe a lo largo de planos paralelos a esta dirección.

Existen distintos grados de exfoliación, los cuales son:

- Excelente: el mineral se rompe en finas laminas en un sentido
- Perfecta: el mineral se rompe en formas regulares delimitadas por los planos de exfoliación

- Buena: los planos de exfoliación son menos visibles y no siempre perfectamente rectos
- Imperfecta: no hay plano de exfoliación metros. Los planos por los que se rompe el mineral son superficies irregulares.
- Muy imperfecta: no hay exfoliación.

En la siguiente imagen se muestra una roca de Yeso el cual se rompe de forma perfecta:



Ilustración 4 : Exfoliación en roca de Yeso

<https://www.geoaprendo.com/2014/04/yeso-gypsum-mineral.html>

1.1.4. **Tenacidad del mineral.**

La tenacidad de un mineral es la resistencia que opone a ser roto, molido, doblado, o, desgarrado, en resumen, su cohesión:

- Frágil: un mineral que fácilmente se rompe o se reduce a polvo.
- Maleable: un mineral que puede ser conformado en hojas delgadas por percusión.
- Sectil: un mineral que puede cortarse en virutas delgadas con un cuchillo.
- Dúctil: un mineral al que se puede estirar en forma de hilo.
- Flexible: un mineral que, tras aplicarle una presión, puede ser doblado, pero no recupera su forma original.
- Elástico: un mineral que recobra su forma primitiva al cesar la fuerza que lo ha deformado.

En la siguiente ilustración se muestra un pedazo de roca de talco, el cual su tenacidad es flexible:



Ilustración 5: Trozo de roca de Talco.

<https://www.asturnatura.com/articulos/minerales/propiedades-fisicas/tenacidad.php>

1.1.5. Peso específico.

Es un número que expresa la relación entre el peso del mineral y el peso de un volumen igual de agua a 4°C (es la temperatura en la que el agua alcanza su densidad exacta de 1g/cm³)

El peso específico de un mineral es constante, por lo que su determinación es un valor importante en la identificación de un mineral, este factor dependerá principalmente de:

- La clase de átomos de que está compuesta.
- La manera como están empaquetados los átomos.

La mayoría de los minerales que forman las rocas tienen un peso específico de alrededor de 2,7. Aunque físicamente el concepto de peso específico es diferente al de densidad, es común utilizar estos términos como sinónimos (la densidad es la masa por unidad de volumen de un material. Suele expresarse en gramos por centímetro cúbico).

En la tabla de a continuación se muestran algunos ejemplos de densidades de ciertos minerales.

Densidad de algunos minerales	
Densidad en g/cm³	Mineral
2,65	Cuarzo
2,5	Feldespatos
2,6-2,8	Plagioclasa
4,47	Baritina
4,9	Magnetita
5,0-5,2	Pirita
19,3	Oro

Tabla 2: Densidad de minerales.

<https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap02a.htm>

1.1.6. Brillo de un mineral.

Es una propiedad compleja que describe el aspecto que presenta la superficie de un mineral cuando se refleja la luz, por lo tanto, depende de la intensidad de la reflexión. El brillo no tiene relación alguna con el color del mineral. Los términos que se utilizan para referirse al brillo tratan de ser descriptivos, pero se requiere un poco de entrenamiento para su correcta utilización. En principio podemos dividir el brillo en dos tipos: Metálico, cuando su superficie brilla como los metales, reflejando totalmente la luz. Si no es así, se dice que el brillo es no metálico, y se intenta determinar si es:

Tipo	Descripción	Ejemplo
Aceitoso	Como la superficie del aceite	Peridoto
Céreo	Parecido a la cera	Turquesa
Diamantino	Un brillo muy intenso	Diamante
Graso	Parecido a la grasa	Vesubiana
Mate	Superficie no reflectante	Labradorita
Metálico	Con aspecto de metal brillante	Pirita
Nacarado	Con aspecto a nácar	Molibdeno
Resinoso	Con aspecto a resina	Mimetita
Sedoso	Parecido a la seda	Malaquita
Sub metálico	Con aspecto de metal mate	Wolframita
Terroso	Con aspecto de barro seco	Arcilla
Vitreo	Parecido al cristal	Cuarzo

1.1.6. Transparencia de un mineral.

La propiedad de la transparencia está estrechamente vinculada con el brillo y es función del comportamiento del rayo de luz en los cristales de los minerales.

- Transparentes: si puede apreciarse con nitidez el contorno de un objeto situado detrás.
- Semitransparente: cuando no se puede precisar el contorno de un objeto situado detrás.
- Translúcidos: si deja pasar luz, pero no es posible la observación de los objetos situados al otro lado.
- Semi translúcidos: el mineral es atravesado por la luz en sus bordes más delgados.
- Opacos: los cristales impiden totalmente el paso de la luz.

No es una propiedad importante en el reconocimiento de minerales; algunos de ellos translúcidos o transparentes se convierten en opacos mediante inclusiones o alteraciones.

1.1.7. Color de un mineral.

El color de los minerales depende de la incidencia del rayo de luz y de la absorción diferencial de las ondas luminosas. En algunos casos el color es propio del mineral, debido a cantidades apreciables de un elemento dado, como el hierro que tiene un fuerte poder de pigmentación.

En otros casos el color se debe a la presencia de impurezas, es lo que ocurre en los minerales alcromáticos.

A continuación se puede observar en la ilustración distintos tipos de rocas y sus colores diferentes:



Ilustración 6 : Rocas y sus colores.

<https://geotecniafacil.com/propiedades-fisicas-identificar-minerales/>

1.1.8. Raya de un mineral.

Color del polvo de un mineral cuando este es rayado, raspado o pulverizado sobre una placa de porcelana deslustrada (no pulida), cuando un mineral presenta variaciones de color, permite; uniformar el color de un mineral o determina un color único.

En la siguiente ilustración se muestran distintos tipos de rocas y se logra apreciar el color de sus rayas:



Ilustración 7 Rayas de rocas diferentes.

