



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**EVALUACIÓN DE ESPUMANTES EN LA FLOTACIÓN DE  
MINERALES SULFURADOS PARA LA RECUPERACIÓN DE  
COBRE EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE SOUTHERN  
PERÚ COPPER CORPORATION - UNIDAD CUAJONE**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CESAR CAÑI CHOQUEGONZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*A Dios, por guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no rendirme en los obstáculos que se presentan en el camino, enseñándome a encarar las adversidades sin perder la dignidad ni rendirse.*

*A mis padres queridos Timoteo Cañi y Esperanza Choquegonza por haberme formado con buenos principios, sentimientos, hábitos y valores, que me ayudaron a salir adelante en los momentos más difícil de mi vida.*

*A mis ocho Hermanos, por su apoyo, consejos, comprensión y compañía, Quienes han sido una motivación y felicidad.*

***Cesar Cañi Choquegonza***



## AGRADECIMIENTOS

*A nuestro divino señor Dios por su infinita bondad, y por haberme guiado en cada paso que doy, por darme salud, fortaleza, responsabilidad y sabiduría.*

*Expreso mi agradecimiento a la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO por todas enseñanzas e información brindada en esta investigación.*

*A mi Asesor Dr. HÉCTOR HERRERA CÓRDOVA, quien dedico su valioso tiempo y su conocimiento en este proceso de investigación.*

*Agradezco a los docentes de la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA, quienes me enseñaron sus valiosos conocimientos que me brindaron día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad, gracias infinitas.*

***Cesar Cañi Choquegonza***



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Problema general.....	15
1.3. Problemas específicos .....	15
1.4. Antecedentes .....	15
1.5. Justificación de la investigación.....	16
1.6. Hipótesis de la investigación.....	17
1.6.1. Hipótesis principal .....	17
1.6.2. Hipótesis específicas .....	17
1.7. Objetivos del estudio.....	17
1.7.1. Objetivo principal .....	17
1.7.2. Objetivos específicos .....	17

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Flotación.....	19
2.1.1. Tipos de flotación .....	20
2.2. Fases e interfases en el proceso de flotación.....	21
2.2.1. Sólidos.....	22
2.2.2. Líquido.....	22



2.2.3. Gaseoso .....	22
2.3. Tamaño de partícula y liberación .....	23
2.4. Reactivos de flotación .....	24
2.4.1. Colectores .....	24
2.4.2. Espumantes .....	26
2.4.3. Modificadores o reguladores.....	28
2.4.4. Relación Colector – Espumante.....	29
2.5. Condiciones de las espumas de flotación.....	29
2.6. Variables del proceso de flotación de espumas.....	30
2.6.1. Variables que dependen de los componentes químicos.....	30
2.6.2. Variables que dependen de los componentes de equipamiento.....	31
2.6.3. Variables que dependen de los componentes de operación.....	31
2.7. Índices Metalúrgicos .....	32
2.8. Cinética de flotación .....	34
2.8.1.1. Velocidad de flotación.....	37

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Materiales de uso.....	41
3.1.1. Muestra .....	41
3.1.2. Recursos necesarios .....	42
3.2. Método experimental .....	43
3.3. Procedimiento experimental.....	50
3.3.1. Muestreo .....	50
3.3.2. Preparación mecánica de muestra.....	50
3.3.4. Tiempo de molienda .....	53
3.3.5. Flotación de arenas y lamas .....	55

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1. Tiempo de Molienda .....	58
3.2. Pruebas de flotación .....	60



<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>

**Área:** Metalúrgica Extractiva

**Tema:** Evaluación de espumantes en la flotación de minerales sulfurados para la recuperación de cobre en la planta concentradora de Southern Peru Copper Corporation - Unidad Cuajone

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 23 DE JUNIO DE 2021.**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema adhesión selectiva.....	19
<b>Figura 2:</b> Esquema de celda de flotación.....	19
<b>Figura 3:</b> Esquema proceso Flotación .....	22
<b>Figura 4:</b> Efecto de reducción de tamaño .....	23
<b>Figura 5:</b> Ejemplo de asociación de mineral. ....	23
<b>Figura 6:</b> Xantato Isopropílico de sodio .....	24
<b>Figura 7:</b> Adhesión del colector a la superficie del mineral.....	24
<b>Figura 8:</b> Tipos de Colectores.....	25
<b>Figura 9:</b> Efecto del tipo y dosificación de espumante sobre el tamaño de burbuja .....	27
<b>Figura 10:</b> Espumación de minerales .....	29
<b>Figura 11:</b> Esquema del proceso de flotación.....	33
<b>Figura 12:</b> Gráfica Recuperación vs tiempo de flotación .....	35
<b>Figura 13:</b> Concentración del mineral en función del tiempo y velocidad.....	37
<b>Figura 14:</b> Gráfica logaritmo natural de Concentración de mineral en el tiempo cero sobre Concentración en el tiempo versus tiempo .....	38
<b>Figura 15:</b> Recuperación en función del tiempo.....	39
<b>Figura 16:</b> Recuperación acumulada en función de los reactivos utilizados.....	40
<b>Figura 17:</b> Procedimiento de tamizado.....	45
<b>Figura 18:</b> Diagrama de bloques del proceso experimental .....	49
<b>Figura 19:</b> Distribución de molinos en planta concentradora.....	50
<b>Figura 20:</b> Tabla guía de %M +65 (Tiempo de Molienda) .....	55
<b>Figura 21:</b> Ilustración del procedimiento de flotación .....	57
<b>Figura 22:</b> Gráfica de interpolación.....	59
<b>Figura 23:</b> Celda de flotación arenas .....	62
<b>Figura 24:</b> Celda de flotación lamas .....	62
<b>Figura 25:</b> Diferencia % en peso Arenas – Muestras 1 al 8 .....	63
<b>Figura 26:</b> Diferencia % en peso Lamas – Muestras 1 al 8.....	63
<b>Figura 27:</b> % en peso Global (Arenas y Lamas).....	64
<b>Figura 28:</b> Recuperación Global Cobre.....	64
<b>Figura 29:</b> Recuperación Global Molibdeno .....	65
<b>Figura 30:</b> Recuperación Global CuSAc .....	65



<b>Figura 31:</b> Recuperación Global CuSCN .....	66
<b>Figura 32:</b> Recuperación Global Fe.....	66
<b>Figura 33:</b> Recuperación Global Insolubles .....	67
<b>Figura 34:</b> Cinética de flotación en arenas .....	68
<b>Figura 35:</b> Cinética de flotación en lamas .....	68





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de espumantes.....	27
<b>Tabla 2:</b> Tabla cinética de flotación.....	35
<b>Tabla 3:</b> Análisis químico del mineral.....	41
<b>Tabla 4:</b> Mineralogía de la muestra .....	42
<b>Tabla 5:</b> Presentación de datos de análisis granulométrico .....	46
<b>Tabla 6:</b> Distribución de carga de barras .....	53
<b>Tabla 7:</b> Dosificación de reactivos estándar en el molino de barras.....	56
<b>Tabla 8:</b> Dosificación en las celdas de flotación arenas y lamas.....	56
<b>Tabla 9:</b> Análisis granulométrica de Muestra 1 .....	58
<b>Tabla 10:</b> Análisis granulométrico de Muestra 2.....	59
<b>Tabla 11:</b> Interpolación de tiempos de molienda.....	59
<b>Tabla 12:</b> Distribución de pruebas de flotación.....	60
<b>Tabla 13:</b> Dosificación de reactivos en la etapa de molienda.....	61
<b>Tabla 14:</b> Dosificación de reactivos en la etapa de flotación .....	61
<b>Tabla 15:</b> Tiempo de flotación.....	61
<b>Tabla 16:</b> Flujo de aire para cada espumante.....	62
<b>Tabla 17:</b> Cabeza calculada Cu vs Cabeza analizada Cu .....	63
<b>Tabla 18:</b> Proyección económica A-68 vs Orefloat - 410 .....	69
<b>Tabla 19:</b> Beneficio de económica A-68 vs Orefloat - 410.....	70



