



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Manual de laboratorio para
la asignatura de preparación
y concentración de minerales**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de
Ingeniero Minero Metalurgista

P R E S E N T A

Diego González Flores

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M.C. José De Jesús Huezco Casillas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	2
RESUMEN/ABSTRACT	4
PRÁCTICAS DE PREPARACIÓN MECÁNICA DE MINERALES	5
TRITURACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y ANALISIS GRANULOMÉTRICO	7
MOLIENDA EN HÚMEDO.....	19
MOLIENDA EN SECO	34
PRÁCTICAS DE CONCENTRACIÓN DE MINERALES.....	45
PREPARACIÓN Y PARÁMETROS DE UNA PULPA	46
FLOTACIÓN DE SULFUROS	57
FLOTACIÓN DE ÓXIDOS.....	65
CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA EN MESA WILFLEY	73
CONCENTRACIÓN MAGNÉTICA EN TAMBOR ROTATORIO	85
VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO Y CÁLCULO DE UN TANQUE ESPESADOR.....	93
PRÁCTICAS COMPLEMENTARIAS	104
MUESTREO DE MINERALES	105
CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA EN JIG	117
CONCENTRACIÓN MAGNÉTICA EN TUBO DAVIS.....	127
FLOTACIÓN EN COLUMNA.....	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Introducción

El presente documento nace por la necesidad de una actualización integral de las prácticas de laboratorio de metalurgia. La última actualización de este fue en 1996, durante los 26 años de su existencia han cambiado los procesos minero-metalúrgicos y han surgidos nuevas tecnologías y/o equipos de la industria, así como las interacciones de las tecnologías en apoyo al aprendizaje, además de que la plantilla estudiantil ha ido al alza, por lo que es importante modificar el enfoque de prácticas de las asignaturas de Metalurgia y ajustarlas a la demanda actual.

El enfoque del manual de prácticas es complementar el documento con videos tutoriales que muestren y den una guía de cómo utilizar los equipos, la manera de llevar a cabo con seguridad las prácticas, la ejemplificación de los procesos industriales metalúrgicos en laboratorio. Esto es importante debido a la actual situación de contingencia mundial, en el cual en un periodo no se podrán realizar de manera presencial las prácticas en el laboratorio. Esto auxiliará a los alumnos y dará idea de cómo se realizan pruebas de preparación y concentración de minerales, para posteriormente implementar mejoras en la industria.

El presente manual genera un nuevo enfoque apoyado de la tecnología, en donde el alumno tendrá el enfoque de ser autodidacta apoyándose tanto de los videos como del presente documento y de esta manera aprender a desenvolverse en el laboratorio, sabiendo utilizar los equipos, manejando de óptimamente las herramientas de laboratorio, proponiendo y aplicando los procesos metalúrgicos visto en clase.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Metodología

El manual de “Preparación y concentración de minerales” del Plan de estudios 2016 comprende catorce prácticas para el aprovechamiento del laboratorio de metalurgia. Se subdividen en tres categorías “Prácticas de preparación mecánica de minerales” aquí se incluyen tres principales, incluyendo seis “Prácticas de concentración de minerales” y cuatro “Prácticas complementarias”.

La primera parte del manual presenta las “prácticas de preparación mecánica de minerales” toca tres principales procesos de la metalurgia extractiva, iniciando con las prácticas de trituración, caracterización y análisis granulométrico, en el cual se aborda el primer proceso de disminución de tamaño de partícula haciendo que el alumno haga un proceso primario y secundario de la trituración, realizando un análisis de las variables que influyen en dicho proceso. Las dos siguientes prácticas abordan el proceso de molienda, en las que el estudiante experimentara la molienda en húmedo revisando y calculando parámetros para ejecutar la misma y posteriormente la molienda en seco apoyándose del método de bond para el cálculo de los kWh.

La segunda parte del manual presenta las “Prácticas de concentración de minerales”, donde se inicia con el desarrollo de la práctica de “preparación y parámetros de una pulpa”, el estudiante conocerá y calculará las variables que pueden modificar las propiedades físicas de una pulpa, esto ayudará a entender mejor las siguientes prácticas “flotación de sulfuros” y “flotación de óxidos”, en la cual se realizará la separación de minerales aprovechando las propiedades superficiales de las partículas en sulfuros polimetálicos y óxidos de hierro. Además, se abordará el tema de concentración gravimétrica haciendo funcionar la mesa Wilfley, realizando la separación aprovechando el peso específico de la pirita presente en los jales. La concentración magnética se aborda en la práctica de “tambor rotatorio” que aprovechará la susceptibilidad magnética de la magnetita para su concentración. La última práctica de este capítulo abordará el proceso de separación sólido-líquido, el estudiante calculará un tanque espesador mediante la observación y medición de la velocidad de asentamiento de las partículas en un medio acuoso.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Finalmente, el manual anexa cuatro prácticas complementarias que pueden ser añadidas a lo largo del curso dependiendo el enfoque de profesor de la asignatura. Se podrán encontrar las prácticas de muestreo de minerales, aprendiendo el método del cono cuarteo y la utilización el partidor jones para obtener muestras representativas. Se podrá conocer el equipo JIG para concentrar gravimétricamente y el tubo Davis para la separación de hierro magnético. Además, se agregará otro tipo de flotación en un equipo de columna y se podrá comparar este método en columna con el método en celda.

Las prácticas comienzan con recomendaciones de seguridad sobre los posibles riesgos que se corren al desarrollar la práctica y que el alumno deberá tomar en cuenta para evitar alguna lesión en el desarrollo de esta. Posteriormente, se deberán analizar los objetivos de la práctica tanto generales con particulares, esto dirige el sentido que tendrá la práctica y el alumno se guiará para realizar sus conclusiones

Se incluye una breve introducción que muestra al alumno los antecedentes teóricos de la práctica, es un breve resumen de lo que el alumno debe conocer sobre la práctica. Además, se anexan ecuaciones necesarias para el desarrollo de esta, si así lo demanda la práctica. Se agrega posteriormente el material y equipo que el alumno utilizará para la práctica, es importante que el alumno conozca como se maneja cada equipo y como se utilizada cada herramienta o material.

El desarrollo de la práctica está desglosado paso por paso en actividades que describen perfectamente lo que se debe de realizar en la práctica, esto hará que el alumno tenga un orden en la realización de la práctica y no se pierda de ningún detalle del proceso.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Resumen/abstract

El manual de prácticas de laboratorio de preparación y concentración de minerales reforzará los conocimientos de las materias de la rama de metalurgia extractiva. El manual toma una vertiente didáctica dando paso a paso las actividades que el estudiante va a realizar en los experimentos. El manual está diseñado para que el alumno pueda experimentar el proceso continuo de una planta metalúrgica de concentración de minerales, desde el proceso de reducción de tamaño de partícula pasando por los procesos de trituración y posteriormente diversos procesos de molienda, hasta la separación de la mena y ganga aprovechando características físicas y fisicoquímicas de los minerales utilizando los diferentes tipos de concentradores (Magnéticos, gravimétricos, por flotación). El manual será apoyado por videos del desarrollo de las prácticas ilustrando de mejor manera la utilización de equipo de laboratorio y de esta manera el estudiante pueda realizar los experimentos sin necesidad de ser explicados en clase, únicamente será necesaria la supervisión en el laboratorio.

The manual of laboratory practices of preparation and concentration of minerals will reinforce the knowledge of the subjects of the branch of extractive metallurgy. The manual takes a didactic aspect giving step by step the activities that the student is going to realize in the experiments. The manual is designed so that the student can experience the continuous process of a metallurgical plant for mineral concentration, from the particle size reduction process through the crushing processes and later various grinding processes, until the separation of the ore and gangue taking advantage of the physical and physicochemical characteristics of the minerals using the different types of concentrators (magnetic, gravimetric, by flotation). The manual will be supported by videos of the development of practices illustrating in a better way the use of laboratory equipment and in this way the student can realize the experiments without the need to be explained in class, only supervision in the laboratory will be necessary.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Manual de laboratorio para la asignatura de preparación y concentración de minerales.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Prácticas de preparación mecánica de minerales.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Trituración, caracterización y análisis granulométrico.

N° de práctica: 01

Tema: Trituración y molienda de minerales

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos
4	Rompimientos de roca	Lesión en ojos, y extremidades
5	Máquina mecánica	Machucamiento
6	Charolas	Quemaduras
7	Horno de secado	Intoxicación

2. Objetivos de aprendizaje

I. **Objetivos generales:** Comprender y analizar el proceso de reducción de tamaño llevado a cabo por máquinas mecánicas de trituración.

II. **Objetivos específicos:**

- a) Aprender a manejar máquinas de trituración mecánica.
- b) Analizar la granulometría de una muestra mineral.
- c) Identificar los minerales presentes en la muestra mineral, ayudándose de antecedentes de mineralogía.
- d) Calcular parámetros propios de la trituración (índice de trabajo, capacidad, potencia, relación de trituración, F_{80} y P_{80}).



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

3. Introducción

La trituración es definida como la reducción subsecuente de tamaño de partículas hasta llegar aproximadamente a 25 mm. La reducción se lleva a cabo mediante compresión simple del mineral que se fractura al llegar a su límite elástico. En la trituración pueden existir diferentes etapas de reducción de tamaño (primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.).

Se pueden describir algunos conceptos como la relación de trituración que es la reducción de tamaño lograda por medio de cualquier trituradora. Se toman los valores de alimentación (F) y de descarga (P), tomando el valor correspondiente al tamaño de partícula que se encuentra al 80 % del acumulado de cada producto.

Para realizar el cálculo de los valores de F y P es necesario realizar un análisis granulométrico por medio de un tamizado a nivel laboratorio. El tamizado son separaciones de las partículas en base a sus tamaños, se logra con ayuda de superficies con orificios uniformes que hará que el material pase o no en la misma. El material retenido será el sobre tamaño y el que pasa la superficie será el sub-tamaño. Mediante una serie ordenada de tamices se realiza el análisis granulométrico del mineral que se alimenta a una trituradora (F) y el análisis granulométrico del mineral ya triturado (P).

Para determinar la demanda de energía o índice de trabajo se pueden seleccionar adecuadamente las trituradoras que integran un proceso de reducción de tamaño. La reducción de costos en cuanto a disminución de gasto de energía será uno de los factores principales por los cuales se debe calcular el índice de trabajo en función a un análisis granulométrico.

El realizar una valoración de las características de las partículas presentes en la muestra mineral es de vital importancia en el procesamiento de estas. Este proceso es llamado caracterización, puede realizarse analizando diferentes características; observando el tamaño de cada partícula, analizando la forma de las partículas, los minerales presentes, la gama de tamaños de partículas, entre otras.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Muestra mineral, 15 kg.
- + Báscula.
- + Charolas de peltre.
- + Metate
- + Juego de tamices de 4", 3", 2", 1", ½", ¼", 10#, 20#, 35# 60 # y 100#.
- + Cucharón.
- + Trituradoras de quijada 4" x 6" y 2" x 4".
- + Tapa y fondo para tamiz
- + Multímetro.
- + Cribadora (si se requiere).
- + Balanza.
- + Cubrebocas.
- + Lentes de protección.
- + Guantes de protección.
- + Plato de tentaduras.
- + Horno.
- + Careta.
- + Guantes aislantes de calor.
- + Vidrio de reloj
- + Microscopio.
- + Bolsas de plástico



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar la muestra mineral en la báscula y restarle el peso de la cubeta que la contiene.

Nota: la muestra mineral debe ser previamente preparada con diferentes tamaños de partícula (el encargado de supervisar la práctica de laboratorio lo hará), desde tamaños mayores a 4 pulgadas a menores de 10 mallas.

II. Actividad 2

Tamizar la muestra. Los tamices irán en el siguiente orden: 4", 3", 2", 1", 1/2", 1/4" y 10#. Debido a la gran cantidad de muestra se deberá realizar el tamizado tomando con el cucharón porciones de la muestra, es decir, se vaciará una porción de la muestra en el juego de tamices, se realizará el tamizado y se vaciarán las muestras atrapadas en cada tamiz en las charolas de peltre, este procedimiento se realizará hasta terminarse la muestra.

III. Actividad 3

Pesar cada una de las muestras ahora clasificadas.

IV. Actividad 4

Juntar de nuevo la muestra en la cubeta donde estaba almacenada en un principio.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

V. Actividad 5

Medir el voltaje de la trituradora de 4" x 6" de la siguiente manera.

- ✚ Abrir la caja de fusibles, que contiene tres fusibles.
- ✚ Conectar los cables; positivo (rojo) y negativo (negro) en las terminales correspondientes del multímetro.
- ✚ Prender el multímetro e indicar que se quiere leer el voltaje.
- ✚ Colocar el cable negativo en un fusible y el positivo en otro fusible (esto se realizará tres veces pasando los cables por los tres diferentes fusibles)
- ✚ Sacar un promedio de las tres lecturas de voltaje.

VI. Actividad 6

Medir amperaje al vacío de la trituradora de 4" x 6" de la siguiente manera.

- ✚ Encender la trituradora.
- ✚ Hay que indicar que se leerá amperaje en el multímetro.
- ✚ El multímetro cuenta con unas pinzas amperimétricas, dichas pinzas se abrirán para contener dos de los cables que están conectados en los fusibles. Las pinzas no deben atrapar los cables, deben situar dichos cables dentro de ellas como lo muestra la fig. 1.1.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia



Fig. 1.1 Uso del Multímetro

VII. Actividad 7

Se procederá a alimentar el mineral en la trituradora de 4" x 6". Un estudiante deberá anotar el amperaje de la trituradora ahora con carga, esto se hará con intervalos de tiempo de 10 segundos hasta que se termine de alimentar la muestra.

VIII. Actividad 8

Tamizar el material triturado como se hizo anteriormente. El juego de tamices será de las siguientes medidas; 2", 1", 1/2", 1/4", 10 #, 20# y 35#.

IX. Actividad 9

Pesar el material clasificado por los tamices.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

X. Actividad 10

Medir voltaje y amperaje de la trituradora de 2" x 4" cómo se realizó anteriormente.

XI. Actividad 11

Reunir el material clasificado en la cubeta y posteriormente alimentarlo en la trituradora de 2" x 4", midiendo el amperaje cada 10 segundos como se hizo anteriormente.

XII. Actividad 12

Tamizar el material triturado. El juego de tamices irá desde $\frac{1}{2}$ ", $\frac{1}{4}$ ", 10#, 20 #, 35 #, 60 # y 100#.

XIII. Actividad 13

Pesar el material clasificado en los tamices.

XIV. Actividad 14

Reunir una muestra de mineral de 50g a - 100#. Si no se llega a los 50g, con el metate se pulverizará el mineral de +100# hasta completar los 50g.

XV. Actividad 15

Con el plato de tentaduras se deberá limpiar la ganga de la mena.