<http://therainbowfish1.blogspot.com/2018/10/la-rama-de-un-mineral-streak.html>

1.1.9. Habito cristalino de un mineral.

Es el aspecto natural en que se presentan los minerales en la naturaleza y los más corrientes son:

- Columnas: alargado en una dirección y semejante a las columnas.
- Prismático: alargado en una dirección.
- Tabular: alargado en dos direcciones.
- Laminar: alargado en una dirección y con bordes finos.
- Hojoso: simias a las hojas, que fácilmente se separa en hojas.
- Botroidal: grupo de masas globulares.
- Granular: formado por un agregado de granos.
- Masivo: compacta, irregular, sin ningún habito sobresaliente.

1.2. PROPIEDADES MAGNÉTICAS.

Cuando los minerales son fuertemente atraídos por un imán se denominan ferromagnéticos (magnetita). Cuando son atraídos débilmente paramagnéticos (hematita, siderita). Cuando no son atraídos diamagnéticos (azufre, cuarzo).

1.3. PROPIEDADES ELÉCTRICAS.

Los metales nativos, los sulfuros y los óxidos transmiten la corriente eléctrica; sin embargo, la mayoría de los minerales son malos conductores o dieléctricos. Algunos minerales (con ejes polares, esto es sin centro de simetría) al estar sometidos a presión adquieren cargas eléctricas de signo contrario en sus extremos. El fenómeno se conoce como piezoelectricidad (ej. cuarzo). Algunos cristales cuando se someten a variaciones térmicas se cargan de electricidad en algunas caras, el fenómeno se conoce como piroelectricidad (ej. turmalina).

1.4. PRINCIPALES MINERALES SUSCEPTIBLES A FLOTACIÓN

1.4.1. Calcopirita

La calcopirita es un mineral que pertenece al grupo de los sulfuros, tiene fórmula química CuFeS_2 , donde el 34.6% del volumen es de cobre (Cu), su origen es principalmente hidrotermal asociado con vetas hidrotermales y depósitos tipo pórfido cupríferos, además, representa la mena más común para la explotación de cobre.

○ **Tabla con las propiedades**


Exfoliación	Poco marcada	
Formula química	CuFeS ₂	
Dureza	3.5 - 4(Mohs)	
Tenacidad	Quebradizo	
Densidad	8.95 g/cm ³	
Transparencia	Opaco	
Color	Amarillo latón, amarillo miel.	
Raya	Negra verdosa.	
Habito	Comúnmente en drusas, con caras estriadas.	

1.4.2. Molibdenita

La molibdenita es un mineral del grupo II (sulfuros), según la clasificación de Strunz; es un disulfuro de molibdeno (MoS₂). Es de apariencia y de tacto similar al grafito; y también posee propiedades lubricantes que son consecuencia de su estructura de capas. La estructura atómica consiste en láminas de átomos de molibdeno contenidos entre láminas de átomos de azufre. La molibdenita se produce en depósitos minerales hidrotermales de alta temperatura. Entre los minerales asociados a ella se encuentran la pirita, la calcopirita, el cuarzo, la anhidrita y la fluorita.

Tabla con sus propiedades:

Exfoliación	Perfecta
Formula química	MoS ₂
Dureza	1-1.5 (Mohs)
Brillo	Metálico
Tenacidad	Láminas flexibles, pero no elásticas. Es Sectil.
Fractura	Desmenuzado
Densidad	4.62 a 4.73 g/cm ³
Color	Negro, Gris azulado plateado, a veces violeta.
Raya	Gris azulado o gris verdoso.
Habito	Cristales hexagonales delgados y laminados terminados por caras pinacoidales, también como pirámides de seis caras, que pueden estar truncados por los pinacoides.



1.4.3. Galena

La galena es un mineral del grupo de los sulfuros. Forma cristales cúbicos, octaédricos y cubo-octaédricos. Su dureza en la escala de Mohs es de 2,5 a 3.1 La disposición de los iones en el cristal es la misma que en el cloruro de sodio (NaCl), la sal marina. Su fórmula química es PbS.

Químicamente se trata de sulfuro de plomo aunque puede tener cantidades variables de impurezas. Así, su contenido en plata puede alcanzar el 1%.

Tabla con sus propiedades

Exfoliación	Cubica perfecta
Formula química	PbS
Dureza	2.5-3 (Mohs)
Magnetismo	Diamagnético
Brillo	Metálico en fracturas recientes. Mate en superficies antiguas.
Fractura	Subconcoida
Solubilidad	Soluble en ácido clorhídrico, emanando el olor de huevos podridos.
Conductividad	Conductor
Tenacidad	Frágil
Transparencia	Opaca
Densidad	7.6 g/cm ³
Color	Gris plomo, algo más claro si contiene plata.
Raya	Gris plomo.
Habito	Masivo, fibroso y granular.

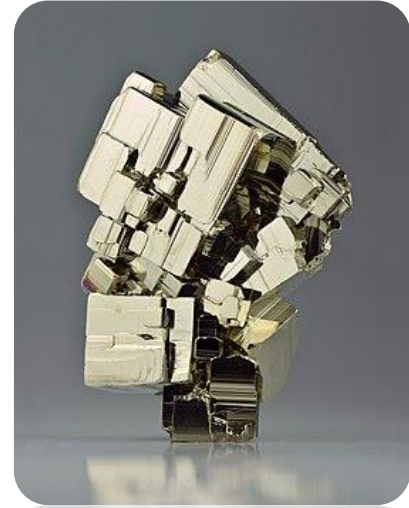


1.4.4. Pirita

La pirita es un mineral del grupo de los sulfuros cuya fórmula química es FeS₂. Se compone de un 53,48 % de azufre y un 46,52 % de hierro. Frecuentemente macizo, granular fino, algunas veces sub fibroso radiado; reniforme, globular, estalactítico. Insoluble en agua, y magnética por calentamiento. También conocida como el "oro de los tontos", el "oro de los locos" o el "oro de los pobres" por su gran parecido con el oro.