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Cu	Cobre
Mo	Molibdeno
TM	Toneladas Métricas
TC	Toneladas Cortas (TC x 0.907185)
m <sup>3</sup> /h	metros cúbicos por hora
GPM	Galones por minuto
Psi, Pa	unidades de presión (lb <sub>f</sub> /in <sup>2</sup> y N/m <sup>2</sup> )
%R <sub>peso</sub>	% Recuperación en peso
F	Feed (alimentación)
C	Concentrado
T	Tail (Colas)
G.E.	Gravedad específica



## RESUMEN

El estudio de “Evaluación de espumantes en la flotación de minerales sulfurados para la Recuperación de Cobre en la Planta Concentradora de Southern Perú Copper Corporation – Unidad Cuajone” se ha realizado en el laboratorio metalúrgico de la empresa, la misma que se encuentra ubicada en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, en la zona sur oeste del Perú. El objetivo del trabajo es evaluar, comparar y determinar que espumante dará mejores resultados en la recuperación de Cobre en el proceso de flotación colectiva. Actualmente la planta Concentradora de la Unidad Cuajone tiene una capacidad de tratamiento de 87,000 TMD de pórfidos de cobre cuya mineralización son sulfuros primarios de calcopirita y bornita; en menores proporciones como sulfuros secundarios calcosina, digenita, covelita y asociaciones de estas, con una ley promedio de 0.5% Cu y 0.02% Mo. El porcentaje de recuperación del circuito de flotación de Cobre se encuentra en un valor promedio de 76%, quedando el resto en los relaves, lo que implica una pérdida económica para la empresa. El estudio se ha realizado entre los meses de abril a junio del 2019. La metodología que se ha utilizado es experimental, para lo cual se ha realizado pruebas de flotación de arenas y lamas, con diferentes tipos de espumantes como Orefloat F – 410 de la empresa “GP Chems”, ER – 410 de “RENASA” y F – 507 de “CYTEC”. Las variables para el presente estudio son la dosificación de espumante Orefloat F-410 86.1(μl) y el flujo de aire es de 20 a 60 (lt/min), lo que ha conducido a un resultado en la recuperación de cobre en la flotación Rougher de 79.38% observándose un incremento en la recuperación en 3.38 puntos porcentuales en comparación con el espumante estándar, concluyendo que si es viable realizar el cambio de reactivo Aerofroth 68 en planta y realizar su seguimiento.

**PALABRAS CLAVE:** Evaluación de espumantes, flotación de minerales sulfurados, recuperación de cobre.



## ABSTRACT

The study of "Evaluation of foaming agents in the flotation of sulphide minerals for Copper Recovery in the Concentrator Plant of Southern Peru Copper Corporation - Cuajone Unit" has been carried out in the metallurgical laboratory of the company, which is located in the Torata district, Mariscal Nieto province, Moquegua department, in the south west of Peru. The objective of the work is to evaluate, compare and determine which foaming agent will give better results in the recovery of Copper in the process of collective flotation. Currently, the Concentrator plant of the Cuajone Unit has a treatment capacity of 87,000 MTD of porphyry copper whose mineralization is primary sulfides of chalcopyrite and bornite; in smaller proportions such as secondary sulfides chalcocite, digenite, covellite and their associations, with an average grade of 0.5% Cu and 0.02% Mo. The recovery percentage of the copper flotation circuit is at an average value of 76%, leaving the rest in the tailings, which implies an economic loss for the company. The study was carried out between the months of April and June 2019. The methodology that has been used is experimental, for which sand and slat flotation tests have been carried out, with different types of sparkling wines such as Orefloat - 410 from the company "GP Chems", ER-410 from "RENASA" and F-507 from "CYTEC". The variables for the present study are the frother agent dosage Orefloat F-410 86.1 ( $\mu$ l) and the air flow 20 a 60 (lt / min), which has led to a result in the recovery of copper in the Rougher flotation of 79.38%, observing an increase in the recovery by 3.38 percentage points compared to the standard sparkling wine, concluding that it is feasible to change the Aerofroth 68 reagent at the plant and carry out its follow-up.

**KEY WORDS:** Foaming agent evaluation, sulphide mineral flotation, copper recovery.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de nuestra historia, la minería ha sido uno de los principales motores de la economía, y uno de los argumentos más poderosos de la riqueza del Perú.

La actividad minera consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre, lo cual, en muchos casos, implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma para recuperar solo pequeños volúmenes del producto deseado. Para que el mineral que se encuentra en la tierra tenga valor y se convierta en un producto comercial, se requiere de inversiones y trabajos de extracción y procesamiento.

La flotación es sin duda la técnica de procesamiento de minerales más importante y versátil, y tanto su uso como su aplicación se expanden continuamente para tratar mayores tonelajes y para cubrir nuevas áreas. En la práctica industrial moderna, la flotación se caracteriza por su inestabilidad. La principal causa de los parámetros de inestabilidad de la extracción de metales en plantas funcionales son las condiciones fisicoquímicas cambiantes y no optimizadas de la pulpa de flotación, producidas por la variación de la estructura del mineral, la concentración de agua y reactivos químicos (colectores, espumantes, activadores, depresores o modificadores de pH) en la fase líquida de la pulpa durante el proceso de flotación.

La presente investigación trata sobre la recuperación de cobre mediante el proceso de flotación de un mineral sulfurado que alimenta a la planta Concentradora de Cuajone de Southern Peru Copper Corporation ubicada en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, en la zona sur oeste del Perú.



El principal objetivo de esta tesis es optimizar el porcentaje de recuperación de cobre en el proceso de flotación Rougher modificando los reactivos químicos, dosificación y flujo de aire. Se realizó la comparación de los resultados de los reactivos estándar, específicamente espumantes, (los que se usan en planta) versus otros reactivos en prueba.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Actualmente se obtienen bajas recuperaciones de cobre en el proceso de flotación colectiva en la planta de la unidad concentradora de Southern Perú Copper Corporation – Unidad Cuajone por diversos factores como operacional, mineralogía, tecnología de equipos, reactivos utilizados, etc. Se ha comprobado que los efectos favorables o desfavorables debido a variables de tipo operacional: grado de molienda, aireación, densidad de pulpa, etc., casi nunca superan en importancia a los efectos positivos o negativos de una fórmula de flotación apropiada. En consecuencia, el presente estudio propone el cambio de los reactivos químicos utilizados en planta, con el objetivo de mejorar el porcentaje (%) de recuperación y alcanzar las metas mensuales propuestas. Se realizará una investigación más profunda para analizar la influencia del espumante estándar y comparar los resultados con otros espumantes en prueba.

Lo que se espera alcanzar en las pruebas de laboratorio con los reactivos nuevos es obtener un resultado positivo en la recuperación de Cobre y también en el grado de concentrado. En cuanto al aspecto económico, si se realiza la adquisición de un reactivo que tenga mejores resultados y el costo sea menor, tendremos un punto más a favor para evaluar la posibilidad de que se realicen pruebas en planta.



## 1.2. Problema general

¿Será posible la evaluación de espumantes en la flotación de minerales sulfurados para la recuperación de cobre en planta concentradora de southern Perú copper corporation - unidad Cuajone?

## 1.3. Problemas específicos

- ¿Cuál será los espumantes y su dosificación para alcanzar una mayor recuperación de cobre en la flotación?
- ¿Cuál será el flujo de aire más adecuado para alcanzar la mayor recuperación de cobre en la flotación?

## 1.4. Antecedentes

Sin reactivos no habría flotación y sin flotación, la industria minera, como la conocemos hoy, no existiría. Los reactivos en el procesamiento de minerales son, por tanto, un elemento inseparable del proceso de flotación. La química de la pulpa en una planta concentradora es un sistema complejo que involucra la interacción de todos los aditivos, incluidos colectores, depresores, activadores, reguladores de pH, espumantes y, sobre todo, componentes solubles del mineral y superficies minerales alteradas.