 Se deberá colocar una charola de peltre en la tarja del lavadero



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

- ✚ Colocar aproximadamente un tercio de la muestra en el centro del plato de tentaduras.
- ✚ Abrir la llave del agua, cuidando de que el flujo de agua sea bajo.
- ✚ Llevar el plato al chorro de agua y mojar la muestra.
- ✚ Mover el plato de tentaduras con movimientos circulares, haciendo una pequeña inclinación para que el material menos denso se derrame hacia la charola de peltre y el material denso se quede en el centro. También es necesario dar pequeños golpes en el plato ya que existen partículas densas que atrapan por debajo a las ligeras.
- ✚ Realizar el movimiento anterior hasta que se observe limpia la muestra, es decir, cuando ya no se observe agua turbia al momento de mover el plato.
- ✚ La muestra que permaneció en el plato se denomina mena y deberá ser depositada en otra charola.
- ✚ Se realizarán dos tentaduras más hasta terminar con la muestra mineral.

XVI. Actividad 16

Las charolas con mena y ganga deberán ser decantadas y puestas en el horno de secado.

XVII. Actividad 17

Pesar las muestras secas y depositarlas en bolsas de plástico.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

XVIII. Actividad 18

La muestra denominada mena se deberá analizar en el microscopio. Se hará con una pequeña porción de muestra que se colocará en el vidrio de reloj.

XIX. Actividad 19

Observar y analizar los posibles minerales presentes en la muestra.

XX. Actividad 20

Depositar la muestra del vidrio de reloj en la bolsa correspondiente.

XXI. Actividad 21

Se deberán calcular los siguientes parámetros de cada trituradora.

- Hacer la distribución granulométrica.
- Trazar la gráfica de distribución de tamaños de partícula.
- P_{80} y F_{80} , (apoyándose de las gráficas de distribución).
- Relación de trituración.

$$\diamond RT = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

- Potencia de la trituradora.

$$\diamond Kw = \frac{\sqrt{3}(I_C - I_V)V}{1000} [\text{Kwh/Ton}]$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

- Iv: Amperaje de trituradora al vacío.
- Ic: Amperaje de trituradora con carga.
- V: Voltaje.

f) Capacidad de trituradora.

$$\diamond CP = \frac{Ma}{Tp} \quad [\text{Ton/h}]$$

- Ma: Mineral alimentado (ton).
- Tp: Tiempo de proceso (horas).

Nota. Convertir el tiempo de proceso de minutos a horas dividiendo el tiempo entre 60. Con el mineral alimentando se realizará la conversión de kilogramos a toneladas dividiendo los kg entre 1000.

g) Consumo de energía.

$$\diamond w = \frac{Kw}{CT} \quad [\text{Kwh/Ton}]$$

h) Índice de trabajo de trituración.

$$\diamond w_i = w \left[\frac{\sqrt{RT}}{\sqrt{RT} - 1} \right] \left[\sqrt{\frac{P_{80}}{100}} \right] \quad [\text{Kwh/Ton}]$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Bibliografía

Espinosa de León Luis, "Teoría y prácticas de trituración y molienda", 1972, Comisión de Fomento Minero, México D.F.

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura preparación mecánica de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Molienda en húmedo.

N° de práctica: 02

Tema: Trituración y molienda de minerales.

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos
4	Molino	Lesión en espalda
5	Rodillo de molinos	Atrapamiento
6	Horno de gases	Intoxicación
7	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Experimentar el proceso de molienda para la reducción de tamaño de partículas.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Aprender el uso de un molino de bolas a nivel laboratorio.
 - b) Calcular los parámetros necesarios para realizar un buen proceso de molienda.
 - c) Analizar el tiempo efectivo de molienda.
 - d) Comprobar los cálculos teóricos observando si el proceso de molienda generó los resultados esperados.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

La molienda es un proceso consecutivo a la trituración, puede realizarse en varias etapas dependiendo la reducción de tamaño que se requiera. La molienda es un proceso en el cual el mineral llegará a un tamaño donde exista la liberación de este, es decir, los minerales se encontrarán independientes de otros minerales que antes constituían una roca. El tamaño de liberación dependerá mucho de la composición de la roca y los minerales que la constituyen, generalmente se encuentra por debajo de las 100# (150 micras).

Existen diferentes tipos de molinos, en donde una de las principales diferencias radicará en los medios de molienda. Los medios de molienda son los objetos que harán que el mineral sea molido mediante impactos continuos. Existen molinos con bolas de acero, molinos con barras, molinos autógenos (no necesitan medios de molienda). Otra característica que puede cambiar de un tipo de molino a otro es la geometría de este, es decir, la diferencia que tendrá de diámetro con respecto a su longitud.

Para que exista un buen funcionamiento en un molino es necesario conocer las características intrínsecas del molino. Las principales características para estudiar y controlar en un molino son las siguientes:

Velocidad crítica.

Es la velocidad en la cual una bola en el interior del molino se adhiere a las paredes de éste por efecto de la fuerza centrífuga, donde posteriormente se desprende al llegar a la parte superior del molino cayendo libremente.

Velocidad de trabajo

La velocidad de trabajo será el 75 % de la velocidad crítica y representará la velocidad a la cual se tendrá un mejor rodamiento y caída de la bola.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

✚ Carga de bolas.

Representa el peso de bolas necesarias para moler el mineral, esto dependerá del volumen del molino y de la densidad del medio de molienda. Es preciso realizar la observación, un molino de bolas debe trabajar con diferentes tamaños de bolas (gradiente), esto hará que se cubra la mayor parte de huecos a la hora del impacto de las bolas.

✚ Diámetro máximo de bola.

El diámetro máximo de bola dependerá mucho del tamaño de alimentación del mineral, así como de la energía necesaria para mover el molino. A partir del diámetro máximo de bola se podrá calcular la distribución de bolas que tendremos en el molino.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Muestra mineral 4 Kg -10# +60#
- + Molino
- + Bolas de acero
- + Juego de tamices 10#, 60#
- + Tapa y fondo para tamiz
- + Soporte de metal con malla
- + Báscula
- + Charolas de peltre
- + Ro-Tap
- + Cronómetro
- + Probeta
- + Piseta
- + Malla para descarga del molino
- + Vernier
- + Flexómetro
- + Perico
- + Tina
- + Cucharón
- + Cubeta
- + Manguera
- + Masking Tape
- + Mortero y pistilo
- + Metate
- + Guantes
- + Horno
- + Careta
- + Brocha
- + Bolsas de plástico



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Se deberá utilizar la muestra triturada en la práctica anterior. La muestra se deberá tamizar con ayuda de los tamices de 10# y 60# (se puede realizar la clasificación con ayuda del tamizador vibratorio (rotap o manualmente). Se deberán obtener 4 kilogramos de mineral a - 10# +60#. Dicho mineral deberá ser homogeneizado de la misma manera que se realizó en la práctica de trituración, garantizando la representatividad de la muestra.

II. Actividad 2

Con ayuda del flexómetro medir el diámetro y la longitud interior del molino.

III. Actividad 3

Calcular la velocidad crítica del molino.

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{d}} \text{ [rpm]}; \quad d = \text{diámetro interior del molino en m}$$

$$V_c = \frac{76.62}{\sqrt{d}} \text{ [rpm]}; \quad d = \text{diámetro interior del molino en ft}$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

IV. Actividad 4

Calcular la velocidad de trabajo del molino.

$$V_t = 0.75 V_c [rpm]$$

V. Actividad 5

Calcular la carga de bolas del molino.

$$C_B = 0.2044 * V * \gamma [Ton]$$

C_B : Carga de bolas en toneladas

V : Volumen del molino en m^3

γ : Peso específico de las bolas

- 2.72 [t/m^3] para guijarros
- 7.85 [t/m^3] para bola de acero

VI. Actividad 6

Calcular el tamaño máximo de bola.

$$\phi = D^2 [mm]$$

Φ : Tamaño de alimentación en mm

D : Diámetro máximo de bola en pulgadas

VII. Actividad 7

Calcular la distribución del tamaño de bolas según Taggart.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

Tamaño de bola	%Peso	1 ¼"	1"	¾"	½"	¼"	1/8"
1 ¼"	100	54.5	26	13.5	5	1	-
¾"	100	-	-	79.5	18.5	2	-
½"	100	-	-	-	78	19	3

La tabla se usa dependiendo del tamaño máximo de bola. Esto se lee en la columna de tamaño, donde se deberá utilizar la fila correspondiente al tamaño máximo de bola anteriormente calculado. La columna de peso corresponderá a la carga de bolas y ésta representará el 100%. Las siguientes columnas corresponden a los tamaños de bolas con su respectivo porcentaje en peso. Por lo tanto, se calcula según el porcentaje cada uno de los pesos asociados a los tamaños de bola respecto al tamaño máximo de bola.

VIII. Actividad 8

Pesar las bolas de acero según la distribución calculada para obtener el peso total determinado como peso de la carga de bolas. Con ayuda del vernier se podrá medir el diámetro de cada bola para así conocer su tamaño.

IX. Actividad 9

Medir 1000 ml de agua en la probeta graduada.

X. Actividad 10

Pesar 1 kg del mineral previamente preparado y homogeneizado. Y pesar el tamiz de 60# que se utilizará para la prueba.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XI. Actividad 11

Con ayuda de un pedazo de masking tape se marcará el molino. Esto para conocer la velocidad del molino. Un estudiante al iniciar el proceso de molienda durante un minuto observará cuantas veces gira el molino, de esta manera se sabrá a cuantas revoluciones por minuto girará. Las revoluciones podrán ser modificadas ajustando la banda en las poleas, esto se hará dependiendo de la velocidad de trabajo calculada.

XII. Actividad 12

Introducir al molino las bolas de acero, el agua y el mineral.

XIII. Actividad 13

Cerrar el molino con ayuda del perico, apretando los tonillos de cierre.

XIV. Actividad 14

Subir el molino al tren de rodillos que acciona el movimiento, identificando posibles fugas de agua. De existir fugas se abrirá la tapa del molino y se moverá, hasta lograr que no existan fugas.

XV. Actividad 15

Iniciar el proceso de molienda. Se molerá durante 5 minutos y posteriormente se parará el motor que acciona el tren de rodillos.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XVI. Actividad 16

Abrir el molino y vaciar el contenido.

Se colocará una cubeta y sobre la cubeta se colocará un soporte de metal con malla para los medios de molienda. Se vaciará el molino y el contenido caerá directamente a la malla del soporte de metal de descarga. Con ayuda de la manguera que estará conectada a la llave de agua se limpiará todo el contenido del molino, limpiando posteriormente las bolas que cayeron en la malla de descarga. Se agitará la malla agarrándola de las agarraderas de los extremos para quitar el exceso de agua y el mineral adherido.

XVII. Actividad 17

Quitar la malla de descarga de bolas de la cubeta, y ya con la superficie metálica limpia regresar las bolas al molino. Armar el juego de tamices de 10# y 60# y colocarlos en una nueva cubeta. Se vaciará el contenido de la primera cubeta (con mineral molido, agua y bolas de tamaños de $\frac{1}{4}$ " o $\frac{1}{8}$ ") a la cubeta con el juego de tamices, la pulpa deberá caer en los tamices. El tamiz de malla 10 captará las bolas de $\frac{1}{4}$ " o $\frac{1}{8}$ " y el de 60# captará el mineral que no fue molido. El mineral captado en la 60# tendrá que ser tamizado con ayuda del agua de la manguera hasta que pase todo el mineral molido a -60#.

Nota: El mineral a -60# puede ser depositado en una tina ya que habrá ciclos posteriores y se usaran nuevamente las cubetas.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XVIII. Actividad 18

Pesar el mineral que quedó en el tamiz a +60#. (restar el peso del tamiz previamente pesado).

XIX. Actividad 19

Realizar otro ciclo de molienda. Utilizando el mineral del proceso anterior que quedo a +60# y completando con muestra fresca (tomado del mineral que previamente se homogeneizó) para llegar nuevamente a 1 kg, medir 1000 ml de agua y agregar al molino la carga de bolas, el mineral y los 1000 ml de agua.

XX. Actividad 20

Realizar el proceso de molienda siguiendo los pasos anteriores durante otros 5 minutos.

XXI. Actividad 21

La molienda se realizará hasta completar más de 1 kg de mineral que pase la malla 60, siempre en lapsos de tiempo de 5 minutos.

XXII. Actividad 22

Obteniendo más de 1 kg de mineral a -60#, se calculará el tiempo efectivo de molienda, calculando el tiempo en el cual exactamente 1 kg de mineral se molerá completamente. Este tiempo será calculado en base al mineral molido cada 5 minutos, pudiendo realizar una gráfica del mineral molido con el tiempo, intersectando en cuanto tiempo molerá 1 kg.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

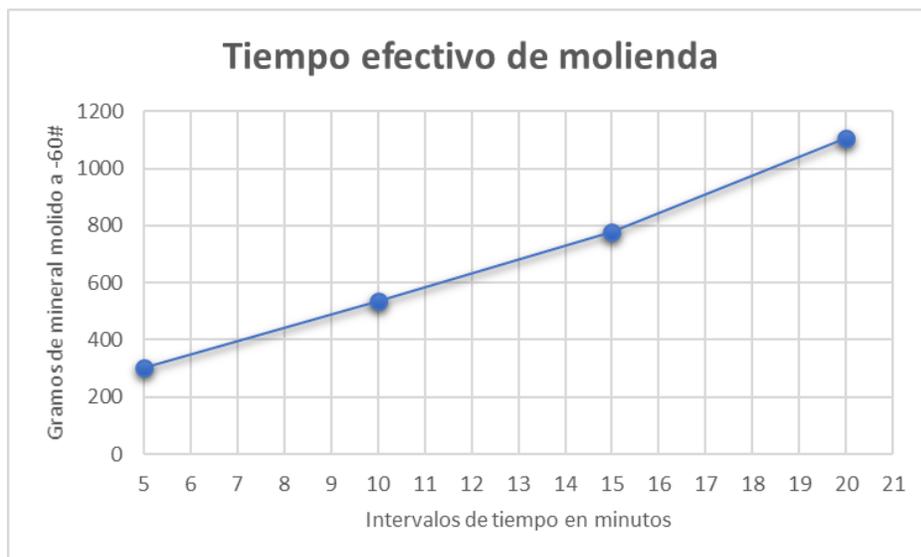
Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

Por ejemplo:

Al realizar el proceso de molienda durante intervalos de tiempo de 5 minutos se obtuvieron los siguientes resultados:

Intervalos de tiempo (min)	Mineral molido a -60# (g)
5	302
10	536
15	779
20	1,105

Graficando los resultados podremos observar de mejor manera el comportamiento de nuestro proceso de molienda.



Interpolando podemos saber cuántos minutos necesitamos para moler 1000 gramos de mineral en un solo ciclo.