Tabla con sus propiedades:

Exfoliación	Cubica
Formula química	FeS ₂
Dureza	6-6.5 (Mohs)
Brillo	Metálico
Fractura	Concoidea o regular
Transparencia	Opaco
Densidad	4,95 – 5,10 g/cm ³
Habito cristalino	Cúbico. También puede presentarse en octaedros y piritoedros.
Solubilidad	Es insoluble en agua, pero soluble en ácido nítrico
Conductividad	Semi conductor
Color	Amarillo latón pálido y Dorado
Tenacidad	Muy frágil.
Raya	Negra-verduzca a negra-marrón
Magnetismo	Magnética después de calentar



1.4.5. Esfalerita

La esfalerita o blenda es un mineral del sulfuro de zinc (ZnS), se presenta en muchos colores y formas distintas. Las impurezas de hierro a menudo están presentes en este mineral, y por esta razón no es comúnmente transparente. Si la esfalerita contiene una gran cantidad de impurezas de hierro, tendrá un color gris oscuro o negro metálico, que es típico de la mayoría de los minerales de sulfuro. La esfalerita es uno de los pocos minerales que puede abarcar desde cristales transparentes gemelos hasta cristales oscuros de color negro metálico.

Tabla con sus propiedades:

Exfoliación	Perfecta
Formula química	ZnS
Dureza	3,5-4 (Mohs)
Brillo	Adamantino
Fractura	Concoidea.
Transparencia	Entre transparente y opaco.
Densidad	6.9 – 7.2 g / cm ³ (Medido) 7.135 g / cm ³ (Calculado)
Color	Amarilla, anaranjada, marrón, negra
Tenacidad	Quebradizo.
Raya	Amarillo pálido a marrón.



1.4.6. Cinabrio

El cinabrio o bermellón (por su color), también conocido como cinabarita, es un mineral de la clase de los sulfuros (sulfuro de mercurio). Está compuesto en un 85 % por mercurio y 15 % de azufre. En cuanto a su simetría y propiedades ópticas presenta un parecido notable con el cuarzo.


Tabla con sus propiedades:

Exfoliación	Prismática, perfecta.	
Formula química	HgS	
Dureza	2-2,5 (Mohs)	
Brillo	Adamantino a terroso.	
Fractura	Irregular a concoideal.	
Densidad	8,176 g/cm ³	
Color	Roja	
Tenacidad	Blando.	
Raya	Roja.	

1.4.7. Esteatita

La esteatita, también conocida como piedra o roca de jabón, es una roca metamórfica muy blanda, de tipo predominantemente ultramáfico compuesto en gran parte por mineral de talco, por lo que es rica en magnesio, y con pequeñas cantidades de clorita, anfíboles, piroxenos, óxidos (piritas y magnetitas), carbonatos, olivino, serpentina y micas negras.¹ Se produce por metamorfismo dinamo térmico y metasomatismo en las zonas donde las placas tectónicas están subducidas, cambiando las rocas por calor y presión, con afluencia de fluidos, pero sin fusión. Desde un punto de vista físico, tienen características particulares, ya que son a la vez resistentes y blandas y, por lo tanto, relativamente fáciles de manejar con herramientas simples y ha sido un material usado para el tallado durante miles de años.

Tabla con sus propiedades:

Exfoliación	Masivo – cristales uniformemente indistinguibles que forman masas grandes.	
Formula química	$Mg_3 Si_4 O_{10} (OH)_2$.	
Dureza	1 (Mohs)	
Brillo	Craso, sedoso o a veces nacarado en fresco	
Habito	Cristales extremadamente raros, normalmente en masa compacta de grano fino.	
Fractura	Desigual en superficies planas, sin hendiduras, donde se fracturan en un patrón desigual.	
Transparencia	Traslucido	
Densidad	2.75 g / cm ³	
Color	Blanco verde, blanco, gris pálido, blanco amarillento, blanco parduzco.	
Tenacidad	Sectil	
Raya	Blanca	

**CAPÍTULO 2: PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO Y
DIFERENCIACIÓN DE LABORATORIOS ASOCIADOS A FLOTACIÓN.**

2. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO Y DIFERENCIACIÓN DE LABORATORIOS ASOCIADOS A FLOTACIÓN

2.1. PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES A CONSIDERAR

La flotación es un proceso fisicoquímico 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. Cabe destacar que es un proceso heterogéneo, es decir, involucra más de una fase: sólido(mineral), líquidos(agua), y gaseosa(burbujas). A continuación se muestra una ilustración grafica de las fases:

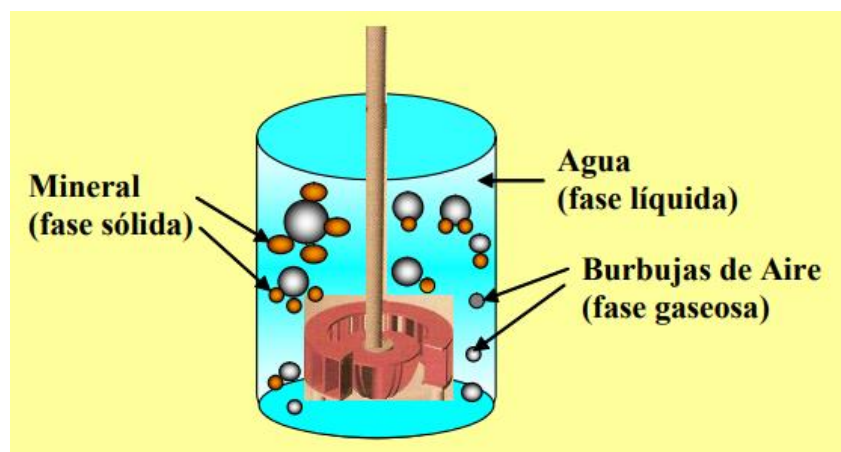


Ilustración 8 fases del proceso heterogéneo -

<http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Fundamentos%20de%20flotaci%C3%B3n%20de%20minerales.pdf>

El proceso de flotación se basa en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales. Se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de sólidos frente al agua los principios básicos en que se fundamenta el proceso de la flotación son los siguientes:

- La hidrofobicidad del mineral que permite la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de aire.
- La formación de una espuma estable sobre la superficie del agua que permite mantener las partículas sobre la superficie.