La Concentradora de Cuajone está localizada a 40 Km de Moquegua, en la zona sur oeste del Perú. Sus operaciones empezaron el 25 de noviembre de 1976 y fue diseñada para producir 45,000 TC (40,823 TM) por día de mineral. Durante estos 45 años de operación muchos cambios se hicieron para aumentar la capacidad de tratamiento, siendo su capacidad de procesamiento actual de 87,000 TM (96,000 TC) secas por día. El depósito es un pórfido de cobre teniendo en su mineralización como sulfuros primarios calcopirita y bornita (está en menor cantidad), en menores proporciones como sulfuros



secundarios calcosina, digenita, covelita, y asociaciones de estos; la ley acumulada aproximadamente es de 0.602 % Cu.

El mineral se trata en un circuito convencional de concentración, este proceso consiste en chancado, molienda y flotación para los circuitos de cobre y molibdeno. El concentrado de cobre con un grado de 26% se transporta por tren hacia la fundición de Ilo, mientras que el concentrado de molibdenita con un grado de 54% de MoS<sub>2</sub> se vende como tal.

El acondicionamiento del mineral hacia su concentración se inicia con: triturado primario, secundario y terciario. El Courier analiza muestras desde la siguiente etapa a éstas (Molienda y Flotación). Después de la Flotación de Cobre la pulpa de mineral de interés pasa a un proceso de flotación para la recuperación de Molibdeno, seguidamente de un filtrado y secado.

Finalmente se va a la sección de relaves que tiene la función de recibir las colas finales de flotación de la planta de cobre (relave) y a la vez vía decantación recuperar agua, la misma que retorna al circuito de molienda – flotación. Este relave teniendo un promedio de 60% de sólidos es enviado para su acumulación final en la represa de Quebrada Honda, de esta manera se salvaguarda la salud del medioambiente (Concentradora Cuajone 2019).

### **1.5. Justificación de la investigación**

Las bajas recuperaciones del mineral de cobre obtenidas requieren proponer la evaluación de nuevos reactivos como colector y espumantes en el proceso de flotación de minerales en la recuperación de cobre, con la cual se espera mejorar e incrementar la recuperación, producción y obtener un grado aceptable de concentrado para su posterior venta y comercialización.





## **1.6. Hipótesis de la investigación**

### **1.6.1. Hipótesis principal**

Con la evaluación de espumantes en la flotación de minerales sulfurados para la recuperación de cobre en la planta concentradora de southern peru copper corporation – unidad cuajone, será de gran utilidad para mejorar el proceso de flotación.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- a) Al seleccionar el espumante y su dosificación para alcanzar una mayor recuperación de cobre en la flotación, se estará mejorando las condiciones del proceso de flotación lo que repercutirá en el beneficio de la empresa.
- b) Al encontrar el flujo de aire más adecuado para alcanzar la mayor recuperación de cobre, será de gran utilidad para controlar el proceso de flotación.

## **1.7. Objetivos del estudio**

### **1.7.1. Objetivo principal**

Evaluar los espumantes en la flotación de minerales sulfurados para la recuperación de cobre en la planta concentradora de southern peru copper corporation – unidad cuajone.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- a) Seleccionar el espumante y su dosificación para alcanzar una mayor recuperación de cobre en la flotación, se estará mejorando las condiciones del proceso de flotación lo que repercutirá en el beneficio de la empresa.
- b) Encontrar el flujo de aire más adecuado para alcanzar la mayor recuperación



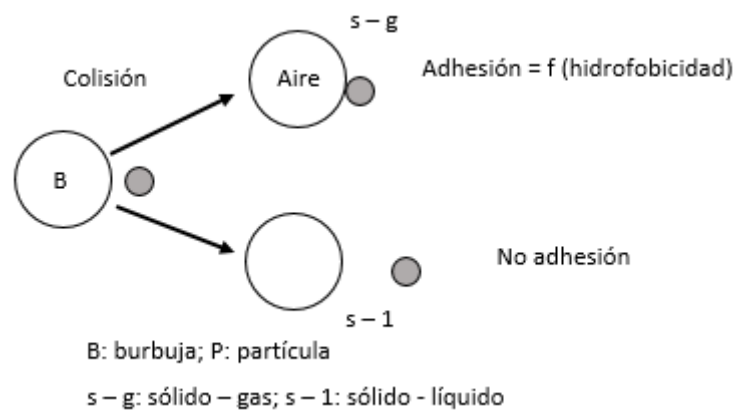
de cobre, será de gran utilidad para controlar el proceso de flotación.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

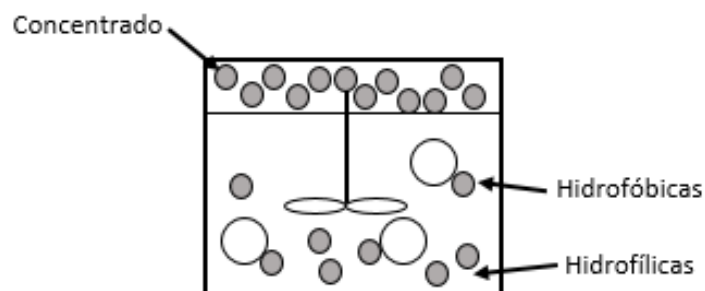
#### 2.1. Flotación

La flotación de minerales es un proceso fisicoquímico, cuyo objetivo es la separación de especies minerales, a través del uso de la adhesión selectiva de burbujas de aire a partículas minerales.



*Figura 1: Esquema adhesión selectiva*

Las partículas de aire o burbujas llevan los minerales seleccionados desde el fondo de la celda de flotación hasta la superficie de la pulpa formando una espuma estabilizada de la cual las partículas predeterminadas son recuperadas.



*Figura 2: Esquema de celda de flotación*



Para cumplir estos principios básicos, se usan reactivos químicos. Estos agentes de flotación son los llamados colectores, activadores, depresores y modificadores. Sus acciones principales son:

- Hacen de la superficie del mineral repelente al agua (flotado).
- Previene o evitan que otros minerales se hagan repelentes al agua.
- Forman una espuma razonablemente estable.

Solo las partículas minerales hidrofóbicas se adhieren a las burbujas, en tanto que las hidrofílicas no se adhieren (ganga).

Los tipos de flotación pueden ser:

- Flotación por espumas.
- Flotación por películas.
- Flotación por aceites.

### **2.1.1. Tipos de flotación**

#### **a. Flotación por aceites.**

Los minerales triturados con una cantidad variable de aceite de 10% a 20% en peso y en seguida agitados con agua, se comportan de manera tal que los sulfuros se asocian en una masa con el aceite y se segregan de la ganga mojada y del agua (Sutulov, 1963, p.13).

#### **b. Flotación por películas.**

Consiste básicamente en la separación de minerales por medio de agua pura, aprovechándose las propiedades notoriamente hidrofóbicas de los sulfuros.



Este método de beneficio se empleó con éxito solo en la industria del grafito (Sutulov, 1963, p.15).

### **c. Flotación por espuma.**

Es el proceso que separa los minerales que están en suspensión en agua (pulpa), atacándolos con burbujas de aire que selectivamente hace que el grupo de minerales valiosos floten hacia la superficie.

Siendo de mayor aplicación en la actualidad en nuestro país en la mineralurgia o procesamiento de minerales. La flotación de espumas puede ser clasificada en:

#### **c.1. Flotación directa.**

Cuando en la espuma se tiene al mineral valioso concentrado y en la pulpa el mineral de ganga como relave.

#### **c.2. Flotación reversa o inversa.**

Cuando en las espumas se capta a la ganga y en la pulpa queda el mineral considerado de valor como relave que es recuperado posteriormente.

## **2.2. Fases e interfases en el proceso de flotación**

El proceso de flotación contempla un contacto entre tres fases, de las cuales la líquida (agua) y gaseosa (aire) son casi siempre invariables mientras que la sólida (los minerales), es la que varía de un caso a otro. A parte de estos componentes fundamentales de la flotación, hay que señalar los reactivos que se agregan para causar ciertos cambios favorables para el desarrollo del proceso.