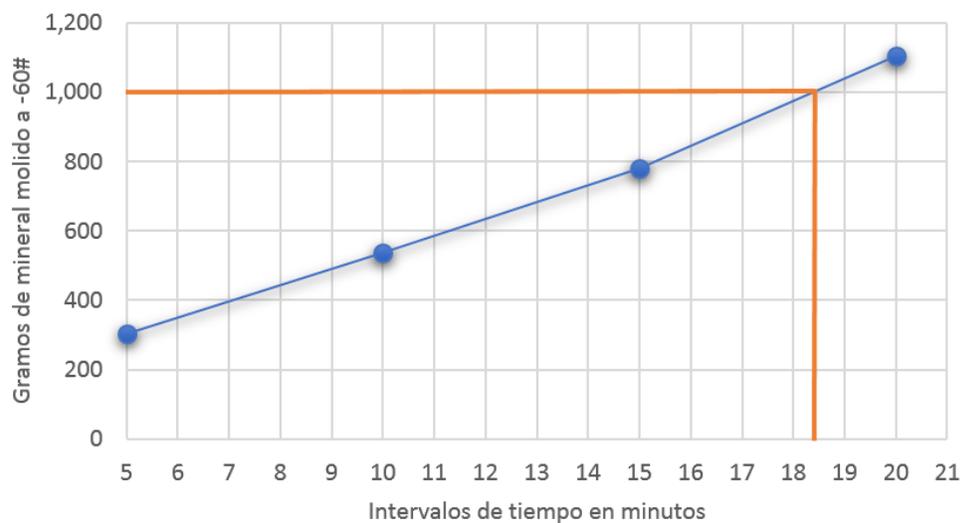
Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

$$y_{1000} = 15 + \frac{1000 - 779}{1105 - 779} (20 - 15) = 18.39 \text{ min}$$

Tiempo efectivo de molienda



Nota. Debido a que el mineral que no pasa las 60# es pesado en húmedo, se tendrá un error debido a que inicialmente se pesó la muestra completamente seca. Por ello se deberá verificar el tiempo efectivo de molienda al final del proceso.

XXIII. Actividad 23

Para realizar esta verificación preparar el molino con 1 kg de muestra fresca del mineral homogeneizado, 1000 ml de agua y la carga de bolas calculada.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XXIV. Actividad 24

El molino deberá estar girando el tiempo que se calculó en la gráfica para moler el kilogramo de mineral, es decir, el tiempo efectivo de molienda.

XXV. Actividad 25

Parar el molino, limpiándolo como se realizó anteriormente. Se debe observar si efectivamente todo el mineral pasa sobre la malla 60. De otra manera se deberá pesar el mineral que no pasó la malla 60 y se pondrá a secar en el horno para posteriormente pesarlo y calcular el tiempo efectivo de molienda.

XXVI. Actividad 26

Decantar la tina con el mineral a -60# y trasladarlo a una charola de peltre para su posterior secado.

XXVII. Actividad 27

Almacenar el mineral a -60# en una bolsa de plástico.

XXVIII. Actividad 28

Con el peso del mineral a +60# en circuito cerrado se podrá calcular el tiempo efectivo de molienda que se requiere para moler un kilogramo de mineral (con el tiempo y los gramos de mineral efectivamente molidos establecer el tiempo requerido para moler 1 kg. de mineral).



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

Bravo, Gálvez, Antonio, "Manual de molienda y clasificación de minerales", 2002, Minera Yauliyacu, Perú.

Espinosa de León Luis, "Teoría y prácticas de trituración y molienda", 1972, Comisión de Fomento Minero, México D.F.

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura preparación mecánica de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Molienda en seco.

N° de práctica: 03

Tema: Trituración y molienda de minerales.

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos
4	Molino	Lesión en espalda
5	Rodillo de molinos	Atrapamiento
6	Horno de gases	Intoxicación
7	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Desarrollar el experimento realizado por Fred C. Bond para el cálculo del índice de trabajo de molienda mediante el método Bond
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Experimentar la molienda en seco comparándola con la molienda en húmedo.
 - b) Estabilizar un proceso de molienda hasta obtener una carga circulante del 250%.
 - c) Calcular el índice de trabajo del molino.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

Uno de los parámetros más importantes en la industria minero-metalúrgica es conocer la cantidad de energía que gastará y con mayor precisión, conocer la cantidad de energía de cada una de las máquinas que conjunta su proceso. El molino es un equipo en donde se consume la mayor cantidad de energía de una planta metalúrgica, por ello un personaje muy importante que realizó experimentos para definir dicho gasto fue Fred C. Bond en 1951.

Bond estableció un experimento para el cálculo del índice de trabajo de un molino de bolas por vía seca. El experimento se ejecuta en un ciclo cerrado hasta obtener una carga circulante del 250% (es decir una carga circulante estable). Su ecuación plantea el cálculo de algunos parámetros que se desarrollan a lo largo del experimento; el primero será el F_{80} calculado tamizando el material a alimentar, posteriormente se calculará el P_{80} una vez estabilizada la carga circulante. Por último, el parámetro conocido como Gbp (Producto producido en gramos por revolución del molino de bolas). La ecuación planteada por Bond es la siguiente:

$$W_i = \frac{(44.5)}{(P_i)^{0.23} (Gbp)^{0.82} \left[\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right]} \text{ kWh/s. ton}$$

La ecuación podrá ser usada solamente cuando se tenga la carga circulante al 250%, esto se logra realizando ciclos de molienda (de 5 a 7 ciclos aproximadamente). El valor del índice de trabajo obtenido es usado para calcular la energía requerida para producir un tamaño de descarga dado, a partir de un tamaño de mineral alimentado a un circuito de molienda industrial, para lo cual se aplica la misma fórmula que en trituración:

$$W = \frac{10W_i}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10W_i}{\sqrt{F_{80}}} = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \left[\frac{kWh}{s} ton \right]$$

Donde W_i puede ser usado con toneladas cortas o toneladas métricas recordando que 1 tonelada métrica = 1.1 toneladas cortas.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Muestra mineral 4 Kg -10#
- + Molino de bolas
- + Bolas de acero
- + Juego de tamices (10#, 20#, 35#, 50 #, 60#, 100#, 150#, 200#, 230#, 325#)
- + Tapa y fondo para tamiz
- + Báscula
- + Charolas de peltre
- + Ro-Tap o cribadora
- + Cronómetro
- + Probeta
- + Piseta
- + Bolsa de plástico para homogeneizar muestra
- + Mortero con pistilo
- + Vernier
- + Flexómetro
- + Perico
- + Cucharón
- + Guantes
- + Cubrebocas
- + Brocha
- + Bolsas de plástico



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Preparar 4 kg de muestra de mineral a -10#. De requerirse usar el metate y el motero para obtener el mineral a la malla requerida.

II. Actividad 2

Vaciar la muestra en una lona de plástico para homogeneizar. Se homogeneizará tomando los extremos de la lona jalándolos hacia el centro uno por uno de los cuatro lados, realizando este ciclo por lo menos tres veces hasta que la muestra quede perfectamente homogeneizada.

III. Actividad 3

Medir en la probeta 700 cm³ de muestra y pesar descontando el peso de la probeta.

IV. Actividad 4

Tamizar la muestra con las mallas de 20, 35, 50 y 60. Realizarlo en la cribadora (ro tap) para tener mayor precisión en la clasificación granulométrica.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

V. Actividad 5

Pesar el contenido de cada tamiz para obtener el F_{80} (El mineral obtenido a +60# será considerado como grueso y el mineral a -60# será fino.)

VI. Actividad 6

El objetivo es llegar a una carga circulante de 250% por ello se tendrá que conocer cuánto mineral grueso y cuánto fino es necesario para llegar a esa carga circulante. Esto se realiza de la siguiente manera.

Supongamos que el peso total de los 700 cm^3 fue de 1680.7 gramos:

$$G + f = 1680.7 \text{ g} \dots (1)$$

$$G/f = 2.5 \dots (2) \quad \text{despejamos } G$$

$$G = 2.5f \dots (3) \quad \text{Sustituimos 3 en 1 y resolvemos la ecuación}$$

$G = 1200.5 \text{ g}$ y $f = 480.2 \text{ g}$ (teóricamente se deberá llegar a estos valores para obtener la CC de 250%).

VII. Actividad 7

Supóngase que al pesar los 700 cm^3 (en la actividad 3) se obtuvieron 1472.6 g de gruesos y 208.1 g de finos (realizado en las actividades 4 y 5). Del total tendremos un porcentaje de finos del 12.38%

$$\%f = \frac{1680.7}{208.1} * 100 = 12.38\%$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

Teóricamente tendremos este porcentaje en toda la muestra previamente preparada, ya que se homogeneizó completamente.

La carga de finos (los 208.1g) será sustituida por carga fresca, en esta carga fresca tendremos un porcentaje de finos (12.38%) es decir, ingresaremos 25.77 g de finos en la carga fresca.

$$f_{alimentados} = \frac{208.1}{100} * 12.38 = 25.77 \text{ g}$$

VIII. Actividad 8

El cálculo de los finos alimentados es para generar una tabla como la siguiente: (los datos de la tabla son ejemplo de un experimento realizado en el laboratorio)

Ciclo	Finos alimentados	Finos obtenidos	Gruesos obtenidos	Finos producidos	Número de revoluciones	Gbp	%CC
0	25.77	283.8	1385.5	258.03	100	2.58	488.2
1	35.13	* 480.2 ** 419.2	* 1200.5 **1238.1	* 445.07 ** 384.07	445.07/2.58 = 173	384.07/173 =2.22	295.3
2	51.9	* 480.2 ** 444.6	* 1200.5 **1144.1	* 428.3 ** 392.7	428.3/2.22 = 193	392.7/193 =2.03	257.3
3	55.04	* 480.2 ** 461.5	* 1200.5 **1160.3	* 425.16 ** 406.46	425.16/2.03 = 210	406.46/210 =1.94	251.4
4	57.13	* 480.2 ** 465.9	* 1200.5 **1166.2	* 423.07 ** 408.77	423.07/1.94 = 218	408.77/218 =1.875	250.3
5	57.67	* 480.2 ** 467.1	* 1200.5 **1167.9	* 422.53 ** 409.43	422.53/1.87 = 226	409.43/225 =1.812	250.03

Donde:

*: Valor teórico.

** : Valor real.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

Finos alimentados (g): Será la carga fresca para restituirse.

Finos obtenidos (g): Después de moler, es la cantidad que pasa por la malla de trabajo.

Grosos obtenidos (g): Después de moler, es la cantidad de mineral que queda en la malla de trabajo.

Finos producidos (g): Son los finos reales producidos en la molienda obtenidos al restar de los finos alimentados los finos obtenidos.

Número de revoluciones: Revoluciones a las que se obtendrán los finos deseados.

Gramos finos producidos por revolución (Gbp): Son los finos producidos divididos entre el número de revoluciones a las que se molieron.

%Carga circulante: Resultante de la relación de grosos y finos por cien.

IX. Actividad 9

Para generar la tabla anterior se deberán realizar ciclos de molienda. Se utilizará la carga de bolas calculada en la molienda en húmedo y el procedimiento será el siguiente:

- ✚ Ingresar los 700 cm³ de mineral al molino sustituyendo los finos por carga fresca (como se mencionó anteriormente).
- ✚ Ingresar la carga de bolas.
- ✚ Cerrar el molino.
- ✚ Comenzar el proceso de molienda, donde el tiempo estará dado por las revoluciones necesarias. El experimento comenzará con 100 revoluciones para el ciclo 0, posteriormente las rpm se calcularán.

$$rpm = \frac{\text{Finos producidos}_{\text{teóricos}}}{GBP}$$

(El Gbp que se considera es el del ciclo anterior.)



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

- ✚ Acabado el tiempo de molienda, vaciar el molino en una charola de peltre y limpiar el interior del molino y las bolas con una brocha, apartando las mismas y regresándolas al molino nuevamente.
- ✚ Tamizar el mineral con las mallas 10 y 60, en la malla 10 se captarán las bolas pequeñas y en la 60 se tamizará el mineral para conocer cuánto se molió.
- ✚ Pesar finos y gruesos obtenidos, es decir pesar mineral a -60# y a +60#.
- ✚ Llenar los datos del ciclo 0 (finos obtenidos, gruesos obtenidos, finos producidos, Gbp, % Carga Circulante) y calcular el número de revoluciones y los finos alimentados para el ciclo 1.

$$Gbp = \frac{\text{Finos producidos}_{\text{Prácticos}}}{rpm}$$

$$\% \text{ Carga Circulante} = \frac{\text{Gruesos obtenidos}}{\text{Finos obtenidos}}$$

- ✚ Se realizarán tantos ciclos hasta lograr una carga circulante del 250%
- ✚ Los finos obtenidos de cada ciclo se guardarán en bolsas de plástico etiquetadas con el número de equipo, peso de los finos, ciclo que corresponda y fecha.

X. Actividad 10

Al llegar al 250% de carga circulante se mezclarán el mineral fino del último ciclo de molienda y el fino del ciclo inmediato anterior y se tamizarán con los tamices de 100#, 150#, 200#, 230# y 325#.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XI. Actividad 11

Pesar el mineral atrapado en cada tamiz y graficar para obtener el P_{80} .

XII. Actividad 12

En el reporte deberá realizar el cálculo de W_i y el W

$$W_i = \frac{48.95}{(Pi)^{0.23}(Gbp)^{0.82} \left[\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right]} \left[\frac{kWh}{s} \cdot ton \right]$$

$$W = \frac{10W_i}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10W_i}{\sqrt{F_{80}}} = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \left[\frac{kWh}{s} ton \right]$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

Bravo Gálvez, Antonio, "Manual de molienda y clasificación de minerales", 2002, Minera Yauliyacu, Perú.

Espinosa de León Luis, "Teoría y prácticas de trituración y molienda", 1972, Comisión de Fomento Minero, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura preparación mecánica de minerales". UNAM, FI, 1996.

<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/indice-trabajo-bond-procedimiento/>



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Prácticas de concentración de minerales.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Preparación y parámetros de una pulpa.

N° de práctica: 04

Tema: Concentración por flotación

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Horno de Secado	Intoxicación por gases
2	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Controlar los parámetros que influyen en la generación de una pulpa mineral.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Aprender a manipular una pulpa mineral.
 - b) Calcular parámetros que se pueden modificar en una pulpa mineral.
 - c) Corroborar el cálculo teórico de los parámetros con la balanza Marcy.
 - d) Aprender a utilizar y manipular la balanza Marcy.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

Las pulpas son una mezcla de sólidos (mineral) y líquidos en forma de suspensiones. Es un fluido homogéneo formado por uno o varios minerales en agua.