Para establecer estos principios se requiere la adición de reactivos químicos al sistema. Estos reactivos de flotación son los colectores, depresores, activadores y modificadores, cuyas acciones principales son inducir e inhibir hidrofobicidad de las partículas y darle estabilidad a la espuma formada.

Las partículas minerales hidrofóbicas tienen la capacidad de adherirse a la burbuja, en tanto que las hidrofílicas, como la ganga, no se adhieren. La superficie hidrofóbica presenta afinidad por la fase gaseosa y repele la fase líquida, mientras que la superficie hidrofílica tiene afinidad por la fase líquida.

Dentro del proceso de flotación se conocen distintos parámetros, los cuales a continuación mencionamos los que tienen la mayor importancia para el proceso previo que necesitamos hacer en nuestra investigación.

2.1.1. 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.

2.1.2. 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 giratoria (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.

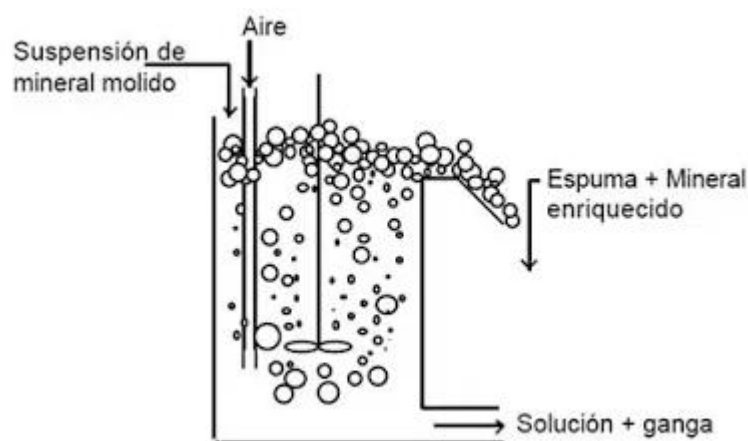


Ilustración 9 Proceso de flotación dentro de una celda.

2.1.4.3. Espumantes

Sustancias predestinadas para la estabilización de las burbujas aéreas y de la espuma de flotación, Sus funciones son disminuir la tensión superficial del agua, disminuir la coalescencia de burbujas, formar burbujas más finas, regularizar la velocidad a la cual las burbujas suben hacia la superficie de la pulpa y por último estabilizar la espuma. A continuación se muestra una ilustración de su función:

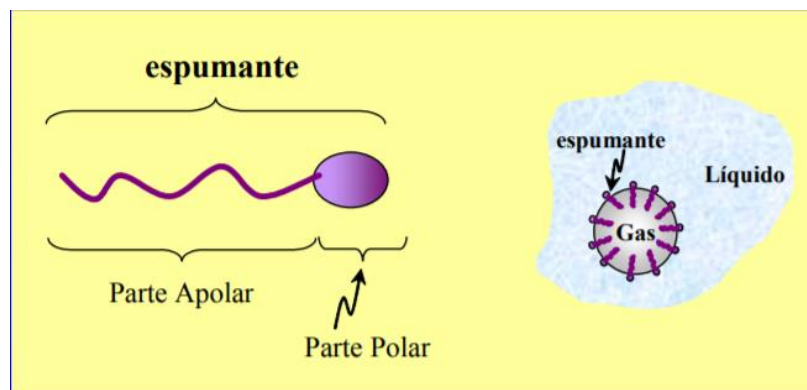


Ilustración 11 : Espumante.

<http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Fundamentos%20de%20flotaci%C3%B3n%20de%20minerales.pdf>

2.1.4.4. Activadores

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

2.1.4.5. 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.

2.1.4.6. 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.

2.2. FACTORES PARA CONSIDERAR EN LA PREPARACIÓN DE PULPA

La pulpa es una mezcla de mineral molido con el agua, y viene a constituir el elemento básico de la Flotación, ya que, contiene todos los elementos que forman el mineral. La pulpa debe reunir ciertas condiciones, debe estar debidamente molida a un tamaño específico, dentro de este rango de tamaño de partículas, se podrá recuperar de manera efectiva las partículas del mineral sulfurado.

El proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral a fin de crear condiciones favorables para la anexión de ciertas partículas minerales a las burbujas de aire. Estas burbujas de aire llevan consigo los minerales seleccionados a la superficie de la pulpa y forma una espuma estabilizada que es recogida mientras los otros minerales permanecen sumergidos en la pulpa y constituyen las colas o relaves.

Para la preparación correcta de la pulpa se debe pasar por ciertos procedimientos antes, los cuales son los siguientes:

2.2.1. pH

Como se indica anteriormente el pH es una parte importante de las condiciones que debe tener la pulpa al momento de realizar una flotación selectiva.

Esto dependerá completamente de que mineral se procederá a flotar ya que todos tienen un pH óptimo o estandarizado, donde uno puede ir variando según lo que se desee, a medida que el pH disminuye aumenta la recuperación, esto se regula dentro de la flotación utilizando reactivos.

2.2.2. 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 ayudan 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 lo 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.

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 lo que la granulometría del mineral a ingresar es de suma importancia.

2.2.3. 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. Para llegar al tamaño de partícula deseado, el mineral sulfurado debe ser conminuido.



Ilustración 12 : Análisis granulométrico.

2.3. EXPERIENCIAS DE LABORATORIOS EN MINERALES SULFURADOS.

Estas experiencias fueron sacadas de diferentes tesis, para lograr una comparación en los diferentes laboratorios basados en el proceso de flotación en minerales sulfurados.