### 2.2.1. Sólidos

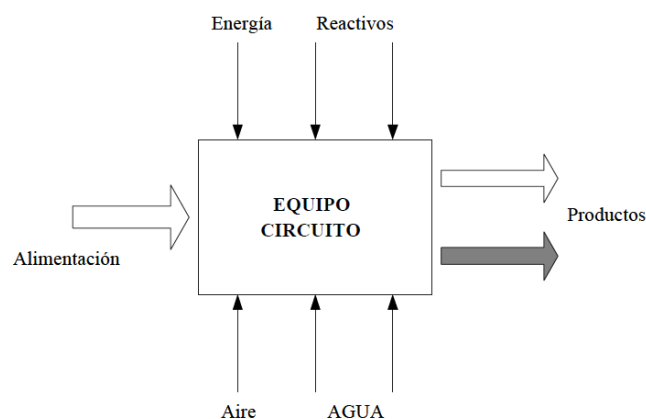
Los cuerpos sólidos tienen generalmente una estructura cristalina, por lo menos en lo que se refiere a los minerales. Esta estructura es una consecuencia de la composición química de las moléculas, iones y átomos componentes que son, cada uno, un cuerpo complejo. Las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas que determinan la flotabilidad natural de los minerales están directamente relacionadas con su polaridad.

### 2.2.2. Líquido

El agua es el elemento en el cual se efectúa la flotación, debido a su abundancia y bajo precio.

### 2.2.3. Gaseoso

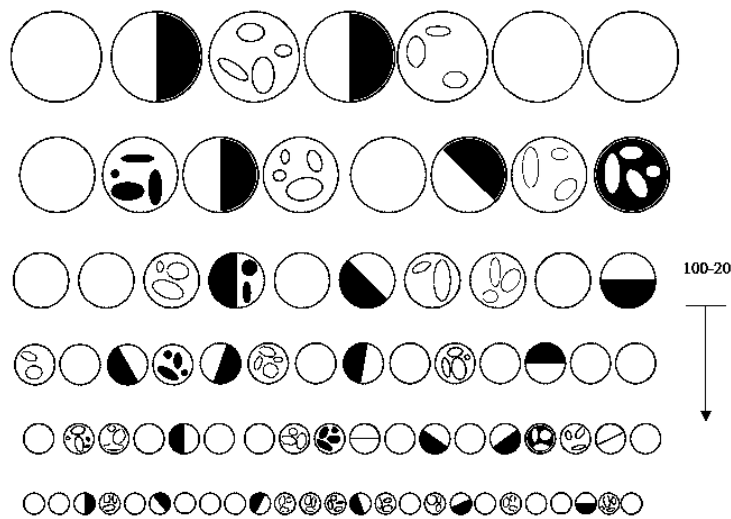
Con excepción de ciertos casos de carácter experimental, la flotación industrial se efectúa exclusivamente con aire. La función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son dos: El aire influye químicamente en el proceso de flotación y es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.



*Figura 3: Esquema proceso Flotación*

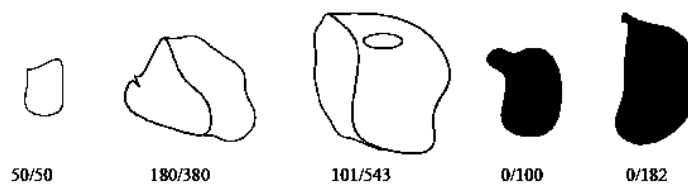
### 2.3. Tamaño de partícula y liberación

Para separar el mineral útil de la ganga es necesario reducir el tamaño de las partículas hasta alcanzar el nivel adecuado de liberación de las especies minerales. Lo anterior se logra reduciendo el mineral hasta un tamaño de partícula muy inferior al tamaño del grano de las especies. El rango típico de tamaño de liberación para especies mineralógicas comunes en la industria del cobre es de 45 – 75  $\mu\text{m}$ .



*Figura 4: Efecto de reducción de tamaño*

Para la separabilidad de la materia prima se usan diferentes tipos de representaciones gráficas.



*Figura 5: Ejemplo de asociación de mineral.*

Se considera una distribución que contiene partículas con diferentes proporciones de mineral valioso A (color blanco) que se desea esperar. Dicha proporción se expresa con la ecuación:

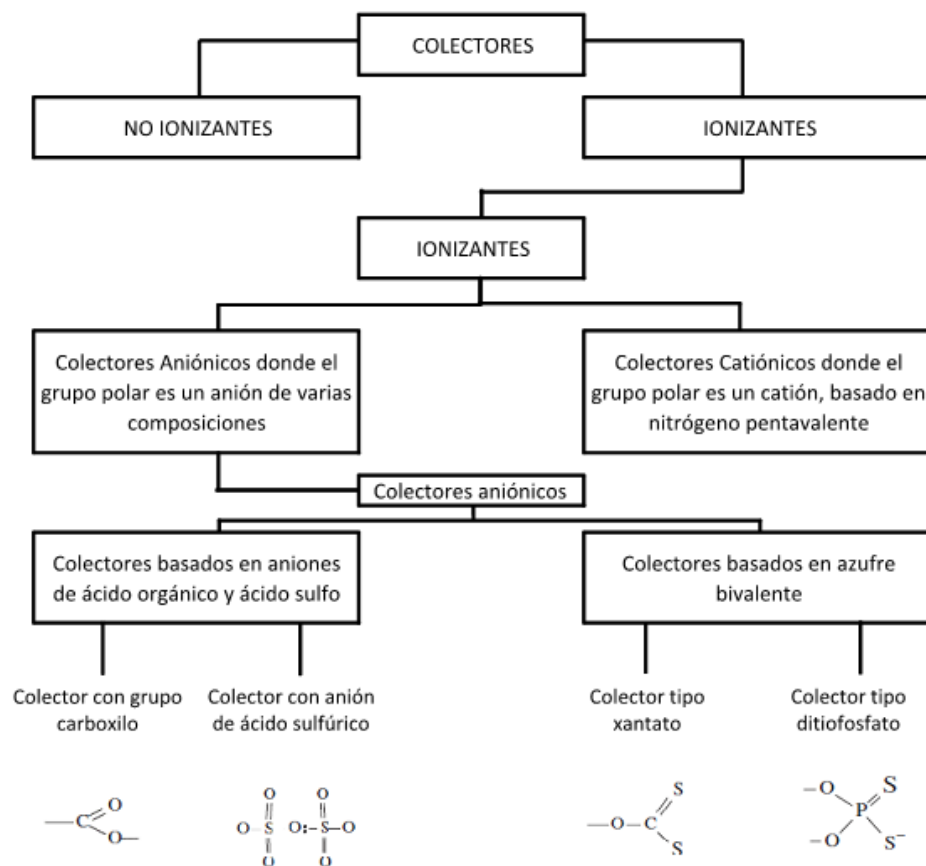
$$\frac{\text{Mineral valioso A}}{\text{mineral total}}$$





Por lo tanto, la colección estará íntimamente condicionada por la naturaleza de la superficie del mineral y de la estructura química del colector. La unión química entre el colector y el mineral deberá ser más fuerte que la que pueda existir entre el mineral y el agua.

Los niveles de molienda o liberación de partículas nunca serán perfectos para suplir las posibles contaminaciones de las superficies mineralógicas que impiden una adecuada unión, de ahí la necesidad de buscar el colector más eficiente. Las partículas de mineral convertidas en hidrófobas por la acción del colector se adhieren a las burbujas de aire que van ascendiendo por la pulpa. Por lo tanto, la recuperación de mineral aumentará en la medida que aumente el ángulo de contacto.



**Figura 8:** Tipos de Colectores

**Fuente:** Elaboración propia



### 2.4.2. Espumantes

La producción de espuma estable requiere la introducción de agentes orgánicos conocidos como espumantes, que suelen ser sustancias tensoactivas heteropolares que pueden absorberse en la interfase agua – aire.

En los líquidos puros y en el agua, en particular, al hacer pasar aire a través de ellos, no se produce espumación.

Al agregar pequeñas cantidades de algunos compuestos orgánicos, como por ejemplo alcoholes, la inyección de aire irá acompañada por la formación de burbujas de aire en forma de esferas, que al ascender a la superficie del líquido, antes de entregar su contenido de aire a la atmosfera, tratan de detenerse en forma de espuma.