Las pulpas pueden ser caracterizadas ya que pueden tener diferentes composiciones y características físicas que las definen. Las características más importantes de la pulpa estarán dadas por las propiedades de sus diferentes componentes; se compondrá de sólidos (minerales) con características específicas definidas (densidad, composición, tamaño, etc.) y el líquido (agua), de esta manera podremos analizar una pulpa por su composición y características específicas al estar en contacto con el agua con los minerales (densidad, porcentaje de sólido y líquido, viscosidad, etc.). Caracterizar una pulpa es muy importante, ya que esto controlará muchas de las partes del proceso mecánico (molienda) y fisicoquímico (concentración), de otra manera los resultados serán insatisfactorios y además tendrán un mayor costo.

Las principales propiedades de la pulpa son las siguientes;

- ✚ Densidad de la pulpa.
- ✚ Porcentaje de sólidos en peso; que tanto por ciento de sólidos hay en la pulpa.
- ✚ Porcentaje de sólidos en volumen: que porcentaje de volumen de sólidos se tiene en el total de la pulpa.
- ✚ Relación sólido-líquido (en peso y volumen) o dilución de la pulpa.

Las propiedades de la pulpa son modificables, esto nos ayudará a facilitar diferentes procesos:

- ✚ Mejorar resultados de molienda.
- ✚ Adecuada flotación de minerales en la planta concentradora.
- ✚ Fácil transporte de pulpa en tuberías.
- ✚ Mejor asentamiento en tanques espesadores.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Una de las herramientas más utilizadas para el control de pulpas es la balanza Marcy. La balanza Marcy nos da lecturas rápidas de gravedad específica de la pulpa, el porcentaje de sólidos en peso y la densidad de los sólidos secos. La balanza Marcy está constituida por un vaso con orificios a los extremos de este que evitarán que la muestra sea mayor a un litro, si excede este volumen simplemente la muestra se derramará por los orificios. En la balanza se podrán leer los parámetros antes mencionados conociendo la densidad del mineral.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- ✚ Muestra de mineral
- ✚ Probeta graduada 1 L
- ✚ Balanza digital
- ✚ Balanza Marcy
- ✚ Vaso de precipitados de 1 L
- ✚ Tara
- ✚ Pipeta
- ✚ Charolas de peltre
- ✚ Cucharón
- ✚ Bolsas de plástico
- ✚ Destornillador
- ✚ Horno
- ✚ Embudo de cristal
- ✚ Careta
- ✚ Guantes



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

La cantidad de muestra que se pesará está en función del número de brigada que tenga cada equipo. Esto se hará de la siguiente manera; el número de brigada se multiplicará por 50 y estos serán los gramos de muestra correspondientes a la brigada, por ejemplo; la brigada número 4 tendrá que pesar una muestra mineral de 200 gramos. De la misma manera se realizará con las demás brigadas.

II. Actividad 2

Se deberán medir 500 ml de agua en la probeta (esta medida es para todas las brigadas).

III. Actividad 3

Se vaciará la mayor parte de los 500 ml de agua en el vaso de precipitados de 1L. Dejando en la probeta de 100 a 150 ml (no debe ser exacto).

IV. Actividad 4

El mineral que se pesó anteriormente deberá ser vaciado a la probeta, esto se realizará poniendo el embudo de cristal en la boca de la probeta para evitar que el mineral quede pegado en las paredes de la probeta.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

V. Actividad 5

Se vaciará el agua del vaso de precipitado a la probeta (nuevamente). Si quedó mineral pegado en las paredes de la probeta, asentarlos con el agua que se está vaciando.

VI. Actividad 6

Observar el volumen que desplazó el mineral.

VII. Actividad 7

Calcular la densidad del mineral.

$$\rho_{\text{mineral}} = \frac{m_{\text{mineral}}}{v_{\text{mineral}}} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

VIII. Actividad 8

Calcular la densidad de la pulpa.

$$\rho_{\text{pulpa}} = \frac{m_{\text{mineral}} + m_{\text{agua}}}{v_{\text{mineral}} + v_{\text{agua}}} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

IX. Actividad 9

Calcular el porcentaje de sólidos en peso y volumen.

$$\% \text{ sólidos}_{\text{peso}} = \frac{m_{\text{mineral}}}{m_{\text{pulpa}}} * 100 [\%]$$

$$\% \text{ sólidos}_{\text{volumen}} = \frac{v_{\text{mineral}}}{v_{\text{pulpa}}} * 100 [\%]$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

X. Actividad 10

Calcular la relación líquido-sólido en peso y volumen.

$$\text{Rel. } S - L_{\text{peso}} = \frac{m_{\text{agua}}}{m_{\text{mineral}}}$$

$$\text{Rel. } S - L_{\text{volumen}} = \frac{v_{\text{agua}}}{v_{\text{mineral}}}$$

XI. Actividad 11

Con ayuda de los cálculos anteriores, se deberán calcular la cantidad de mineral y agua para completar un litro de pulpa. Los parámetros anteriores no deberán cambiar (% sólidos, relación líquido-sólido, densidad de pulpa).

XII. Actividad 12

Obtenidos el peso del mineral y el volumen de agua se procederá a pesar y medir los mismos.

XIII. Actividad 13

Se preparará la pulpa como se realizó anteriormente.

XIV. Actividad 14

Se corroborará que se llegó a un litro de pulpa.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XV. Actividad 15

Calibrar la balanza Marcy

- ✚ Llenar el vaso metálico de agua hasta que se desborde por los orificios externos del vaso.
- ✚ Con sumo cuidado de no derramar agua colocar el vaso metálico con agua en el gancho de la balanza Marcy.
- ✚ La aguja de la balanza se moverá y ésta deberá estar marcando exactamente a la mitad de la balanza, es decir, la aguja deberá estar en 0.
- ✚ Si la aguja está desplazada a la izquierda o derecha se deberá calibrar con ayuda de un destornillador. Esto se hará girando el tornillo ubicado en la parte inferior de la balanza, exactamente arriba del gancho que sostiene el vaso metálico.
- ✚ Una vez calibrada la balanza se vaciará el agua en algún recipiente para no desperdiciarla

XVI. Actividad 16

Vaciar el litro de pulpa de mineral contenido en la probeta al vaso metálico de la balanza Marcy. No deberá quedar ni mineral ni agua en la probeta.

XVII. Actividad 17

Colocar el vaso metálico en el gancho de la balanza Marcy como se hizo anteriormente.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XVIII. Actividad 18

Hacer la lectura de la balanza Marcy corroborando los datos teóricos anteriormente calculados con los prácticos que arroja la balanza.

XIX. Actividad 19

Pasar el litro de pulpa a una charola de peltre y dejar que se sedimente para posteriormente decantarla.

XX. Actividad 20

Decantar la pulpa mineral y secarla en el horno.

XXI. Actividad 21

Colocar la muestra seca en una bolsa de plástico y pesarla reportando pérdidas de mineral.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

Andrea Blanco Emilio, "Tecnología Metalúrgica", Universidad de Cantabria, Cap. 3 pp. 1- 18.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.

<https://www.911metallurgist.com/marcy-scale>.

<http://www.caimex.com.br/balanca-de-polpa>.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Flotación de Sulfuros.

N° de práctica: 05

Tema: Concentración por flotación

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Reactivos químicos	Quemadura
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Horno de secado	Intoxicación
4	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Experimentar el proceso de flotación de minerales (sulfuros).
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Aplicar conocimientos teóricos de flotación para realizar un proceso de flotación primaria y agotativa.
 - b) Reconocer y utilizar adecuadamente los reactivos químicos para llevar a cabo el proceso de flotación de manera correcta.
 - c) Desarrollar las herramientas adecuadas para obtener diferentes concentrados minerales.
 - d) Conocer las condiciones a las cuales se lleva a cabo el proceso de flotación.
 - e) Analizar y observar los minerales concentrados en el proceso de flotación (primaria y agotativa).



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

La flotación es un proceso que revolucionó la concentración de minerales, siendo un proceso que puede elevar leyes minerales bajas y tratar grandes tonelajes de mineral. La flotación es un proceso selectivo en donde se aprovechan las propiedades superficiales de las partículas para dicha selección.

El proceso de flotación consiste en separar minerales mediante el uso de reactivos, buscando hacer reaccionar la superficie de la partícula para que esta se comporte en el agua hidrofólicamente y pueda salir a la superficie con ayuda de burbujas de aire en forma de espuma. Los reactivos químicos son seleccionados según el mineral que se desea flotar, en donde la selectividad del proceso dependerá del tipo de reactivo que se utilizará (colector, depresor, activador).

La variable principal para el proceso es la adsorción de la partícula cuando se agregue el colector, es decir, el colector cambiará las propiedades de la superficie de la partícula para que ésta se comporte de manera hidrófoba y al adherirse a la burbuja pueda flotar a la superficie. Sin embargo, en este proceso puede que el colector no solamente reaccione con las partículas del mineral de interés, sino que, flotarán otras partículas de características similares. Por ello, existen reactivos químicos que harán que dichas partículas no reaccionen (depresores).

Además del control de reactivos químicos, es muy importante conocer el comportamiento de la carga de la partícula en función de su pH, esto nos dará a conocer a que pH mi partícula flotará y que tipo de colector utilizaré (aniónico o catiónico) para obtener los resultados deseados. Este conocimiento fue revelándose gracias a la ardua experimentación, dando lugar a tablas y gráficas que nos dan un mejor panorama de la cuantificación de reactivos para flotar minerales.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- ✚ Probeta 1000 ml
- ✚ Vasos de Precipitados
- ✚ Manual de CYTEC.
- ✚ Celdas de Flotación
- ✚ Máquina de Flotación
- ✚ Reactivos
- ✚ Papel pH
- ✚ Guantes de nitrilo
- ✚ Muestra 1 kg - 100#
- ✚ Charolas
- ✚ Cucharón
- ✚ Piseta
- ✚ Cronómetro
- ✚ Pinzas de metal
- ✚ Agitadores de Cristal
- ✚ Báscula digital
- ✚ Bolsas de Plástico
- ✚ Horno
- ✚ Careta
- ✚ Guantes aislantes



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar 250 g de muestra mineral y calcular la cantidad de agua, con el objetivo de generar una pulpa de 1 litro.

II. Actividad 2

Corroborar que los cálculos fueron correctos y verter el agua y el mineral en la probeta graduada.

III. Actividad 3

Vaciar la pulpa mineral en la celda de flotación de 1 L.

IV. Actividad 4

Realizar el cálculo de los reactivos que se utilizaran y posteriormente pesar en vasos de precipitados la cantidad de reactivo obtenida en los cálculos con los reactivos en los vasos de precipitados diluir en 30 ml de agua para disolverlos en su totalidad.

Nota: Será necesario consultar una tabla de cálculo de reactivos para diferentes minerales a flotar. En el laboratorio de metalurgia se proporcionarán las mismas o consultar el manual de CYTEC.

V. Actividad 5

Subir el mecanismo de agitación y colocar la celda de flotación con la pulpa mineral. Bajar el mecanismo de agitación hasta el tope (después



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

subir un poco la propela para que no quede en contacto con el fondo de la celda) y posteriormente encender el motor para agitar la pulpa a una velocidad constante (RPM).

VI. Actividad 6

Realizar el acondicionamiento de la pulpa. Hay que recordar que en el acondicionamiento no se inyecta aire, por lo que la válvula de escape de aire debe estar cerrada. Los reactivos se agregan previo a la salida del aire.

VII. Actividad 7

Colocar una charola a un costado de la celda y comenzar la flotación abriendo la válvula de escape de aire.

VIII. Actividad 8

Se comenzarán a generar burbujas, dependiendo de los reactivos utilizados y su dosificación la burbuja será de mayor o menor tamaño. Si la espuma no alcanza a derramarse se deberá ayudar con la espátula de goma y jalar la espuma (evitar jalar agua) para que ésta caiga en la charola.

IX. Actividad 9

Al terminar el proceso, el estudiante cerrará la válvula de escape de aire y apagará el motor.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

X. Actividad 10

El alumno realizará nuevos cálculos de reactivos para realizar una flotación agotativa, esta se realizará en la misma pulpa contenida en la celda de flotación. Se trabajará con la misma pulpa hasta que la brigada lo decida, es decir, se realizarán tantas flotaciones agotativas hasta que la espuma no se vea cargada de mineral (espuma clara).

XI. Actividad 11

Al terminar las flotaciones agotativas, el alumno podrá realizar más pruebas con mineral fresco, realizando el mismo proceso de flotación.

XII. Actividad 12

Las charolas con mineral se deberán decantar y posteriormente secar en el horno de secado.

XIII. Actividad 13

Observar en el microscopio los concentrados (primario y agotativos) y colas analizando los minerales que predominan en éstos.

XIV. Actividad 14

Analizar y comparar las diferentes flotaciones llevadas a cabo, mencionando diferencias entre ellas y por qué dieron esos resultados.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huevo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Flotación de óxidos.

N° de práctica 06

Tema: Concentración por flotación

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos
4	Reactivos Químicos	Quemaduras o intoxicación

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Experimentar la flotación de minerales de óxidos, observando las diferencias que existen con la flotación de sulfuros
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Conocer reactivos catiónicos y aniónicos para la flotación de óxidos.
 - b) Experimentar los diferentes tipos de flotación de óxidos de hierro.
 - c) Observar y analizar resultados, comparando la flotación de óxidos con la de sulfuros.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

La flotación de óxidos es una práctica poco común a comparación de los sulfuros. Sin embargo, en algunos casos es necesario beneficiar los minerales oxidados para un posterior proceso de recuperación del mineral o elemento. Uno de los minerales más comunes que se pueden beneficiar son los óxidos de hierro, en el cual se encuentran en muchas ocasiones en contacto con silicatos, esto hará que no solamente se estudien las propiedades de flotabilidad de los óxidos de hierro sino también de los silicatos.

La flotación más común es mediante adsorción física en la cual será importante encontrar el punto de carga cero de los minerales, esto nos indicará el tipo de colector (aniónico o catiónico) a utilizar. Utilizando colectores de cadena corta, sulfonatos, aquil sulfato y carboxilatos. Además del tipo de colector se deberá analizar el mineral a flotar, es decir, realizar una flotación directa en donde el mineral de interés económico es captado por las burbujas en la flotación o se efectuará una flotación inversa en donde el mineral de interés económico es deprimido por reactivos y se flotará el mineral denominado como ganga. La importancia de esta práctica radicara en el uso adecuado de reactivos, seleccionando el tipo de colector, depresor, espumante y el pH adecuado para dicha flotación.