2.3.1.1. Molibdenita

Zamora, Paula Belen Vasquez. optimizacion de la recuperacion de molibdenita en el proceso de flotacion en el laboratorio de metalurgia de la UTFSM, sede viña del mar.

Este mineral es sulfurado el cual se compone con un 60% de molibdeno y un 40% de azufre, aproximadamente. Estamos en presencia de un mineral hidrofóbico, lo que significa que su flotabilidad es alta incluso es mucho más fácil al momento de aplicar un colector, esto se debe a su flotabilidad natural ya que tiene presencia de trióxido de molibdeno en su superficie de la partícula, este compuesto que se vuelve a iones de molibdato en una pulpa en agua, bajo condiciones de pH y se disuelve. Es por lo que es de suma importancia controlar los diferentes parámetros de la flotación.

Su flotación más óptima es a pH entre 7 y 8 y precisamente para que el proceso sea más efectivo, la molienda debe ser fina, del orden de los 150 μm .

La molibdenita es el único mineral que no necesita un colector para ser flotado. No menos importante es bueno saber que se deben deprimir los otros minerales sulfurados que pueden entorpecer el proceso.

Las cantidades de modificador de pH siempre dependerán del pH inicial que presente la pulpa.

Se utilizó el depresor Na_2S ya que es el más común utilizado en las flotaciones selectivas de cobre molibdeno para que las partículas de sulfuro de cobre sean depresados.

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 importante en este proceso ya que funciona como modificador de pH pero también como depresor, se utiliza en este proceso para tener un pH más alcalino.

La cal debe ser tratada con mucho cuidado, y con todos los implementos de seguridad correspondientes, ya que al inhalarla puede ocasionar irritación, 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 lo que la granulometría del mineral a ingresar es de suma importancia.

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 conminuido posible.

Luego se procede a seleccionar el mineral que entrará a flotación, para lo que se utilizarán 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.

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.

$$\rho_{\text{pulpa}} = \frac{100}{\frac{\% \text{ sólido}}{\rho_{\text{mineral}}} + \frac{100 - \% \text{ sólido}}{\rho_{\text{agua}}}}$$

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

- Se realizará el mismo procedimiento para todas las flotaciones, variando los parámetros que correspondan según 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 añade el agua a la celda de flotación, es relevante destacar que para la inyección de aire se utilizó un compresor.
- Se hace andar el aspa a 1000 RPM sólo con el agua, para luego agregar el mineral.
- Dejar homogenizar durante cinco minutos.
- Realizar una medición de pH inicial, para lo cual se utilizará un medidor de pH, de la marca Clean Instruments, previamente calibrado con buffer de pH=4, pH neutro y pH=10.
- Añadir reactivos y dejar acondicionar durante 5 minutos.
- Volver a tomar el pH, y añadir modificador en caso de 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.
- 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.

2.3.1.2. Calcopirita

Remigio, anderson perez. optimizacion del proceso de flotacion de calcopirita con metabisulfito de sodio y carbon activado a nivel de laboratorio en la empresa administradora chungar S.A.C.

La calcopirita junto con la calcosina es uno de los minerales más importantes para la producción de cobre. En la mayoría de los depósitos de sulfuro de cobre, la calcopirita es el mineral de cobre primario, mientras que en una gran mayoría de los minerales de cobre pórfido, la calcopirita es un mineral de cobre secundario. En algunos casos, la calcopirita también está presente con bornita y covelita.

La calcopirita de minerales de sulfuro de grano grueso, flota fácilmente con colector Xantatos con un pH de 5 a 11,5.

La calcopirita a partir de minerales masivos sulfurados y finamente diseminados tiene diferentes propiedades de flotación.

La flotabilidad de la calcopirita es altamente dependiente del oxígeno (aireación) presente en el mineral, pH de la pulpa y el tipo de colector. A partir de este tipo de mineral, la calcopirita flota mucho mejor con colector ditiofosfato y tionocarbamato, que con Xantatos.

La aireación también tiene un efecto positivo en la selectividad hacia otros sulfuros (pirita, pirrotita).

El cianuro de sodio es un buen depresor de calcopirita en adiciones más altas (es decir, > 100 g/t) y un pH entre 8 y 11. Grandes cantidades de hidro sulfuro (NaHS) o Na₂S deprimen calcopirita. Este fenómeno se utiliza para la separación de molibdeno de calcopirita.

Para comenzar con el proceso se debe iniciar el acondicionamiento en la celda arrancando la agitación sin abrir la llave del aire.

- Adicionar Sulfato de Zinc y NaCN, acondicionar hasta estabilizar el pH en 11.5 - 12 dosificando cal.
- Pesar la cal y calcular el consumo en g/ton.
- Adicionar el colector, Xantatos (Z - 11), 6 cm³ de solución preparado al 1 % en peso y colectores puros, continuar el acondicionamiento por 05 minutos más.
- Agregar el espumante MIBC en forma pura la cantidad de 7 gotas, un minuto antes de finalizar el acondicionamiento.
- Abrir la llave de aire e iniciar la flotación de Calcopirita y Galena con una espátula especial y en forma pareja y homogénea hasta el agotamiento de Cobre y Plomo durante 07 minutos.
- Transferir el concentrado a una celda de flotación más pequeña y efectuar la flotación cleaner durante 09 minutos. Adicionar Metabisulfito de Sodio 5 cm³ al 1 % y Sulfato de Zinc 2 cm³ al 1% en la primera.

- Para la segunda limpieza no se agrega ningún reactivo (Concentrado Bulk).
- Acondicionar el producto (Concentrado Bulk) durante 04 minutos con 4 cm³ de Carbón Activado, luego adicionar 180 cm³ del complejo RCS al 2 % y una (01) gota del colector AR - 5100.
- Realizar 02 limpiezas al concentrado obtenido del paso anterior durante 07 minutos, en la primera limpieza agregar 90 cm³ del complejo RCS y en la segunda limpieza 45 cm³ del complejo RCS al 2 %.
- Filtrar, secar y pesar los productos. Finalmente obtener muestras representativas para el análisis químico.