El tamaño de las burbujas y su estabilidad dependerán del tipo de espumante empleado, ya que con un aumento de espumante disminuirá el diámetro de las burbujas para producir con la misma cantidad de aire la mayor superficie de contacto y la estabilidad de la espuma aumentará debido al mayor grosor de la película.

Esto sucede hasta un punto, a partir del cual, los efectos se estabilizan, y si se sigue aumentando la dosis de espumante comienzan a aparecer efectos negativos.

Los espumantes que se usan en flotación son reactivos orgánicos de carácter heteropolar, por lo tanto, de estructura similar a los colectores, pero mientras estos últimos tienen afinidad por la interfase líquido – sólido, los espumantes la tienen por el líquido – gas.

Los agentes más apropiados para realizar la espumación son:

- Alcoholes alquílicos y arílicos.
- Ácidos carboxílicos.

- Aldehídos, Cetonas.
- Aminos y Nitrilos

Clásicamente los más utilizados ha sido el aceite de pino, el ácido cresílico y el aceite de eucalipto.

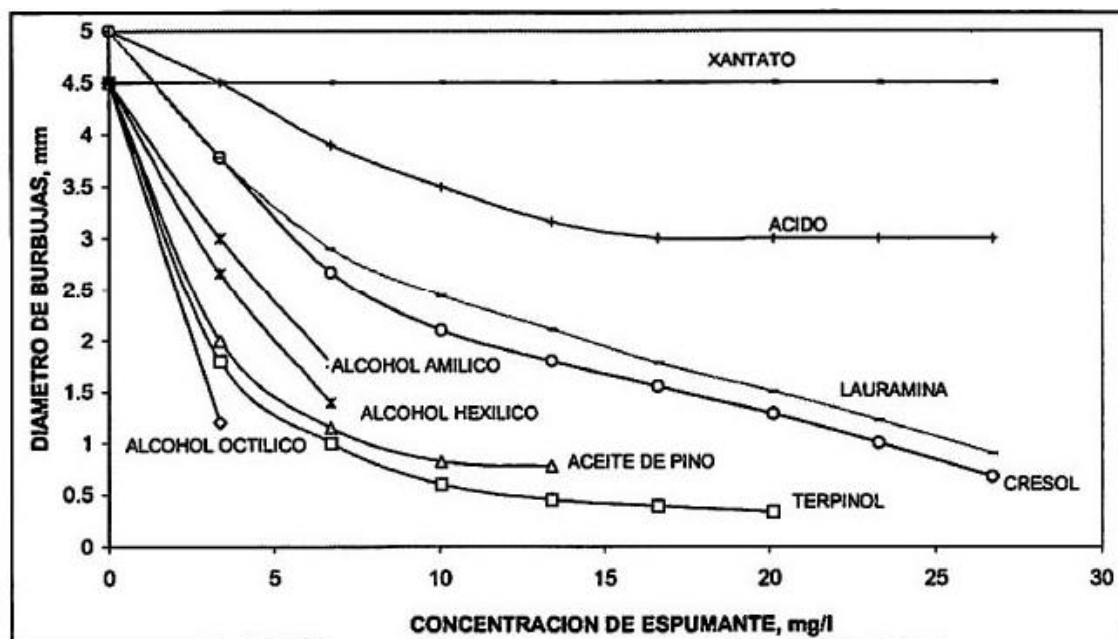
Actualmente se comercializan gran cantidad de productos de base glicol conocidos con el nombre de Aerofroth y Dowfroth.

*Tabla 1: Clasificación de espumantes*

ÁCIDOS	NEUTROS	BÁSICOS
Fenoles	Alcoholes alifáticos	Bases Piridina
Alquil sulfatos	Alcoholes cíclicos	
	Parafinas alcoxi	
	Éteres de polipropilenglicol	
	Éteres de poliglicol	
	Éteres de poliglicol glicerol	

Fuente: Elaboración propia

El espumante tanto en tipo como en dosificación tiene un efecto considerable sobre el tamaño de burbuja que se produce como se observa a continuación:



*Figura 9: Efecto del tipo y dosificación de espumante sobre el tamaño de burbuja*



### 2.4.3. Modificadores o reguladores

Los modificadores, comúnmente conocidos como reguladores, pueden considerarse los más importantes productos químicos en el procesamiento de minerales, que controlan la interacción de colectores sobre los minerales. Su aplicación aumenta o disminuye la adsorción selectiva de colectores en minerales específicos para lograr su separación.

En diferentes condiciones, se pueden mostrar como activadores o depresores. Según su carácter funcional, los modificadores reaccionan con las superficies de los minerales, así como con colectores e iones contenidos en la pulpa. Para proporcionar una adsorción selectiva del colector, el modificador debe en sí mismo ser selectivo.

Influyen en la flotación de diferentes maneras, algunas de las cuales incluyen:

- Pueden reaccionar con superficies minerales dando como resultado un cambio de composición química de superficies minerales particulares. Esto puede aumentar la adsorción del colector en la superficie del mineral o puede evitar la adsorción del colector por completo.
- También pueden eliminar los revestimientos del colector de la superficie mineral, causando depresión.
- Son capaces de cambiar la flotabilidad de minerales particulares, independientemente de su capacidad para reaccionar con los colectores.
- Los modificadores pueden cambiar el pH de la pulpa.

#### 2.4.4. Relación Colector – Espumante

El volumen de espuma generada en la celda de flotación en condiciones de funcionamiento estándar a menudo se denomina poder de espuma. La potencia de la espuma está influenciada por el tipo de colector y espumante usados.

Por ejemplo, la potencia de la espuma normalmente aumenta con el número de átomos de carbono en el radical de hidrocarburo hasta 6 o 7, y luego cae drásticamente cuando la cadena de hidrocarburos tiene más de 8 átomos de carbono. Un xantato con menos de 6 carbonos en el grupo alquilo no produce espuma solo, mientras que el xantato de octilo producirá espuma por sí solo, pero disminuirá la espuma si se mezcla con alcohol. Mezclar un xantato (amilo) de cadena más larga con un alcohol de cadena corta aumenta el volumen de espuma.



*Figura 10: Espumación de minerales*

#### 2.5. Condiciones de las espumas de flotación

Las espumas de flotación deben contar con las siguientes condiciones:



- Las partículas de mineral a flotarse deben adherirse fuertemente a las espumas.
- La separación suplementaria máxima posible, debido a la separación selectiva de las partículas de ganga, deben producirse en las espumas.
- Las espumas no deben ser excesivamente estables y deben romperse rápidamente después de salir de la celda de flotación. De no ser así, causarán dificultades en las canaletas de recepción, en el espesamiento y en el filtrado.

Las propiedades de las espumas de flotación son de muy fácil control, si las condiciones físicas y fisicoquímicas del medio se alteran conjuntamente.

Los factores físicos que determinan las propiedades de las espumas son:

- El espesor del lecho (colchón) de espumas.
- La velocidad y método de la eliminación de las espumas.
- La cantidad de burbujas y partículas minerales presentes.
- La dispersión de las espumas.
- La intensidad de movimiento de la pulpa en la capa inmediata inferior de la espuma.

Los factores fisicoquímicos incluyen cambios en la alimentación de reactivos que afectan la estabilidad del lecho que separa la burbuja.

## **2.6. Variables del proceso de flotación de espumas**

### **2.6.1. Variables que dependen de los componentes químicos**

- Dosificación y potencia de los reactivos.
  - Colectores.



- Espumantes.
- Modificadores: Activadores, Depresores, Modificadores de pH.
- pH (Eh) de mejor selectividad.

Todo lo que concierne al comportamiento físico-químico para lograr la hidrofobización del mineral valioso dentro del ambiente de la celda.

### **2.6.2. Variables que dependen de los componentes de equipamiento**

- Diseño de la celda convencional.
- Agitación de la pulpa (RPM).
- Configuración del banco de celdas.
- Remoción de la espuma.

Todo lo que concierne al comportamiento hidrodinámico que involucra el movimiento partícula – burbuja – fluido dentro del ambiente de la celda.