La flotación inversa es actualmente la más usada en el mundo, debido a las altas recuperaciones de óxido de hierro. El problema radica en los altos costos en el uso de reactivos colectores catiónicos (aminas). En la flotación inversa aniónica se utiliza cal para activar el cuarzo (sílice) y ácidos grasos como colectores, la proporción de costo de reactivo es menor que las aminas.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- ✚ Muestra mineral de óxidos -100#.
- ✚ Celda de flotación.
- ✚ Reactivos químicos.
- ✚ Manual de CYTEC.
- ✚ Tara.
- ✚ Vasos de precipitados de 10 ml.
- ✚ Embudo de cristal.
- ✚ Papel indicador de pH
- ✚ Báscula digital.
- ✚ Agitadores de cristal.
- ✚ Charolas de peltre.
- ✚ Cronómetro.
- ✚ Probeta.
- ✚ Pizeta.
- ✚ Pipeta.
- ✚ Bolsa de plástico.
- ✚ Cucharón.
- ✚ Guantes.
- ✚ Horno.
- ✚ Careta.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar una cantidad conocida de mineral (pueden ser 50, 100, 150 g).

II. Actividad 2

Medir un volumen conocido de agua en una probeta para ajustar a 40% de sólidos en acondicionamiento y 25% de sólidos en flotación.

III. Actividad 3

Vaciar la cantidad de agua necesaria en un vaso de precipitados de 1 L, posteriormente vaciar el mineral. Si quedan residuos pegados del mineral en las paredes se deberán remover con el agua que se vertió en el vaso de precipitados.

IV. Actividad 4

Medir el volumen desplazado por el mineral y calcular la densidad de este.

V. Actividad 5

Calcular el peso de agua y mineral para completar 1 litro de pulpa.

VI. Actividad 6

Medir el volumen de agua y pesar el mineral calculado.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

VII. Actividad 7

Vaciar el mineral y verter el agua en la celda de flotación de 1 litro.

VIII. Actividad 8

Elegir reactivos a utilizar para la flotación. Los reactivos podrán ser consultados en el manual de CYTEC.

IX. Actividad 9

Calcular la cantidad de reactivos a utilizar en la prueba y vaciar cada uno en un vaso de precipitados en 30 ml de agua para que estén totalmente disueltos para la prueba.

X. Actividad 10

Encender el motor de la celda, medir el pH y de ser necesario regularlo con hidróxido de calcio u óxido de calcio.

Nota: Al encender el motor lo único que acciona es la propela que agita la pulpa. La válvula de escape de aire deberá estar cerrada.

XI. Actividad 11

Agregar los reactivos restantes (depresor, colector y espumante).

Nota: Los reactivos deben tener un tiempo de acondicionamiento que el alumno elegirá.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XII. Actividad 12

Colocar una charola de peltre a un costado de la celda de flotación para recolectar el mineral que flotará.

XIII. Actividad 13

Abrir la válvula de escape de aire y comenzar el proceso de flotación. (Con el cronometro tomar el tiempo de flotación, que iniciará cuando se derrame la primera espuma).

XIV. Actividad 14

Vaciar el contenido de la celda en otra charola de peltre.

XV. Actividad 15

Decantar, secar y pesar el concentrado y las colas.

XVI. Actividad 16

Observar ambos productos en el microscopio.

XVII. Actividad 17

Realizar tres pruebas más, modificando los reactivos a utilizar, dosificaciones y tiempos de acondicionamiento.

XVIII. Actividad 18

Comparar y analizar críticamente los resultados de cada prueba.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.

Ma, Mark. "Froth Flotation of Iron ores", International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing, 2012, Australia.

Vidalón Gálvez José. "Reactivos de flotación de minerales oxidados y no metálicos", Colegio de ingenieros del Perú, 2004, Lima Perú.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Concentración gravimétrica en Mesa Wilfley.

N° de práctica 07

Tema: Concentración Gravimétrica

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Mesa Wilfley	Atrapamiento
2	Horno de secado	Intoxicación
3	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Observar y analizar el proceso de concentración de minerales a partir de la gravedad específica de los mismos.

- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Manipular el equipo de concentración gravimétrica, modificando parámetros observando los diferentes resultados obtenidos.
 - b) Aprender el uso de la mesa Wilfley, observando los parámetros que pueden cambiar los resultados que desea (Inclinación, velocidad de movimiento, alimentación, etc.).
 - c) Analizar y observar los diferentes materiales obtenidos definiendo el mineral obtenido de cada concentrado (densos, medios y ligeros).



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

Concentración Gravimétrica

La concentración gravimétrica es la separación de especies minerales que tienen un diferente peso específico. La separación es realizada por el movimiento en medios acuosos o en aire, en donde los minerales responden a diferentes tipos de fuerzas: de empuje, de sacudimiento, gravitacionales.

Para una buena separación gravimétrica se deberán cuidar cuatro parámetros:

- La **liberación de las partículas**, en donde se busca que los minerales a concentrar estén libres de los minerales que serán catalogados como ganga.
- La **distribución de tamaños en alimentación**, hidráulicamente una partícula muy pequeña y densa se comporta como una liviana. Se busca que no existan distribuciones granulométricas donde haya partículas finas y gruesas.
- La **diferencia de densidad**, donde se debe buscar una amplia diferencia en el peso específico del mineral que se quiere concentrar a los demás minerales que se van a desechar. Esto se puede comprobar por el criterio de concentración (CC):

$$CC = \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_l - \rho_f}$$

Dónde:

ρ_p = densidad de las partículas densas.

ρ_l = densidad de las partículas ligeras.

ρ_f = densidad del fluido.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

En un proceso eficiente CC debe ser mayor o igual a 2.5 (véase fig. 7.1)

- La **forma de las partículas**, aquí se busca que no existan partículas en forma laminar ya que su comportamiento es diferente a partículas esféricas.

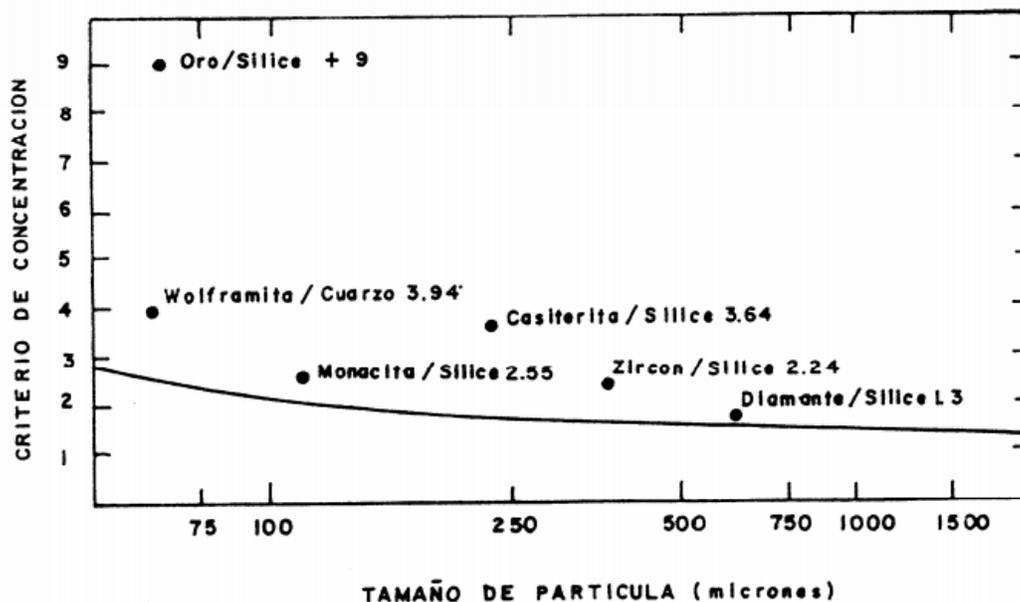


Fig. 7.1 Criterio de concentración

Mesas vibratorias

Las mesas vibratorias son equipos de concentración gravimétrica de separación en corrientes longitudinales de tipo laminar, es decir, la separación consiste en fuerzas de sacudimiento (longitudinalmente) en un medio acuoso, donde las partículas con un mayor peso específico tenderán a sedimentarse, teniendo una mayor velocidad de caída.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

La mesa vibratoria más utilizada es la mesa Wilfley (véase Fig. 7.2). La Mesa Wilfley cuenta con una caja de alimentación, en esta caja caerá el mineral que se quiere concentrar, una perilla de ajuste de inclinación y la zona de inyección de agua, todo esto se ilustra en la imagen (2) También observamos una zona de descarga de concentrado, la zona donde se captan los medios (material ligero y denso) se indica como zona de descarga de medios, una zona de las colas o ligeros y un cortador en la parte inferior izquierda de la imagen. Por último, se muestra la zona de la acción del motor, aquí se muestra una perilla de ajuste de la velocidad de movimiento y un ajuste de la longitud de golpe. Las líneas paralelas representan los rifles de la mesa Wilfley.

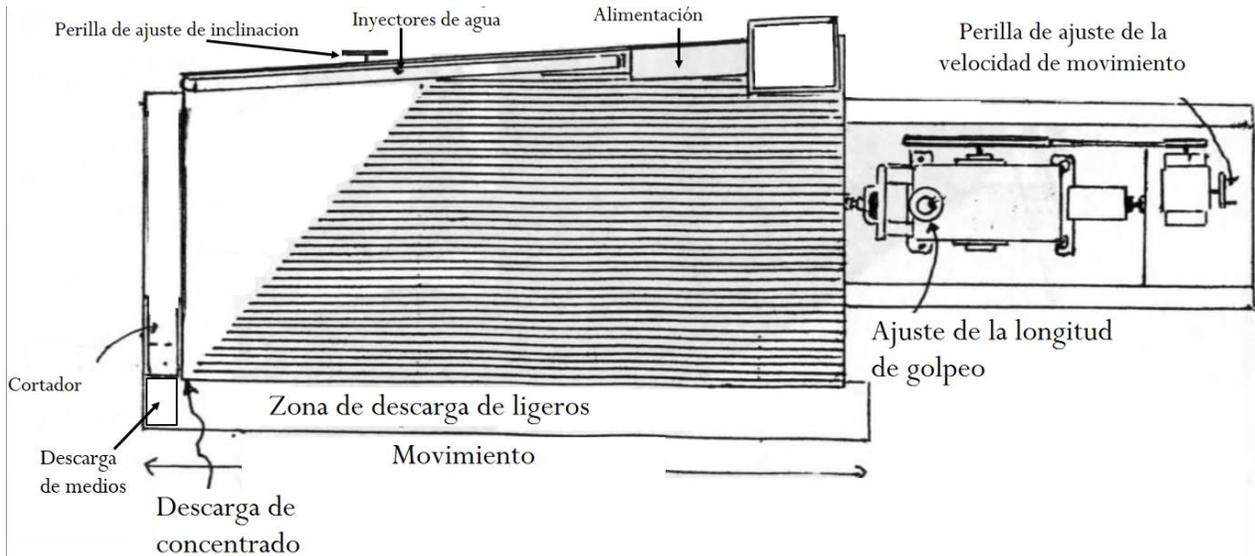


Fig. 7.2 Esquema Mesa Vibratoria tipo Wilfley.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Equipo y Material

- ✚ Mesa Wilfley
- ✚ Alimentador Vibratorio
- ✚ Balanza Digital
- ✚ Muestra Mineral
- ✚ Cucharón
- ✚ Cronómetro
- ✚ Tacómetro
- ✚ Clinómetro
- ✚ Tina de Plástico
- ✚ Flexómetro
- ✚ Charolas de Peltre
- ✚ Bolsas
- ✚ Horno
- ✚ Careta
- ✚ Guantes Aislantes



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesarán 150 g de muestra mineral.

II. Actividad 2

Con ayuda del tacómetro, se medirán las revoluciones por minuto que tiene el motor que acciona el sacudimiento de la Mesa Wilfley. Estas se medirán colocando la punta del tacómetro en un orificio (el eje de rotación de la polea) ubicado a un costado de la banda del motor, al accionar el motor se deberá presionar el botón de encendido del tacómetro ubicado a un costado del mismo, al hacer esto automáticamente comenzará a medir las revoluciones por minuto, por lo que se deberá observar y después de 1 minuto anotar las lecturas registradas en el tacómetro (mínima, máxima y promedio), la lectura promedio será la que se considerará para el experimento. Si se desean aumentar o disminuir dichas revoluciones se deberá girar la perilla conectada en un extremo del motor hacia la izquierda o derecha según corresponda.

III. Actividad 3

Con la ayuda del Clinómetro se observará la inclinación que tiene la Mesa Wilfley. Si se desea modificar la inclinación de la Mesa, en la parte inferior de la misma existe una perilla que modifica la inclinación hasta la deseada.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

IV. Actividad 4

Se deberá programar el alimentador vibratorio, aquí se introducirá la muestra que posteriormente caerá directamente a la mesa Wilfley. El alimentador vibratorio da la opción para modificar la amplitud que tendrá la vibración (mayor amplitud da mayor velocidad de alimentación, menor amplitud dará menor velocidad de alimentación), también será importante programar el tiempo de alimentación, es decir, en que tiempo el alumno terminará de verter la muestra al alimentador.

V. Actividad 5

El alimentador cuenta con una placa metálica horizontal en la cual caerá el material y ayudado de las vibraciones recorrerá dicha placa y caerá a la Mesa alimentando la misma. El estudiante deberá medir la distancia desde donde cae el material a la placa hasta donde el material caerá a la mesa. (véase fig. 7.3).



Fig. 7.3 Imagen alimentador vibratorio



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

VI. Actividad 6

El estudiante deberá ajustar el cortador que separará el material denso del material denominado como medios y registrar la posición del cortador en sus notas. Esto es muy importante ya que definirá hacia donde irá el material denso, de otra manera no habrá una buena concentración. (Véase fig. 7.4)



Fig. 7.4 Imagen Cortador para separación de tipos de material.

VII. Actividad 7

Establecidos los parámetros se procederá a encender el motor y se abrirá la perilla de paso de agua, en la que se deberá ajustar hasta obtener una presión de agua adecuada. La mesa deberá estar completamente húmeda antes de comenzar la alimentación del mineral.

VIII. Actividad 8

Se procederá a alimentar el mineral desde el Alimentador Vibratorio, la alimentación debe ser continua durante el tiempo determinado por



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

el estudiante, es decir, si el estudiante alimentará durante 3 minutos la alimentación de la muestra deberá ser a lo largo de estos 3 minutos.

El estudiante deberá tomar el tiempo que le toma a la primera partícula alimentada recorrer la placa metálica del alimentador, desde que cae a la placa metálica hasta que cae a la Mesa Wilfley. Con esto y la longitud de la placa se podrá calcular la velocidad de alimentación.

IX. Actividad 9

El estudiante deberá dejar la Mesa en funcionamiento hasta que separe el material y lo deposite en los contenedores correspondientes (densos, medios, ligeros), registrando el tiempo total del proceso.

X. Actividad 10

Terminado el proceso se apagará el motor y cerrará la perilla de agua.

XI. Actividad 11

Se deberá colocar el material de los contenedores metálicos en charolas, tratando de eliminar la mayor cantidad de agua posible. Si el estudiante observa el agua muy turbia deberá esperar hasta que las partículas sedimenten completamente.