2.3.1.3. Pirita

Mamani, milagros magali rivera. optimizacion nivel laboratorio del reemplazo total del depresor cianuro de sodio en la flotacio de calcopirita-molibdenita mediante un colector selectivo. lima : s.n.

Pirita es el sulfuro más abundante, prácticamente que todos los tipos de minerales.

En el caso de los minerales de cobre pórfido y minerales de sulfuro de pirita bajas, la pirita principalmente contiene impurezas que contienen cobre, oro y plata.

Este es uno de los minerales más estudiados y, sin embargo, los más problemáticos, es un mineral interferente no sólo en la flotación de minerales de cobre, sino también en la flotación de prácticamente todos los minerales de sulfuro.

En muchos minerales, la pirita puede aparecer en muchas variedades, algunas de las cuales son pirita cristalina, pirita isomorfa, alteradas, oxidadas, reactivada, etc.

La pirita pertenece a un grupo de minerales altamente flotantes y se puede flotar de manera efectiva en la presencia de un sólo espumante.

En la flotación de minerales de cobre pórfido, el rechazo de la pirita se logra a un alto pH alcalino (es decir, > 11.5).

En general, la depresión de la pirita y la selección de depresores dependen en gran medida del tipo de mineral tratado.

Una de las características muy importantes de la pirita es que en un pH alcalino, la pirita es también deprimida y en un pH ácido, la flotabilidad de la pirita mejora significativamente.

En un pH alcalino, los depresores secundarios tales como compuestos orgánicos, sulfatos y cianuro son muy eficaces.

El éxito de la depresión de la pirita es muy dependiente de la capacidad de la pirita para oxidarse rápidamente.

Como resultado de esta oxidación, el hidróxido de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ se forma sobre la superficie de la pirita, lo que aumenta la hidratación de los minerales y reduce la adsorción del colector.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.

3. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.

3.1. ENSAYOS SIMPLES A ESCALA DE LABORATORIO

Los ensayos que se utilizarán en este laboratorio estarán basados para clasificar un mineral extraído desde un yacimiento, según propiedades de resistencia, ópticas y de aspecto, para así establecer la viabilidad del proceso de flotación. Estos serán los siguientes:

- 3.1.1.** Color
- 3.1.2.** Brillo
- 3.1.3.** Raya
- 3.1.4.** Dureza
- 3.1.5.** Fractura
- 3.1.6.** Exfoliación
- 3.1.7.** Habito
- 3.1.8.** Peso específico
- 3.1.9.** Reacción al HCl
- 3.1.10.** Tenacidad
- 3.1.11.** Magnetismo

Estas pruebas serán hechas para determinar o tener una idea si el mineral traído de algún yacimiento podrá ser flotado o no, esta guía también podrá ser utilizada para cualquier mineral o roca, ya que se analizan todos los puntos.

A continuación se presenta la guía de laboratorio para ser entregada al profesor a cargo y a sus alumnos.



3.2. GUÍA DE LABORATORIO

CARACTERIZACIÓN DE MINERAL PREVIO A FLOTACIÓN BATCH

UTFSM- JMC

Las propiedades de mineral in-situ determinan el máximo rendimiento que se puede lograr en todas las operaciones mineras. Podemos ayudarle a construir una imagen clara de los tipos de mineral en su mina, y la mejor manera de extraer el máximo valor de su depósito.

Las propiedades físicas de los minerales son el resultado directo de sus características químicas y estructurales, ejemplo de ellos son el color, el brillo o la dureza, entre otros. Para el caso del color tenemos que los minerales pueden ser de diversos tonos aunque un mismo tipo puede encontrarse en diferentes sitios y en colores distintos. Otra característica que diferencia a los minerales es que se rompen y se dividen de manera distinta; unos se separan en láminas planas, como la mica; otros se rajan en cristales compactos, como la calcita; o bien se quiebran en superficies onduladas como el pedernal y muchos otros.

Objetivo específico:

- Analizar el mineral según su dureza, fractura, exfoliación, tenacidad, peso específico, brillo, transparencia, color, raya, habito, propiedades magnéticas y eléctricas.

MATERIALES E INSTRUMENTOS

1. Mineral sulfurado.
2. Microscopio.
3. Placas de porcelana.
4. Ácido clorhídrico.
5. Imán.
6. Lápiz rayador.
7. Celular propio (para registrar fotos o videos).
8. Pipeta graduada
9. Balanza digital.

IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

1. Antiparras.
2. Mascarilla.
3. Capa blanca.
4. Guantes quirúrgicos o de látex.
5. Zapatos de seguridad.
6. Cabellos amarrados.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACIÓN

1. Ingresar al laboratorio con todos los equipos de protección personal puestos, guantes de látex, gafas, mascarilla, zapatos de seguridad, capa, cabello amarrado.
2. Cada alumno tendrá una hoja de guía para ir anotando todas las observaciones del laboratorio.
3. Tomar una muestra de mineral sulfurado disponible en el laboratorio para poder analizar.
4. El mineral escogido se debe colocar sobre la mesa del laboratorio, comenzar a observar su color y registrarlo.
5. Visualmente se debe apreciar si el mineral tiene brillo y registrarlo.
6. Con la herramienta de placa de porcelana, debes tomar el mineral, hacer una raya sobre ella y registrar el color que queda sobre esta.
7. La dureza de este mineral se determina con el Lápiz rayador el cual tiene una punta de tungsteno donde tiene una dureza de 5 en escala Mohs, por ende si se raya con el lápiz su dureza será bajo 5 en escala Mohs y si no, será sobre 5 en escala Mohs, lo que permite poder tener una referencia.
8. Para saber la fractura del mineral, este debe ser tirado al suelo con fuerza y observar su manera al romperse, puede ser astillado, terroso, etc.
9. Para determinar la exfoliación del mineral, este debe ser rotos con la mano y observar su manera al romperse, puede ser muy perfecta, perfecta, buena, etc.
10. El magnetismo lo observamos al acercar el mineral a un imán si se pega al imán o se siente una atracción es porque el mineral tiene presencia de magnetismo.
11. La reacción al ácido clorhídrico, lo observaremos aplicándole unas gotas mediante una pipeta con mucho cuidado directamente al mineral, si este presenta efervescencia se debe a que reacciona por ende debería ser susceptible a flotación.
12. El peso específico se puede medir con una balanza digital, esta debe ser tarada previamente y luego colocar el mineral sobre ella para finalmente registrar su peso.
13. El habito se debe observar mediante microscopio ya que se debe analizar si este posee alguna forma de tipo columnar, prismático, tabular, etc.