### **2.6.3. Variables que dependen de los componentes de operación**

- Velocidad de alimentación ( $m^3/h$ ) o GPM.
- Mineralogía de la mena.
- Tamaño de partículas (densidad y forma).
- Grado de liberación (grado de diseminación).
- Grado de oxidación (degradación).
- pH natural del mineral.
- Densidad de pulpa (% de sólidos).



- Temperatura.
- Flujo de aire (psi, Pa).
- Remoción de la espuma (natural o mecánica).
- Ley de mineral de cabeza.

## 2.7. Índices Metalúrgicos

Los índices metalúrgicos más importantes son:

- Recuperación: Este término se refiere a la eficiencia y rendimiento del proceso de flotación. Es decir, es la parte de mineral valioso que se obtiene en el concentrado, con respecto del mineral valioso en el mineral de cabeza.

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100 \quad (1)$$

Si se sustituye en la formula (1) el valor de C/F en función de las leyes, se obtiene:

$$R = \frac{(f-t)}{(c-t)} \times \frac{c}{f} \times 100$$

- Ley, razón de enriquecimiento: Este término indirectamente se refiere a la selectividad del proceso. Directamente expresa cuántas toneladas de mineral de cabeza se necesitan procesar en la Planta Concentradora para obtener una tonelada de concentrado. En consecuencia, esta razón es un número que indica cuántas veces se concentró el mineral valioso contenido en la mena.

$$\text{Balance de material: } F = C + T \quad (1)$$



$$\text{Balance de metal: } Ff = Cc + Tt \quad (2)$$

Multiplicando la ecuación (1) por  $t$  y restando de la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

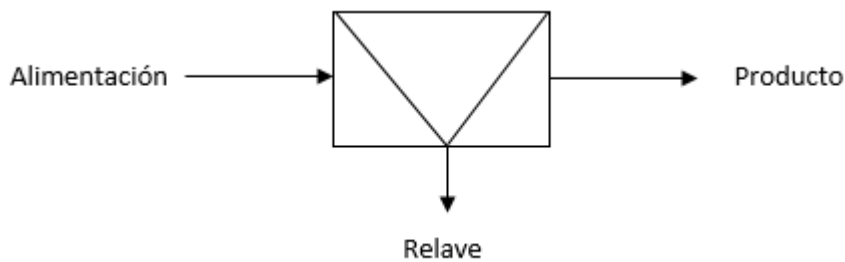
$$Ft = Ct + Tt$$

$$F(f - t) = C(c - t)$$

de donde se obtiene la razón de concentración, es decir:

$$K = \frac{F}{T} = \frac{(c-t)}{(f-t)}$$

- Recuperación en peso (% $R_{\text{peso}}$ )



*Figura 11: Esquema del proceso de flotación*

### **Balance de masa**

$$F = C + T$$

### **Balance de finos**

$$Ff = Cc + Tt$$

### **Balance de Agua**

$$W_f = W_c + W_T$$

### **% Recuperación**



$$\%R = \frac{\text{fino concentrado}}{\text{fino alimentacion}} \times 100 = \frac{Cc}{Ff} \times 100$$

### **Razón de enriquecimiento**

$$\text{Razón de enriquecimiento} = \frac{C}{F}$$

## **2.8. Cinética de flotación**

La importancia de la Termodinámica en el proceso de flotación se revisó a través de los conceptos siguientes:

- Ángulo de contacto.
- Acción de colectores.
- Acción de espumantes.

Sin embargo, la influencia de la Termodinámica en la flotación se tratará a través de su necesaria vinculación con la cinética del proceso.

Esta última entrega una descripción cuantitativa de la velocidad con que flotan las partículas, y por eso es importante el tiempo de flotación ( $\mathcal{T}$ ). Este es una variable fundamental de diseño y corresponde al tiempo máximo que hay que proporcionar a las partículas más lentas para que puedan ser extraídas de la pulpa.

El tiempo de residencia ( $\mathcal{T}_r$ ), está vinculado al flujo de aire, de modo tal que, si este último fuese pequeño,  $\mathcal{T}$  debería ser alto para coleccionar todas las partículas.

Hay una relación directa entre  $\mathcal{T}_r$  y la probabilidad de flotación, por lo que, si esta es alta y si el flujo de aire es adecuado, la recuperación esperada sería aceptable.

Un experimento típico de laboratorio es una prueba cinética, donde una celda batch es alimentada con una cierta cantidad de mineral y con la posibilidad de recibir el concentrado en función del tiempo. Se va cambiando la bandeja receptiva de concentrado, para fraccionarlo en  $c_1, c_2, \dots, c_n$ , para tiempos de flotación de  $1', 2', \dots, 8'$ , etc.

Luego se confecciona una tabla como la siguiente:

**Tabla 2:** Tabla cinética de flotación

Fracción	Tiempo en minutos	Finos
$C_1$	1	$f_1$
$C_2$	2	$f_2$
$C_3$	3	$f_3$
$C_4$	4	$f_4$

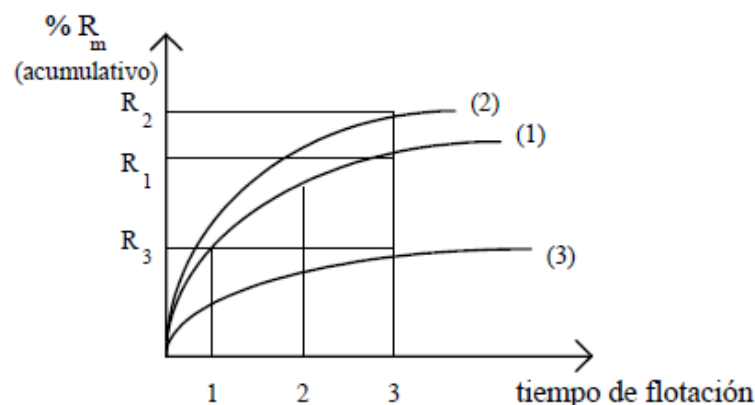
Conociendo leyes y pesos, luego se determina la cantidad de metal fino.

$$\text{Fino metálico} = \text{peso} \times \frac{\text{ley}}{100}$$

Calculando el  $f_1, f_2, \dots, f_n$  y conociendo el fino de la cabeza (alimentación), se puede determinar la recuperación del metal ( $R_m$ ):

$$\% R_m = \frac{\text{fino conc. 1}}{\text{fino alimenación}} \times 100$$

También se calcula:  $\%R_m$  acumulativo (conc. 1 + conc. 2 + ...). y se grafica  $R$  versus  $T$ .



**Figura 12:** Gráfica Recuperación vs tiempo de flotación



R aumenta con el tiempo de flotación y la curva se va haciendo asintótica a un cierto valor máximo ( $R_{\infty}$ ). Al final las espumas también quedan cargadas con parte de ganga.

Esta relación entre R% y tiempo, permite definir un concepto de velocidad. Si se tuviese un 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> mineral, estos tendrían diferentes velocidades. Estas variaciones en velocidad dependen de condiciones operativas (tipo de máquina, flujo de aire, condiciones fisicoquímicas).

Ya que la velocidad depende de la probabilidad de flotación, una cierta combinación de reactivos podría dar una mayor o menor velocidad.

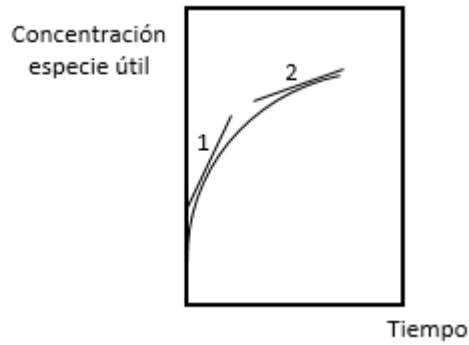
Si se considera que en una planta el tiempo de flotación está vinculado al tiempo de residencia ( $T_r$ ), se tiene que:

$$T_r = f(\text{volumen del circuito de flotación})$$

Por lo tanto, en la práctica industrial, el límite de tiempo de flotación está dado por  $T_r$ . Si el tiempo  $T_r = f(V_C)$ , donde  $V_C$  es el volumen del circuito, la velocidad de flotación surge como una variable importante del proceso.