Debajo de la Mesa en la cual se colocó la tina de desagüe, existirá muestra mineral de baja densidad (ligeros), éstos se deberán colocar en la charola de ligeros.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XII. Actividad 12

El estudiante decantará y secará el material de las tres charolas (densos, medios y ligeros).

XIII. Actividad 13

El estudiante pesará y observará en el microscopio las especies minerales obtenidas en la separación gravimétrica.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.

M.O Bustamante, A.C. Gaviria y O.J. Restrepo (2008). Apuntes de Concentración de Minerales, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Michael Hand (1987). Gold Room Operations Manual, The Granites Gold Mine, USA.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Concentración magnética en Tambor Rotatorio.

N° de práctica: 08

Tema: Separación por Concentración Magnética

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Campo Magnético	Daño Teléfonos móviles
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Horno de secado	Intoxicación
4	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Comprender el proceso de concentrar minerales con susceptibilidad magnética.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Aprender el uso del tambor rotatorio para la separación de dos minerales aprovechando la susceptibilidad magnética.
 - b) Comprender el uso del tambor rotatorio, haciendo uso de los diferentes parámetros que se pueden modificar el comportamiento de este.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

El principio básico de la concentración magnética es la susceptibilidad magnética de un material, es decir la respuesta que tiene éste en un campo magnético. No todos los minerales tienen la misma respuesta, por ello se divide en dos principales grupos: minerales paramagnéticos (atraídos por un campo magnético) y los diamagnéticos (repelidos por un campo magnético). Existe un tipo de minerales paramagnéticos que se subdividen en otra categoría y son los ferromagnéticos, estos presentan algo conocido como remanencia que es la retención de magnetismo cuando se alejan del campo.

Las divisiones anteriores son importantes para conocer el tipo de concentración que se realizará: los minerales diamagnéticos no son candidatos para concentrarse por este método, los minerales paramagnéticos podrán concentrarse con separadores magnéticos de alta intensidad (Ni, Co, Mn, Cr, Ce, Ti, etc.) y los minerales ferromagnéticos serán concentrados con separadores magnéticos de baja intensidad.

Existen diferentes equipos de concentración magnética (Tambores (ver fig. 8.1), Bandas transversales, de disco, de rodillo, tubo Davis (a nivel laboratorio), Jones, etc.), sin embargo, sólo se describirá la función de los equipos de concentración de tambor. Las máquinas de tambor son utilizadas para la concentración de menas de hierro y consisten en un tambor rotatorio que contiene de tres a seis magnetos estacionarios de polaridad alternada. Existen diferentes tipos y esto dependerá de su rotación; De corriente y rotación de igual dirección, de rotación inversa y de contracorriente. El primero será el utilizado en el laboratorio.

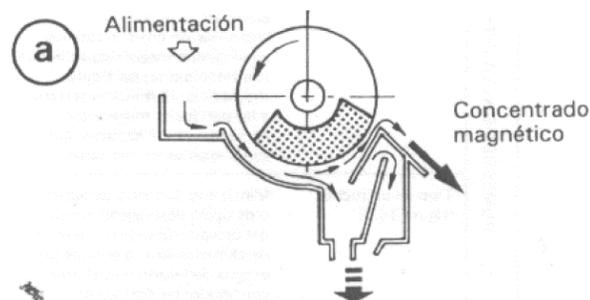


Fig. 8.1 Diagrama de tambor magnético de corriente directa



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- ✚ Muestra mineral magnetita – hematita
- ✚ Concentrador Magnético de tambor giratorio.
- ✚ Báscula
- ✚ Charolas de peltre
- ✚ Cronómetro
- ✚ Manguera
- ✚ Piseta
- ✚ Alimentador vibratorio
- ✚ Bolsa de plástico
- ✚ Cucharón
- ✚ Cubeta
- ✚ Guantes
- ✚ Horno
- ✚ Careta



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar 50 gramos de muestra

II. Actividad 2

Conectar la manguera a la llave de agua. El otro extremo de la manguera se colocará en la entrada de alimentación del tambor.

III. Actividad 3

La alimentación estará dada por el alimentador vibratorio. Fijar parámetros de alimentación (tiempo y frecuencia de vibración).

IV. Actividad 4

Abrir la llave de agua, dejando llenar el tambor hasta la marca de desagüe de agua. Si se llena más de la marca, el agua se derramará.

V. Actividad 5

Fijar parámetros del tambor (intensidad de campo magnético y dirección de giro del tambor).

VI. Actividad 6

Colocar una charola en la zona de descarga del material magnético. Es decir, del lado opuesto a la alimentación. Asimismo, colocar una tina



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

debajo del tambor donde se captará la ganga mineral (mineral no magnético).

VII. Actividad 7

Encender el motor del tambor y anotar amperaje y voltaje de este.

VIII. Actividad 8

Encender el alimentador y comenzar a alimentar.

IX. Actividad 9

El proceso terminará hasta que el alumno lo decida. Hay que recordar que el tiempo de proceso comienza cuando se alimenta y terminará hasta que se pare el motor del tambor.

X. Actividad 10

Parar el motor sin apagar el campo magnético.

XI. Actividad 11

Abrir la llave de desagüe para eliminar la ganga

XII. Actividad 12

Con ayuda de la pizeta rociar agua para limpiar de mejor manera el compartimiento debajo del tambor.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XIII. Actividad 13

Apagar el campo magnético, captando en la charola de peltre el material magnético.

XIV. Actividad 14

Limpiar el tambor con la piseta.

XV. Actividad 15

Decantar, secar y pesar la mena y ganga mineral.

XVI. Actividad 16

Realizar la prueba en cinco ocasiones más cambiando los parámetros propios del tambor.

XVII. Actividad 17

Comparar resultados obtenidos y concluir analíticamente los mismos.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Velocidad de Asentamiento y Cálculo de un Tanque Espesador.

N° de práctica: 09

Tema: Separación Sólido-Líquido

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Horno de secado	Intoxicación
2	Charolas	Quemaduras

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Comprender el proceso de separación del sólido en una pulpa mineral, analizando las propiedades físicas de las partículas en el agua.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Calcular la velocidad de asentamiento de un mineral.
 - b) Dimensionar un equipo de asentamiento a nivel industrial.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

La sedimentación es un proceso en el cual las partículas suspendidas en agua son removidas por la acción de la gravedad. El asentamiento presente en las pulpas minerales es característico de una “partícula discreta”, es decir, es aquella partícula que durante su descenso no altera su forma, tamaño o peso.

Mecánicamente la partícula caerá libremente a través del fluido en reposo, donde tendrá una aceleración hasta que la resistencia a la fricción del fluido equilibra a la fuerza impulsora que actúa sobre la partícula. Las fuerzas que actúa sobre una partícula se ilustran en la Fig. 9.1:

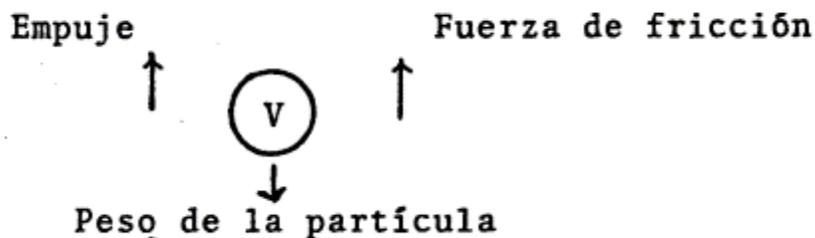


Fig. 9.1 Fuerzas actuantes en una partícula

A este tipo de sedimentación se le conoce como simple. Para realizar la separación del sólido – líquido en estos casos será necesario un tanque de espesamiento de flujo continuo que tenga las siguientes características:

- Zona de entrada: el mineral y el agua se dispersan.
- Zona de sedimentación: Las partículas en suspensión se sedimentan dentro del agua.
- Zona de fondo; Donde existe la acumulación de sólidos.
- Zona de salida: Los sólidos con pequeñas cantidades de agua son removidos del tanque.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Muestra mineral -100#
- + Báscula
- + Charolas de peltre
- + Cronómetro
- + Probeta
- + Pizeta
- + Flexómetro
- + Pipeta
- + Bolsa de plástico
- + Ligas elásticas
- + Flexómetro
- + Cucharón
- + Cubeta
- + Guantes
- + Horno
- + Careta



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Medir la longitud en el interior desde el fondo de la probeta hasta la graduación de 1000 ml.

II. Actividad 2

Preparar un litro de pulpa de mineral en la probeta graduada. El alumno elegirá la relación agua – sólido o porcentaje de sólidos.

III. Actividad 3

Con ayuda de una bolsa de plástico y liga elástica, tapar la probeta.

IV. Actividad 4

Agitar la probeta, hasta que todas las partículas se encuentren suspendidas en el agua. Al suspender la agitación, colocarla en un lugar totalmente plano.

V. Actividad 5

Tomar el tiempo en el cual las partículas se asientan completamente.

VI. Actividad 6

Realizar una división de intervalos en base al tiempo total de asentamiento. La finalidad será tomar mínimo 5 lecturas observando



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

el asentamiento, anotando los centímetros cúbicos en los cuales se está asentando.

VII. Actividad 7

Agitar de nuevo la probeta.

VIII. Actividad 8

Anotar los centímetros cúbicos de asentamiento según el intervalo de tiempo elegido. Realizarlo hasta la totalidad del tiempo de asentamiento

IX. Actividad 9

Retirar la liga y la bolsa.

X. Actividad 10

Retirar 150 cm³ de agua clarificada con ayuda de la pipeta para que queden 850 cm³ de pulpa.

XI. Actividad 11

Tapar la probeta con una bolsa y la liga elástica.

XII. Actividad 12

Agitar la probeta, anotar el asentamiento como se realizó anteriormente, con los mismos intervalos de tiempo.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XIII. Actividad 13

Retirar la liga y bolsa.

XIV. Actividad 14

Retirar otros 150 cm³ de agua para que queden 700 cm³ de pulpa.

XV. Actividad 15

Tapar la probeta y realizar el mismo proceso de agitación y medición de asentamiento como se realizó anteriormente, con los mismos intervalos de tiempo.

XVI. Actividad 16

Retirar la liga y bolsa. Vaciar la pulpa a una charola de peltre

XVII. Actividad 17

Calcular velocidad de asentamiento empleando la ecuación de Hamilton y área de un tanque espesador.

- a. Para el dimensionamiento del área de un tanque espesador se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Área [ft}^2\text{]} = \frac{1.33 (F - D)}{\text{Velocidad de asentamiento}}$$

Dónde:

F = Dilución inicial



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

D = Dilución final

- b. Para el cálculo de la velocidad de asentamiento se utilizará la siguiente ecuación.

$$\text{Velocidad de As.} = \frac{\text{Longitud de As.}}{\text{Tiempo de As}} * \text{Factor de conversión}$$

- i. La longitud de asentamiento será calculada auxiliados de las lecturas de asentamientos observadas en el experimento. El estudiante deberá realizar tres tablas como la que se muestra a continuación.

Tiempo (minutos)	Lectura de asentamientos (cm ³)	Diferencias (cm ³)
0	1000	0
2	960	40
4	840	80
6	720	120
8	590	130
Total		370

370 en 1000 cm³

Este ejemplo corresponde a lecturas de asentamientos cuando la pulpa era de 1000 ml. Se deberán realizar tres tablas para cada volumen de asentamiento.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

Longitud de As.

$$= \Sigma \text{diferencias} * \text{long. de probeta (mm)}$$

Se deberá realizar la siguiente operación para tener la longitud de la probeta en mm.

$$\frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{long probeta (cm)}} = \frac{1 \text{ cm}^3}{X}$$

$$X = \frac{\text{long probeta (cm)} * 1 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3} * \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}$$

Nota: la longitud de la probeta en cm fue la longitud que se midió en el interior de la probeta desde el fondo de la probeta hasta la graduación de 1000 ml.

- ii. El tiempo de asentamiento es el tiempo que le toma al mineral asentarse completamente.
 - iii. El factor de conversión es igual a 0.19685 ft/h.
 - iv. Se debe considerar que se obtendrán tres velocidades diferentes, por lo que habrá tres áreas que calcular.
- c. La dilución inicial (F) se calcula de la siguiente manera:

$$F = \frac{W \text{ agua}}{W \text{ mineral}}$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

- d. La dilución final (D) es calculada de la siguiente manera:

$$D = \frac{\text{Vol. de asentamiento} - \text{Vol de mineral}}{W \text{ mineral}}$$

- e. Se obtendrán tres áreas, para el cálculo del tanque espesador, se tomará el valor más bajo como medida de seguridad o el promedio.
- f. Realizar una comparación suponiendo que se procesaran 100 toneladas de mineral, con esto se obtendrá un área considerablemente mayor, que se podrá acercar al tamaño real de un tanque.
- g. Por último, buscar un tanque espesador que se ajuste al área calculada. Además, habrá que calcular el diámetro y volumen del tanque.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

Del Castillo Zatarain Minerva, "Teoría de sedimentación", 1988, Universidad de Sonora, Escuela de Ciencias Químicas.

<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/espesamiento-y-espesadores/>

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.

Maldonado Yactayo Víctor, "Sedimentación capítulo 7".



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Prácticas complementarias.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Muestreo de Minerales.

N° de práctica: C- 1

Tema: Trituración y molienda de minerales

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Aprender a obtener una muestra representativa a partir de una muestra con diferentes tamaños de partícula, utilizando diferentes métodos de muestreo.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Comprender el muestreo del cono cuarteo.
 - b) Comprender el uso del partidador jones como método de muestreo.
 - c) Obtener una muestra que represente a toda la muestra inicial que se le proporcionará.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

El muestreo de minerales es uno de los procesos más importantes en un operación minero – metalúrgica. El muestreo estará presente a lo largo de todo el proceso de extracción y refinación de un mineral o elemento de interés económico. El muestreo debe caracterizarse por tener un orden y principalmente debe respetar la composición de la muestra original.

Para fines prácticos, el muestreo nos servirá para preparar una muestra representativa, es decir, una muestra que tenga las características originales del lote. La preparación de la muestra es importante para el ensayo químico, debido a que existen diferentes tipos de ensayos químicos, la muestra deberá prepararse de diferente manera, según los requerimientos del ensaye químico.

Existen dos principales tipos de muestreo: el probabilístico que es cuando todos los constituyentes del lote tienen una probabilidad no nula de ser elegidos a lo largo de la formación de la muestra, el no probabilístico es cuando existe una probabilidad cero de ser elegidos.