Es importante destacar que esta guía puede ser aplicada para cualquier mineral proveniente de una faena o roca.

A continuación adjuntamos la hoja para que los alumnos vayan anotando sus observaciones.



3.3. GUÍA PRACTICA DE LABORATORIO

Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombres	
Grupo:		Fecha:	/ /

- Desarrolle esta guía con el mineral entregado, e identifique las características físicas y ópticas de este, completando la siguiente tabla con los resultados obtenidos.

MINERAL:	
-----------------	--

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MINERAL		
Color		Observación:
Brillo		Observación:
Raya		Observación:
Dureza		Observación:
Fractura		Observación:
Exfoliación		Observación:
Magnetismo		Observación:
Reacción al HCl		Observación:
Peso Especifico		Observación:
Habito		Observación:

Observación final:

Imagen:

3.4. RUBRICA DE EVALUACIÓN

Ítems	Criterios para evaluar	Puntaje
Formato	Presenta hoja de portada con logo, asignatura y carrera (1 pto); n° de informe y título (1 pto), nombre de los alumnos, profesor y ayudante (1 pto), fecha de entrega, letra y tamaño de hoja (1 pto), respeta los espacios asignados (1 pto).	5 puntos
Entrega	En informe debe ser entregado con un plazo máximo una semana luego de haber realizado el laboratorio. Si entrega después de este plazo se descontará el puntaje.	5 puntos
Introducción	Se introduce e identifica claramente el tema tratado en la práctica de laboratorio (5 pts), específica las actividades realizadas en el laboratorio (5 pts) e informa de la importancia del tema de la práctica de laboratorio en el aprendizaje de la carrera. (5 pts)	15 puntos
Objetivo general y específicos	Identifica el objetivo general del laboratorio. (10 pts) Identifica las actividades realizadas de donde se obtendrá los objetivos específicos realizados en el laboratorio (10 pts).	20 puntos
Antecedentes generales	Informa claramente de los fundamentos de la actividad del laboratorio (5 pts), define conceptos de la actividad e identifica la metodología para la actividad (10 pts)	15 puntos
Metodología y resultados	Describe paso a paso las actividades realizadas en el laboratorio (7 pts), asocia a las actividades del laboratorio los resultados obtenidos (5 pts) e informa los resultados en una tabla de datos ordenada (3 pts)	15 puntos
Discusiones y conclusiones	Discusiones: (5 pts) <ul style="list-style-type: none"> • Informa del desarrollo de la actividad, de las dificultades acontecidas, y del análisis de los resultados obtenidos y comparan los objetivos específicos con lo logrado en el laboratorio (5 pts). Conclusiones: (10 pts) <ul style="list-style-type: none"> • Determinan si se alcanzó el objetivo general. (4pts) • Asocian sus resultados con lo esperado (3 puntos) 	15 puntos

	<ul style="list-style-type: none"> • Determinan causas de desvíos (3puntos) 	
Bibliografía	Citan libros investigados con: Título, Autor, año, paginas investigadas (5 ptos) y citan link de apoyos (5 ptos).	10 puntos
Nota final		100 puntos.

3.5. INSUMOS Y COSTOS DEL LABORATORIO.

Esta investigación está hecha con el fin de que se logre su aplicación en el laboratorio de minería y metalurgia en la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del mar, por lo que es importante indicar los insumos a utilizar y costos de estos.

Se ha determinado que las herramientas, equipos de protección personal, insumos para que este laboratorio sea desarrollado de manera correcta son los siguientes:

- 3.5.1.** Mineral sulfurado.
- 3.5.2.** Microscopio.
- 3.5.3.** Placas de porcelana.
- 3.5.4.** Ácido clorhídrico.
- 3.5.5.** Imán.
- 3.5.6.** Lápiz rayador.
- 3.5.7.** Celular propio (para registrar fotos o videos).
- 3.5.8.** Pipeta graduada
- 3.5.9.** Balanza digital.
- 3.5.10.** Antiparras.
- 3.5.11.** Mascarilla.
- 3.5.12.** Capa blanca.
- 3.5.13.** Guantes quirúrgicos o de látex.
- 3.5.14.** Zapatos de seguridad.

Los insumos principales para implementar este laboratorio serán al menos 5 microscopios para que se pueda dividir por grupos de alumnos para su utilización. Lo que significa que la universidad tendrá que hacer una inversión inicial con respecto a este equipo.

Las placas de porcelana pueden ser compradas mensualmente por cajas, dependiendo de cuantos laboratorios se realicen y la cantidad de alumnos por grupo. Este instrumento debe ser costado por la universidad.

El ácido clorhídrico podrá comprarse una botella por año ya que al momento de utilizarlo en el laboratorio son pequeñas cantidades por decir, gotas lo que se le aplicara a cada mineral para saber su reacción. Este instrumento debe ser costado por la universidad.

Las placas de imán o imanes, dependerá de cual se compre, puede comprarse placas redondas dependiendo de la cantidad de grupos del laboratorio, es algo que se puede utilizar a largos tiempo y no decaerá su magnetismo por ende es una inversión que debe ser costada por la universidad.