Para entregar una caracterización cinética de flotación de un mineral, se usa el concepto de constante específica de velocidad de flotación.

Sirve para definir si un proceso es más rápido o más lento. Existe una amplia gama de modelos cinéticos, de los cuales se analizarán los más usados en el campo experimental. Para eso se desarrollará el Modelo Análogo (por analogía a la cinética química), donde se considera que partícula y burbujas son reactantes y el agregado de partícula – burbuja es un producto de reacción.



(1), (2), etc., indican cambio de la velocidad

*Figura 13: Concentración del mineral en función del tiempo y velocidad*

### 2.8.1.1. Velocidad de flotación

Se expresa a través de la siguiente ecuación diferencial:

$$-\frac{dc}{dt} = kc^n \quad (1)$$

$c$  = concentración de especies flotables

$n$  = orden de la reacción

$k$  = constante de flotación

Suponiendo una cinética de 1<sup>er</sup> orden:

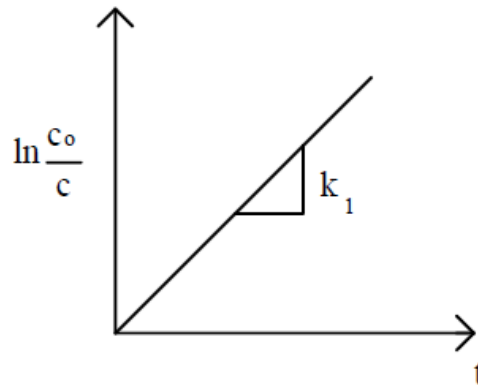
$$c = c_0 e^{-kt}, \text{ donde} \quad (2)$$

$c_0$  = concentración de material flotable al tiempo cero

$c$  = concentración de material flotable al tiempo  $t$

La ecuación 2 se grafica según:

$$\ln \frac{c_0}{c} = kt \quad (3)$$



**Figura 14:** Gráfica logaritmo natural de Concentración de mineral en el tiempo cero sobre Concentración en el tiempo versus tiempo

Estas concentraciones no son usuales en flotación, donde más bien se usan recuperaciones. Para evaluarlas, se determinan concentrados parciales, que se secan, pesan y analizan para conocer el valor del contenido metálico fino y de ahí la concentración (ya que se conoce el volumen de la celda). Como este es fijo, se trabaja directamente con concentraciones. En la práctica no es posible llegar a una recuperación del 100%, por lo que se introduce el concepto de recuperación máxima,  $R_{\text{máximo}}$ , ya que no todo el material es flotable.

El término,  $\ln \frac{C_o}{c}$ , debe ser corregido, pues  $C_o$  es la concentración de todo el material flotable menos la concentración del material que no flotó y quedó, ( $C_{\infty}$ ):

$$\ln \left( \frac{C_o - C_{\infty}}{c - C_{\infty}} \right) = kt \quad (4)$$

(5)

Es posible escribir:  $R_{\infty} = \frac{C_o - C_{\infty}}{C_o}$

$$R_t = \frac{C_o - C}{C_o} \quad (6)$$

Luego, la ecuación (1), queda:  $-\frac{dc}{dt} = -k(c - C_{\infty})^n$  (7)

$$\frac{dR}{dt} = kC_o^{n-1}(R_{\infty} - R)^n \quad (8)$$

(9)

Para  $n = 1$ :  $R_t = R_{\infty}(1 - e^{-kt})$

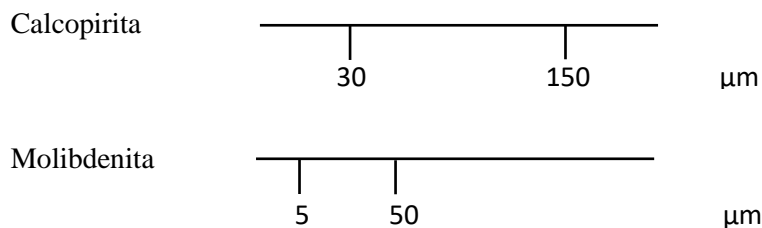
$R_t$  = recuperación parcial a cualquier tiempo  $t$ .

$R_\infty$  = recuperación máxima posible.

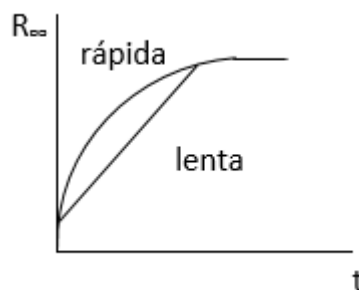
La velocidad de flotación es un aspecto clave, sobre todo en circuitos industriales donde una mejora puede significar un aumento de tonelaje tratado en planta.

La flotación como proceso requiere que las partículas y burbujas, estén dentro de un rango de tamaños relacionados entre sí. De este modo, partículas pequeñas flotan mejor con burbujas pequeñas, pero con la condición inherente de rango de partículas, de acuerdo al mineral que este flotando. Hay distintos rangos para distintos minerales, por eso algunas especies minerales requieren diámetro de burbujas menores que otros.

Ejemplo: minerales de cobre como calcopirita flotan bien entre 30 y 150  $\mu\text{m}$ , en tanto que partículas liberadas de molibdenita flotan bien entre 5 y 50  $\mu\text{m}$ . Esto depende del diámetro de burbuja (más gruesas para calcopirita. Si se flotan calcopirita y molibdenita juntas, el equipo debe generar burbujas grandes como también pequeñas.

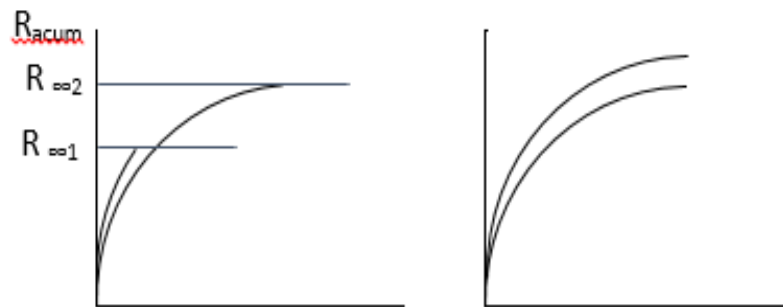


La velocidad depende de las condiciones de la pulpa.



**Figura 15:** Recuperación en función del tiempo

Puedo ocurrir que la flotación no solo sea más lenta, sino que se alcance distinta  $R_{\infty}$ , por ejemplo, cuando los reactivos no son adecuados.



**Figura 16:** Recuperación acumulada en función de los reactivos utilizados





## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales de uso

##### 3.1.1. Muestra

Para la presente investigación, la muestra que se utilizó proviene de la alimentación molinos de la planta Concentradora Cuajone.

- **Características de la muestra**

- ✓ Composición química: La muestra se analizó por absorción atómica arrojando los siguientes resultados.

*Tabla 3: Análisis químico del mineral*

Elementos	Contenido
%Cu	0.678
% Mo	0.022
%CuSAc	0.077
%CuSCN	0.205
% Fe	3.08
% Ins	84.56

**Fuente:** Laboratorio químico planta concentradora

- **Mineralogía**

Se encontraron las siguientes especies mineralógicas.



*Tabla 4: Mineralogía de la muestra*

<b>Especies Minerales</b>	<b>Fórmulas</b>
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$
Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
Calcosina	$\text{Cu}_2\text{S}$
Digenita	$\text{Cu}_9\text{S}_5$
Covelita	$\text{CuS}$
Pirita	$\text{FeS}_2$
Molibdenita	$\text{MoS}_2$
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$

**Fuente:** Departamento de Geología

### 3.1.2. Recursos necesarios

Para realizar la evaluación de los reactivos de flotación a nivel laboratorio, se necesitará:

#### A. Infraestructura

- Laboratorio de preparación mecánica de muestras.
- Laboratorio Metalúrgico para pruebas de flotación.
- Laboratorio Químico para ensayos de muestras.

#### B. Equipos

- Chancadora primaria de quijada.
- Chancadora secundaria giratoria.
- Chancadora terciaria giratoria.
- Zaranda vibratoria Gilson Screen.
- Campanas de polvo.