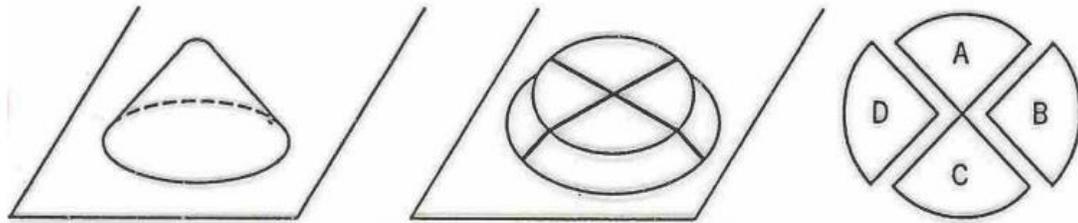
Uno de los procedimientos más utilizados para el muestreo es el conocido como el cono cuarteo (ver fig. C-1.1), que consiste en reducir manual y sistemáticamente una muestra de gran volumen a la mitad en cada cuarteo. Realizando un proceso de homogeneización, posteriormente la formación de un cono, aplazándolo y cuarteándolo, quedando de esta manera cuatro partes iguales. Se tomarán dos extremos opuestos como muestra y dos extremos opuestos como rechazo, de esta manera se realizará con la excepción de tomar los dos extremos opuestos que fueron muestra ahora serán rechazos y los extremos elegidos como rechazos serán ahora muestra. Se realizará consecutivamente hasta obtener el peso de muestra requerida. La siguiente imagen ilustra de mejor manera el método del cono cuarteo.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia



Mezclar y formar un cono con la muestra de suelo

Alisar el cono y separarlo en 4 partes iguales

Seleccionar dos montones: A+C o D+B

Fig. C-1.1 Diagrama de muestreo cono cuarteo.

El partidor Jones (véase figura C-1.2) es un dispositivo que sirve para reducir el volumen de una muestra equitativamente. Consta de un recipiente rectangular con una especie de canalones que encauzan el mineral de manera equilibrada en dos direcciones, donde el material es captado por dos recipientes que se encuentran en el fondo del partidor. El material por muestrear deberá tener la granulometría requerida por los canalones, de otra manera el material no deslizará por los mismos. Este dispositivo es muy utilizado en la preparación de muestras en minería, debido a que es un dispositivo fácil de utilizar y además es muy práctico.

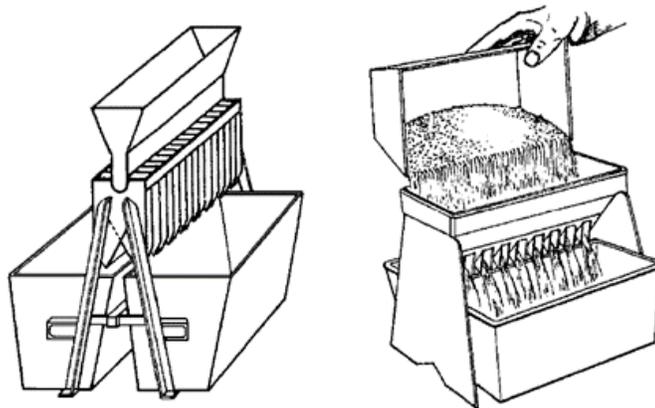


Fig. C-1.2 Diagrama partidor Jones.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Muestra mineral, más de 20kg (con diferentes granulometrías, a partir de +2 pulgadas aprox.).
- + Trituradora de 2x4.
- + Trituradora de 4x6
- + Pulverizador.
- + Partidor Jones.
- + Bascula.
- + Contrapesos.
- + Cubeta.
- + Juego de Escuadras.
- + Tamiz 100#.
- + Mortero.
- + Metate.
- + Bolsas de plástico.
- + Cucharón.
- + Guantes.
- + Cubre bocas.
- + Lentes.
- + Pala.
- + Escoba.
- + Palo de madera.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar el mineral con todo y la cubeta.

II. Actividad 2

Vaciar el mineral en la plancha metálica.

III. Actividad 3

Pesar la cubeta vacía y restar el peso de esta, para obtener el peso del mineral.

IV. Actividad 4

Homogeneizar la muestra con ayuda de la pala. Se deberá mover la muestra desde un extremo de la plancha metálica hasta el otro, paleando el material poco a poco hasta llevarlo al otro lado. Esto se hará mínimo tres veces, hasta tener homogénea la muestra. Al realizar la última paleada concentrar la muestra en el centro de la plancha metálica, tratando de formar una especie de cono.

V. Actividad 5

Medir el diámetro y la altura del cono formado anteriormente, con el objetivo de calcular el ángulo de reposo de la muestra.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

VI. Actividad 6

Con ayuda del palo de madera, alisar el cono hasta formar un cilindro, con aproximadamente 10 cm de altura.

VII. Actividad 7

Dividir el cilindro en dos partes, primero dividirlo verticalmente a partir del centro, posteriormente dividirlo horizontalmente igualmente a partir de la mitad. Así obtendremos cuatro partes iguales (ver Fig C-1.3).

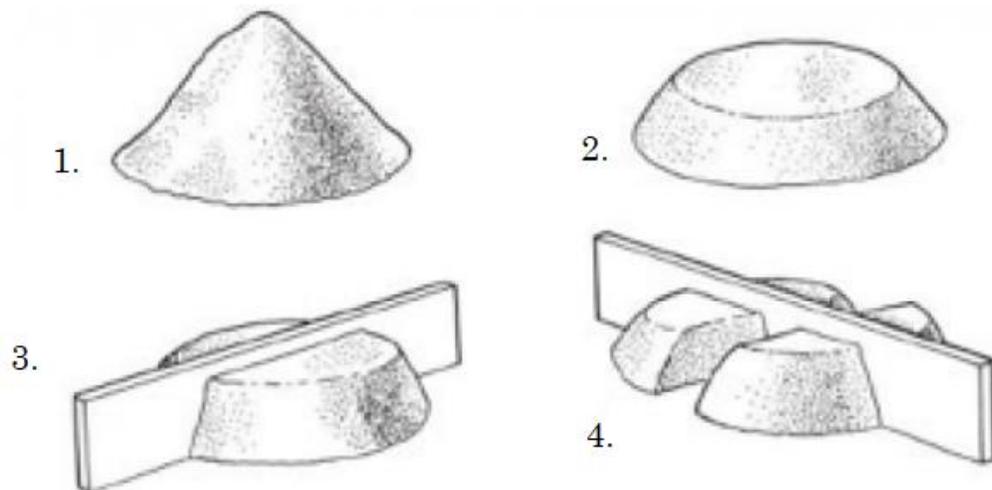


Fig. C-1.3 Diagrama muestreo cono cuarteo

VIII. Actividad 8

Elegir dos partes extremas que representarán la muestra mineral, las otras dos partes extremas serán el rechazo de muestra.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

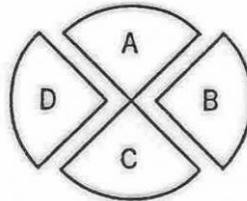


Fig. C-1.3 Diagrama partición de muestra.

Tomando la Fig. C-1.3 de ejemplo: Elijo los extremos D Y B como mi muestra y A y C como rechazo (esto se debe tomar muy en cuenta debido a que si se realiza otro cuarteo ya no se tomará D y B como muestra, ahora será A y C, y así seguirá esta secuencia si se realizan más cuarteos en el futuro).

IX. Actividad 9

El rechazo se almacenará en la cubeta y la muestra se homogeneizará nuevamente.

X. Actividad 10

Realizar otro cuarteo como se hizo anteriormente.

XI. Actividad 11

Hasta este punto la muestra se habrá reducido en un 75% aproximadamente, será necesario disminuirla aún más para obtener una muestra representativa a -100# de aproximadamente 1 Kg.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

XII. Actividad 12

Triturar la muestra con la trituradora de 2x4 (de ser necesario triturarla primero con la de 4 x 6).

XIII. Actividad 13

Una vez triturada la muestra, se deberá partir nuevamente pero ahora con el partidor Jones.

XIV. Actividad 14

El partidor Jones divide la muestra en dos partes iguales, sin embargo, solo lo hará si se utiliza de la manera correcta.

La muestra tiene que entrar exactamente en medio del partidor, para que se distribuya de manera equitativa (como se muestra en la imagen). Se podrá ayudar al estudiante con el cucharón para vaciar la muestra.

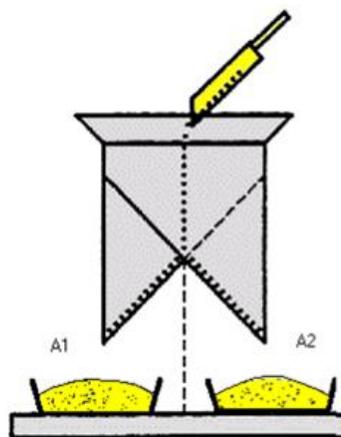


Fig. C-1.4 División de muestra en Partidos Jones.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XV. Actividad 15

El material caerá en dos recipientes, uno de estos será nuestra muestra y el otro el rechazo.

Por ejemplo; Apoyándonos en la imagen C-1.4, podríamos elegir el recipiente A1 como mi muestra y el A2 como rechazo. Si se realiza otra separación se tendrá que tomar el recipiente A2 como la muestra y el A1 como rechazo y así consecuentemente.

XVI. Actividad 16

Realizar otra partición con el partidor Jones.

XVII. Actividad 17

Hasta este punto tendremos la muestra reducida a 93.75% aproximadamente. Necesitamos que la muestra tenga un tamaño homogéneo de partícula a -100#, por lo que se debe utilizar el pulverizador para lograrlo o el metate.

XVIII. Actividad 18

Pulverizar el mineral (con el pulverizador o el metate).

XIX. Actividad 19

Tamizar el mineral con el tamiz de 100#.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XX. Actividad 20

El mineral que no pase el tamiz a 100 # deberá ser molido con el mortero y el metate, hasta lograr que toda la muestra (aproximadamente 1 Kg.) pase la malla.

XXI. Actividad 21

Colocar la bolsa de plástico en una superficie firme y vaciar el mineral encima de la misma. Homogeneizar el mineral; tomar un extremo de la bolsa y jalarlo hasta el centro, posteriormente tomar el extremo opuesto y realizar el mismo movimiento. Hacer este proceso con los otros dos extremos hasta homogeneizar la muestra.

XXII. Actividad 22

Se muestreará nuevamente con el método del cono cuarteo. Se cuarteará la muestra en dos ocasiones. En el primer cuarteo se tomará el nuevo ángulo de reposo del mineral, debido a la reducción de tamaño en su partícula éste será diferente.

XXIII. Actividad 23

Se juntará la muestra de aproximadamente 100 gramos, se pesará y se almacenará en una bolsa.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

García MJ, "Prácticas de laboratorio", Fundamentos de materiales, UAL, España.

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura preparación mecánica de minerales". UNAM, FI, 1996.

*"Procesamiento de Minerales, Técnicas de muestreo.",
<https://procesaminerales.blogspot.com/2012/05/tecnicas-de-muestreo-de-minerales.html>*



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Concentración gravimétrica en JIG

N° de práctica: C- 2

Tema: Concentración Gravimétrica

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Separar minerales con diferentes densidades a partir de un equipo que funciona con el principio de impulso.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Ajustar parámetros del equipo de concentración gravimétrica JIG.
 - b) Comparar las diferentes pruebas realizadas, definiendo cuales son las mejores condiciones para concentrar gravimétricamente.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

La concentración gravimétrica basa su separación en base al peso específico de los diferentes minerales que conforman un lote mineral que se quiere en donde se quiere concentrar un mineral de acuerdo con su específico. Existen diferentes dispositivos o equipos que realizan dicha separación, sin embargo, cada uno cuenta con características diferentes en su mecanismo. Existen cuatro principales categorías de separación de acuerdo con su principio de funcionamiento: separación por impulso, separación por sacudimiento, separación por película y, por último, separación por fuerza centrífuga.

En esta práctica se tratará principalmente de observar y experimentar con el primer caso; separación por impulso, ya que trabajaremos con el equipo de concentración denominado como "JIG". El JIG es un tipo específico de concentración en corrientes verticales que maneja el principio de funcionamiento de impulso, este consiste en que la densidad del medio debe ser inferior a las densidades de los minerales que se quieran separar, generalmente el medio será agua.

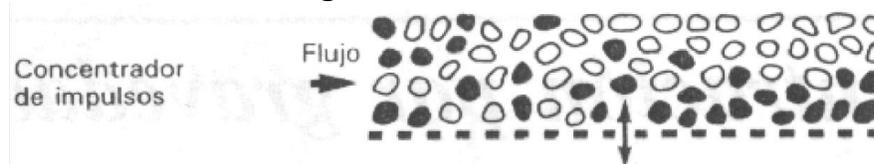


Fig. C-2.1 Partículas suspendidas por corrientes verticales.

El movimiento que genera la separación en un JIG es un movimiento de impulso y son generados de tres diferentes maneras; con un pistón, con un diafragma y por pulsadores. Las pulsaciones generarán que el material denso y ligero se separe el uno al otro dependiendo de su densidad. Además de las pulsaciones, el JIG cuenta con una criba y una cama de balines que mantiene el lecho de material en proceso. A nivel laboratorio e industrial en la criba se pondrán a utilizar bolas de acero que harán que el material caiga de manera interrumpida y tenga una mejor selectividad a la hora de concentrar, aparte de obtener material denominado como "medios" que puede ser reprocesado posteriormente en un proceso industrial.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Muestra mineral 36 g
- + JIG
- + Charolas de peltre
- + Vaso de cristal.
- + Cubeta.
- + Balines.
- + Piseta.
- + Tara.
- + Pinzas.
- + Flexómetro.
- + Cronómetro.
- + Llave ajustable (Perico).
- + Bolsas de plástico.
- + Cucharón.
- + Guantes.
- + Careta.
- + Horno.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar 12 g de mineral.

II. Actividad 2

En la parte inferior del JIG existe un orificio donde irá enroscado el vaso de cristal. Debido, a que pueden existir fugas al enroscar el vaso, se recomienda colocar una cubeta debajo del mismo, para captar el agua que pueda caer de la posible fuga.

III. Actividad 3

Enroscar el vaso debajo del JIG.

IV. Actividad 4

Colocar una charola de peltre en la salida de material ligero del JIG.

V. Actividad 5

Medir la longitud vertical de la cama de balines.

Nota: La medición servirá para las tres diferentes pruebas; la primera sin balines, la segunda con la cama de balines a la mitad de su capacidad y por último con la cama de balines completamente llena.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

VI. Actividad 6

Abrir la perilla del agua y esperar hasta que el agua empiece a derramarse por la salida de material ligero. Posteriormente, ajustar el flujo de agua al deseado.

VII. Actividad 7

Encender el motor que impulsa el diafragma.

VIII. Actividad 8

Alimentar los 12 g de mineral.

Nota: El material tendrá que ser alimentando poco a poco, debido a que la abertura del JIG no es grande, el material tiende a apelmazarse y esto hace que no se alimente de manera correcta. La alimentación deberá ser constante durante un tiempo, alimentando una cantidad moderada de mineral. Si el mineral llega a apelmazarse, ayudarse con la piseta para dejar que el material fluya de mejor manera.