El lápiz rayador se pueden comprar unos 5 los cuales dependiendo de la cantidad de veces que se utilicen se tendrán que cambiar ya que la punta es delicada y se desgasta con facilidad.

Las pipetas graduadas de vidrio, deben ser una inversión también se venden por cajas y al ser de vidrio su utilización debe ser con cuidado.

La balanza digital debe ser una inversión, pueden ser dos y ser utilizadas por tiempos, en cada grupo, esta inversión es a largo plazo ya que su durabilidad es mayor.

Todo lo que corresponde a implementos de seguridad para la realización del laboratorio corre por gastos de alumnos, ya que a largo plazo serán utilizados en distintos laboratorios de distintas asignaturas por ende será una inversión.

En la siguiente tabla se muestran los costos de estos artefactos:

Equipo o Instrumentos	Costo	
Microscopio	\$395.000	
Placas de Porcelana	\$6.800	
Ácido clorhídrico 32% Lt	\$12.800	
Imán	\$3.990	
Lápiz rayador	\$7.990	
Pipeta Graduada	\$12.000	
Balanza Digital	\$15.990	
Implementos de seguridad	Costos	
Antiparras	\$3.990	

Capa O Bata Blanca	\$5.000 a \$8.000 aprox	
Zapatos de Seguridad	\$30.000 a \$50.000 aprox	
Guantes Quirúrgicos	\$15.000 caja	
Mascarilla de laboratorio	\$28.990	

La información de los costos de los instrumentos e implementos de seguridad fueron sacados de páginas del mercado, como por ejemplo, easy, Homecenter, mercado libre, etc.

CONCLUSIONES

En primer lugar se logró establecer la finalidad de esta investigación, ya que se propuso la caracterización de minerales mediante baterías de ensayos simples a escala de laboratorio, con el propósito de lograr que este sea implementado directamente en alguna asignatura como laboratorio o complemento de enseñanza para los alumnos de la universidad técnica federico santa maría en la sede de viña del mar.

Para lograr caracterizar los minerales y dar una optimización a este laboratorio fue de suma importancia estudiar de manera teórica y completa las descripciones y definiciones de cada proceso a realizar, para que se establecieran de forma clara las condiciones físicas químicas de los minerales a tratar.

Se establecieron los parámetros más importantes a considerar al momento de hacer una flotación a nivel de laboratorio, de tal manera que se pueda concientizar la importancia que tiene en el proceso previo a la caracterización del mineral a utilizar, consiguiente se procedió a seleccionar los minerales de molibdenita, calcopirita y piritita, donde se logró encontrar sus maneras más eficientes y eficaces al momento de ser flotadas, esta información fue sacada de diferentes ensayos de laboratorio ya realizados anteriormente en otras tesis.

Se logro identificar cuáles son los ensayos simples para realizar previo al ensayo de flotación, se logró crear una guía donde tiene una importancia muy relevante, ya que con esta información se puede lograr a cabo un laboratorio completo. Esta también contiene las herramientas a utilizar y los implementos de seguridad necesarios, se detalla paso a paso su procedimiento experimental lo que hace que su eficacia sea segura y clara.

Se creo una hoja para que los alumnos vayan utilizando a medida que pase la actividad y de manera clara y concisa contiene una rubrica de evaluación, para que cualquier docente o ayudante de asignatura se pueda guiar y evaluar de manera correcta.

Finalmente conocer de manera clara los insumos y costos que conlleva la realización de esta actividad es muy importante, ya que le permite a la universidad tener una idea aproximada de los gastos al momento de implementar este laboratorio. Y que tan rentable es o no implementar esto en alguna asignatura.

Con la experiencia que se logra adquirir en esta investigación, es importante recalcar la importancia que tiene el análisis previo del material solido a trabajar, para lograr tener una idea lo más acertada posible sobre que material que se estará utilizando para el proceso de flotación y con esto saber si su nivel de concentrado será eficiente o no.

A modo de recomendación, podemos decir que para resultados positivos en una caracterización de minerales se considera seguir los procedimientos experimentales mencionados anteriormente, logrando realizar una experiencia con mayor eficacia y conocimiento. Por otro lado para brindarle mayores herramientas a los alumnos y una

mayor facilidad a la hora de realizar el laboratorio, es importante una clase de introducción previa a este, donde se explique todas las propiedades físicas, ópticas y magnéticas a de los minerales y así poder saber al momento de trabajar en el material toda la información relevante de estos y evitar el desconocimiento de lo que están realizando.

BIBLIOGRAFÍA

Tesis citadas

mamani, milagros magali rivera. optimizacion nivel laboratorio del reemplazo total del depresor cianuro de sodio en la flotacion de calcopirita-molibdenita mediante un colector selectivo. lima : s.n.

remigio, anderson perez. optimizacion del proceso de flotacion de calcopirita con metabisulfito de sodio y carbon activado a nivel de laboratorio en la empresa administradora chungar S.A.C.

Zamora, Paula Belen Vasquez. optimizacion de la recuperacion de molibdenita en el proceso de flotacion en el laboratorio de metalurgia de la UTFSM, sede viña del mar. .

- <http://www.ceduc.cl/aula/antof/materiales/gm/gm-251/propiedades%20de%20los%20minerales.pdf>
- https://biologiageologia.com/bg1/3123_propiedades_mecanicas.html#:~:text=las%20propiedades%20mec%c3%a1nicas%20de%20los,fractura.
- <https://geologiaweb.com/minerales/zinc/>
- <https://geologiaweb.com/minerales/cobre/>
- <https://geologiaweb.com/minerales/plomo/>
- <https://geologiaweb.com/minerales/talco/>
- <https://geologiaweb.com/minerales/grafito/>
- <https://www.metso.com/cl/blog/mineria/la-importancia-del-proceso-de-flotacion-de-minerales/>
- <https://web.ua.es/es/lpa/minerales-visu/propiedades/propiedades.html>