IX. Actividad 9

Permitir que el JIG realice su trabajo, es decir, dar un tiempo de proceso para que el material denso caiga por gravedad y el ligero sea captado en la charola. Con el cronómetro el estudiante tomará el tiempo de alimentación y de proceso.

X. Actividad 10

Cerrar la perilla de agua y apagar el motor.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XI. Actividad 11

Con ayuda de las pinzas depurar de exceso de agua del JIG.

XII. Actividad 12

Retirar el vaso de cristal que captó el material denso (desenroscarlo).

XIII. Actividad 13

Vaciar el material del vaso de cristal en otra charola de peltre.

XIV. Actividad 14

Decantar, secar y pesar ambos materiales.

XV. Actividad 15

La siguiente prueba se realizará con balines, se deberán colocar tantos balines hasta completar la mitad de la cama.

XVI. Actividad 16

Pesar 12 g de material.

XVII. Actividad 17

Colocar nuevamente el vaso de cristal y la charola en sus respectivas posiciones.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XVIII. Actividad 18

Abrir la perilla de agua hasta que se derrame el agua en la charola y encender posteriormente el motor.

XIX. Actividad 19

Alimentar de la misma manera que se realizó anteriormente.

XX. Actividad 20

Terminando el proceso, apagar el motor y cerrar la perilla de agua.

XXI. Actividad 21

Depurar el exceso de agua abriendo el par de llaves del JIG.

XXII. Actividad 22

Retirar el vaso de cristal.

XXIII. Actividad 23

Con ayuda del perico retirar los tornillos que mantienen fijo el JIG. Posteriormente, retirar el JIG y vaciar su contenido en una charola de peltre.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XXIV. Actividad 24

Limpia los balines y colocalos en otra charola. Solamente se quedará en la charola el material que quedó atrapado en los balines durante el proceso.

XXV. Actividad 25

Observar que en esta prueba se obtuvieron tres diferentes productos (ligeros, medios y densos), por los que estos se deberán decantar, secar y pesar.

XXVI. Actividad 26

Por último, se realizará la prueba que tendrá la cama de balines llena. El procedimiento se debe realizar igual que en la segunda prueba.

XXVII. Actividad 27

Realizar una observación en el microscopio de los diferentes materiales obtenidos en las tres pruebas. Además, se debe analizar críticamente el peso de cada producto (denso, medio y ligero) y se debe concluir por qué se llegó a esos resultados.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

Concha Rodriguez Harold Iván, "Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos en un JIG de laboratorio", 2007, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huevo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Concentración Magnética por Tubo Davis.

N° de práctica: C- 3

Tema: Concentración Magnética

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos

2. Objetivos de aprendizaje

- I. **Objetivos generales:** Entender el proceso de concentración de material altamente magnético a nivel laboratorio.
- II. **Objetivos específicos:**
 - a) Analizar los mejores parámetros para separar dos minerales en función de su susceptibilidad magnética.
 - b) Calcular la porción magnética de una muestra con óxidos de hierro.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción

El tubo Davis es un separador magnético que funciona solamente a nivel laboratorio, es empleado para la determinación de la fracción de material altamente magnético, es decir, puede utilizarse para concentrar mineral ferromagnético (magnetita generalmente). Es un equipo que trabaja normalmente en húmedo debido a su mecanismo.

El tubo Davis funciona con ayuda de dos imanes en forma de cilindro que captaran el material magnético al descender por las paredes del tubo. Además, el tubo cuenta con un mecanismo de agitación, y el material que queda atrapado debajo del material magnético salga y caiga por gravedad a la zona de descarga. Otro parámetro importante del tubo Davis es la inclinación, esta puede ser ajustada dependiendo de la necesidad del experimento, la inclinación dará la caída del material que no tiene susceptibilidad magnética. Para un mejor funcionamiento, convendrá tener un flujo de agua constante, es decir, entrará una cantidad de agua por el interior del tubo y dicha cantidad de agua saldrá por la abertura de descarga, así tendremos una estabilidad en el flujo de agua, el agua de entrada será la misma de la de salida. (Ver imagen de ejemplo de un tubo Davis).



Fig. C-3.1 Tubo Davis.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- ✚ Muestra mineral 50 g (magnetita - hematita).
- ✚ Tubo Davis.
- ✚ Manguera de alimentación de agua.
- ✚ Tara.
- ✚ Báscula digital.
- ✚ Charolas de peltre.
- ✚ Cronómetro.
- ✚ Piseta.
- ✚ Manguera con Pinzas de Mohr.
- ✚ Bolsas de plástico.
- ✚ Tina.
- ✚ Cubeta.
- ✚ Cucharón.
- ✚ Guantes.
- ✚ Horno.
- ✚ Careta.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Pesar 10 gramos de muestra mineral.

II. Actividad 2

Ajustar inclinación del tubo Davis que se desea.

III. Actividad 3

Colocar la manguera con las pinzas de Mohr en el extremo inferior del tubo (salida del mineral).

IV. Actividad 4

Conectar la manguera de alimentación de agua en la parte inferior del tubo Davis.

V. Actividad 5

Colocar la tina debajo del tubo de manera que se pueda captar el agua conducida por la manguera con las pinzas de Mohr.

VI. Actividad 6

Apretar la manguera de salida de agua con las pinzas de Mohr de manera que no deje salir agua.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

VII. Actividad 7

Abrir la llave de agua. El tubo comenzará a llenarse, cuando se haya llenado, abrir las pinzas de Mohr para dejar escapar agua. Estabilizar el flujo, es decir, el agua que entra será la misma que el agua que salga. Si no se estabiliza el flujo de agua se derramará el agua por arriba o se tendrá un nivel bajo de agua en el tubo.

VIII. Actividad 8

Definir la agitación y la potencia del magneto.

IX. Actividad 9

Encender el magneto.

X. Actividad 10

Alimentar todo el mineral e inmediatamente encender el motor de agitación

XI. Actividad 11

Comenzará el proceso y se dejará agitando el tubo durante un periodo de tiempo que el alumno definirá.

XII. Actividad 12

Apagar el motor de agitación.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

XIII. Actividad 13

Cerrar la llave del agua y abrir la pinza de Mohr con el objetivo de que el tubo se desagüe.

Nota: El magneto debe seguir encendido para evitar que el material magnético se pierda en la descarga.

XIV. Actividad 14

Colocar una charola de peltre en la manguera de desagüe de agua y apagar el magneto.

XV. Actividad 15

Limpiar el tubo con la piseta

XVI. Actividad 16

Decantar, secar y pesar el concentrado.

XVII. Actividad 17

Realizar cuatro pruebas más, modificando un parámetro a la vez.

XVIII. Actividad 18

Comparar y analizar críticamente los resultados de cada prueba. Calcular el porcentaje de material magnético en la muestra.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Flotación en columna.

N° de práctica: C- 4

Tema: Concentración por flotación

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos

2. Objetivos de aprendizaje

I. Objetivos generales: Conocer el funcionamiento de la flotación en columna

II. Objetivos específicos:

- a) Distinguir las ventajas y desventajas de este método de concentración.
- b) Reconocer las variables que se manipularán en las pruebas de flotación en columna.
- c) Identificar los aspectos teóricos de la columna de flotación.
- d) Obtener un concentrado de sulfuros y comparará este método con la celda de flotación.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

3. Introducción.

La columna de flotación fue inventada por Pierre Boutin en los años sesenta para la concentración de cobre, molibdeno, plomo y zinc principalmente. Sus principales características son las siguientes:

a) Zona de colección.

La partícula es colectada por una burbuja de aire por uno o dos métodos:

- a) La colisión burbuja-partícula se muestra por ataque debido a la hidrofobicidad natural de la superficie mineral.
- b) Arrastre de la partícula dentro del límite de la capa y estela (ondas del agua) de la burbuja.

b) Eficiencia de la colección (E_k).

Es un complejo funcionamiento de muchos parámetros que incluyen: diámetro de partícula, diámetro de burbuja e hidrofobicidad de la partícula. La recuperación en la columna es determinada por los siguientes factores:

- Relación constante.
- Tiempo de residencia medio de las partículas en la zona de colección.
- Condiciones de mezclado en la zona de colección.
- Abertura de flujo.
- Reactor mezclador.

c) Mezclado

El tiempo de residencia de todos los elementos del fluido y de las partículas minerales es el mismo

$$R = \text{Exp}(-kt)$$



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

Esto es una distribución del tiempo de retención (comenzando con el tiempo cero) donde la concentración es la misma a través del reactor.

$$R = \frac{kt}{1 + kt}$$

d) Cargado de la burbuja.

El tiempo de residencia de la burbuja en la zona de colección de la columna de flotación es de 5 a 10 veces más grande que en una celda convencional. Sin embargo, la posibilidad de que la burbuja regrese completamente cargada (y aumente la colección de partículas) es considerablemente mayor en la columna. El cargado de la burbuja es muy importante para las consideraciones de diseño y escalamiento.

e) Zona de limpia.

Se acarrearán del fondo de la zona de limpia las burbujas de la columna, en muchos casos, está cubierta completamente con partículas; esto se presenta de la misma manera sólo en la primera celda de una limpia convencional o bancos agotativos.

f) Parámetros.

- **Velocidad de alimentación superficial.**
 - Generalmente de 1.5 a 2 cm/s.
 - Puede presentarse amplia variación que es por debajo de 0.1 cm/s.
- **Tamaño de burbuja.**
 - El dispersor de aire varía de tamaño (-100 a +4mm).
 - No se puede predecir el tamaño óptimo de burbuja.
 - Puede ser limitado por reactivos en la pulpa sensitivos al espumante.
- **Ancho (espesor) de la espuma.**



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

- Las espumas profundas tienen más probabilidad de ascender (capa más resistente).
- Las espumas poco profundas (de poco espesor) sirven para mejorar las recuperaciones.
- Algunos minerales ascienden más rápidamente en espumas de poco espesor.
- El ancho puede ser limitado por la química de la flotación o mineralogía.
- **Localización de la inyección de alimentación.**
 - Efecto debido a la relación tomada con el tiempo de retención
 - Si se localiza arriba la inyección, normalmente los resultados de recuperación son mejores.
 - Si se localiza abajo la inyección, normalmente los resultados de ley son mejores.
- **Tiempo de retención.**
 - Normalmente pequeño como en la celda convencional.
 - Previamente puede ser mejor el criterio de diseño, ahora es menor de uno para diseño de columnas.
- **Relación de la adición del agua de lavado.**
 - Doble función: retención de minerales de ganga de la espuma y estabilidad de la espuma.
 - Usualmente complejo en naturaleza.
 - Algunas veces relacionado a la válvula de control.
- **Carga de masa (volumen cargado).**
 - Puede tener un efecto predominante en la recuperación del mineral.
 - Crítico para obtener una separación óptima.
 - Más crítico en columnas que en celdas convencionales debido al gran tiempo de residencia de la burbuja.
- **Capacidad de acarreo.**
 - El método dispersor de la burbuja es esencial y puede ser limitante.
 - Se pueden manejar burbujas de tamaño homogéneo para recuperaciones óptimas.
- **Altura de la columna.**



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de Minas y Metalurgia

- En función de las zonas de colección y limpia se mejora la construcción de la columna (más alta o más pequeña).
- Las columnas varían de 20 a 50 ft de altura con circunferencia normal de 40 ft.
- **Aire sostenido.**
 - Volumen mantenido de aire en la columna en cualquier tiempo.
 - Puede ser relacionado a la recuperación de la columna.
 - Afectado por el porcentaje de sólidos en la columna, densidad de mineral, flujo de aire, tensión superficial de la solución, tamaño de burbuja y válvula de control.
- **Relación del aire.**
 - Puede ser esencial para el tamaño de burbuja y la cantidad de aire soportado.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

4. Material y Equipo

- + Columna de flotación.
- + Flujómetro.
- + Probeta graduada.
- + Pizeta.
- + Reactivos de flotación.
- + Charolas de peltre.
- + Cronómetro.
- + Papel indicador de pH.
- + 2 kg de mineral a -100#.
- + Agitador Denver.
- + 2 tinas.
- + Cubeta.
- + Cucharón.
- + Guantes.
- + Horno.
- + Careta.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

5. Desarrollo

I. Actividad 1

Preparar los utensilios necesarios, especialmente el agitador Denver y la columna.

II. Actividad 2

Pesar la cantidad suficiente de mineral para ajustar la densidad de pulpa de 25%.

III. Actividad 3

Poner el volumen necesario de agua y mineral en la cubeta para formar la pulpa y adicionar:

- ✚ Regulador de pH
- ✚ Depresor
- ✚ Colector
- ✚ Espumante

Comenzar la agitación y cronometrar el tiempo de acondicionamiento necesario para que cada reactivo se mezcle con la pulpa.

IV. Actividad 4

Suspender el acondicionamiento, posteriormente añadir la pulpa acondicionada a la columna de flotación.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

V. Actividad 5

Colectar el mineral durante el tiempo de proceso.

VI. Actividad 6

Filtrar, secar y pesar el concentrado y colas minerales.

VII. Actividad 7

Si se realiza un proceso de limpias repetir la flotación como se enuncia en las actividades anteriores.

VIII. Actividad 8

Lavar el equipo y material.

IX. Actividad 9

Anotar observaciones y efectuar el balance metalúrgico.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

6. Bibliografía

G. Kelly, J Spottiswood, "Introducción al procesamiento de minerales", 1990, Limusa, México D.F.

Huezo Casillas, José de Jesús. "Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura concentración de minerales". UNAM, FI, 1996.



Manual de Prácticas

Secretaría/División: Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Área/Departamento: Ingeniería de
Minas y Metalurgia

Conclusiones y recomendaciones

- ✚ Para un mejor aprovechamiento del manual, observar los videos de las prácticas en donde se muestran de mejor manera los procedimientos a realizar a lo largo del experimento, esto ayudará a que el alumno observe la manera de utilizar los equipos y el material evitando riesgos que se puedan presentar en el laboratorio, así como el mejor entendimiento del experimento.
- ✚ Es muy importante que se tenga disponibilidad de los equipos y material requeridos en las prácticas, atendiendo las necesidades de mantenimientos y revisando los inventarios de material que se tienen en el laboratorio.
- ✚ Debido a las mejoras que se realizan a los planes de estudios es importante dar seguimiento a la actualización del manual de laboratorio según las necesidades de estos, para que de esta manera se refuerce de mejor manera la teoría vista en las aulas.
- ✚ Buscar nuevas alternativas de equipos a escala de laboratorio que ofrezcan al estudiante nuevos horizontes sobre lo que se está haciendo actualmente en la industria minera.
- ✚ El material que se generó desarrollando las prácticas en video, pueden ser utilizados en algún tipo de contingencia, en donde no sea posible el acceso e interacción en el laboratorio.