- Divisor de muestras de bandejas.
- Balanza.
- Horno.
- Molino de barras.
- Set de mallas (35, 48, 65, 100, 140, 200, 270).
- Deslamador.
- Celdas de flotación (finos y gruesos).
- pHmetro.

### 3.2. Método experimental

El método de investigación a utilizar será el método experimental y que constituirá la orientación o dirección para el presente estudio. Para este propósito se considerarán los diferentes métodos tales como:

**Análisis y síntesis:** Por medio del cual se analiza el problema planteado, para comprender la esencia del mismo y conocer la naturaleza de sus partes (investigación bibliográfica del laboratorio e interpretación), para posteriormente sintetizar e integrar el estudio.

**Inducción y deducción:** Utilizada para concluir la investigación a partir de los datos y antecedentes obtenidos. Es un paso de lo desconocido a lo conocido aplicado básicamente a nuestro caso será el comportamiento de los reactivos a evaluar.

- Inducción. Con este método se interpretará los datos para lograr lo que se quiere alcanzar. La base de la inducción es la suposición de que si algo es verdad en algunas ocasiones también lo es en situaciones similares, aunque no se hayan



observado.

- Deducción. A partir de este método se podrá concluir nuestras investigaciones partiendo de los datos y antecedentes obtenidos. En la argumentación deductiva válida, la conclusión debe ser verdadera si todas las respuestas son asimismo verdaderas.

**Método experimental:** La evaluación de reactivos en el proceso de flotación de minerales para la recuperación de cobre es un proceso clave. Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, se realizarán pruebas a nivel de laboratorio, la cual es una etapa que es considerada de gran importancia, porque su función es seleccionar el reactivo de mejor rendimiento que debe pasar a una prueba en Planta Concentradora.

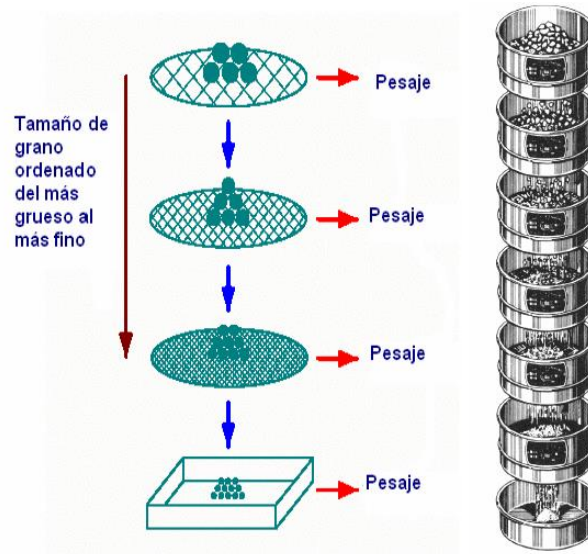
Para el inicio de las pruebas, fue establecida una prueba de referencia o patrón que servirá como medida de comparación, frente a las pruebas que se ejecuten con los reactivos a evaluar, esta prueba de referencia es la Prueba estándar, definida a nivel de laboratorio, la cual representa las condiciones ideales de operación de la Planta concentradora como, por ejemplo

- Tamaño de partícula y análisis granulométrico: La determinación de la granulometría resulta de mucha importancia y constituye un parámetro crítico.

Las dos razones para la existencia de un tamaño óptimo de partícula son:

- Las partículas excesivamente grandes provocan que los minerales de cobre se disimulen (entrelacen) en los minerales de la ganga, con lo que se evita su posterior tratamiento de concentración.
- Las partículas excesivamente finas tienden a formar una lama, la cual cubre los minerales de cobre y disminuye la eficiencia con la cual se flota.

Operacionalmente, un análisis granulométrico consiste en hacer pasar un peso determinado de mineral representativo de la muestra original por una serie de tamices o mallas ordenadas de arriba hacia abajo, es decir, de la malla de mayor abertura a la de menor abertura. Terminada la operación después de un tiempo predeterminado, se pesa el mineral que se retiene en cada malla, el cual nos servirá para determinar el porcentaje en peso de cada fracción de tamaño.



*Figura 17: Procedimiento de tamizado*

Fuente: Procesamiento de Minerales – Ing. Nataniel Linares

Los datos obtenidos de un análisis granulométrico pueden ser presentados de la siguiente manera:

*Tabla 5: Presentación de datos de análisis granulométrico*

# Malla	Abertura de Malla $\mu\text{m}$	Peso Retenido gramos	% Retenido parcial $f(X_i)$	% Retenido acumulado $G(X_i)$	% Pasante acumulado $F(X_i)$
	$X_0$	$W_0$	0	0	100
	$X_1$	$W_1$	$f(X_1)$	$G(X_1)$	$F(X_1)$
	$X_2$	$W_2$	$f(X_2)$	$G(X_2)$	$F(X_2)$
	$X_3$	$W_3$	$f(X_3)$	$G(X_3)$	$F(X_3)$
	$X_4$	$W_4$	$f(X_4)$	$G(X_4)$	$F(X_4)$
	-	-	-	-	-
	..	..	..	..	..
	...	...	...	...	...
	$X_n$	$W_n$	$f(X_n)$	$G(X_n)$	$F(X_n)$
<b>TOTAL</b>		<b>W</b>	<b>100</b>		

Fuente: Elaboración propia

- 1)  $X_n = \text{ciego}$
- 2)  $W = \sum W_i$
- 3)  $f(X_i) = (W_i/W) \times 100$
- 4)  $\sum f(X_i) = 100$
- 5)  $F(X_i) = \sum f_j = 100 - G(X_i)$
- 6)  $G(X_i) = \sum f_j = f(X_1) + f(X_2) + \dots + f(X_i)$
- 7)  $G(X_i) + F(X_i) = 100$

$f(X_i)$  = Es el porcentaje en peso de mineral retenido en cada malla, referido al peso total de mineral tamizado, considerado como muestra representativa.

$G(X_i)$  = Es el porcentaje acumulado retenido, es decir, está constituido por todo el mineral que tiene un tamaño de partícula mayor que la abertura del orificio de una malla X cualquiera de la serie de tamices tomada.

$F(X_i)$  = Es el porcentaje acumulado pasante, es decir, está constituido por todo el mineral que tiene un tamaño de partícula menor que la abertura del orificio de una malla X cualquiera de la serie de tamices tomada.

% Peso Retenido acumulado, %M +65 = 25



- pH de flotación: Es la variable de control más utilizada en el proceso de flotación, ya que resulta fundamental en la recuperación y selectividad, así como, en la depresión de minerales. La regulación de pH se realiza con cal

$$\text{pH de flotación} = 9.5$$

- Dosificación de reactivos: La función del colector es hacer hidrofóbica la superficie del mineral deseado. Por otro lado, la elección de un espumante determina las características de la espuma, que contribuye a la selectividad de la operación. La altura de la espuma y el flujo de aire a la celda afectan el tiempo de retención de las partículas en la espuma.
  - o Dosificación en molienda: Colector primario 22.5 gr/TM, espumante 7.95 gr/TM, colector secundario 5.6 gr/TM.
  - o Dosificación en flotación: Espumante lamas 15.9 gr/TM y en arenas 21.5 gr/TM., colector secundario lamas 16.8 gr/TM y en arenas 11.2 gr/TM.
- Velocidad del agitador en las celdas de flotación 2500 RPM.
- Flujo de aire: Dependiendo de la formación de la cama de espuma.
  - o Lamas: De 0 a 60 lt/min.
  - o Arenas: De 0 a 30 lt/min.
- Tiempo de acondicionamiento: 30 segundos antes de iniciar la prueba.
- Remoción de espumas (paleteo): Cada 10 segundos durante 6 ó 4 minutos dependiendo si la muestra es de lamas o de arenas.



Esta prueba que es trabajada en condiciones similares a la planta concentradora servirá para comparar el rendimiento metalúrgico de cualquier reactivo u otra variable en estudio. Para dar a todos los reactivos en prueba la misma oportunidad de demostrar sus propiedades, las Pruebas de Laboratorio serán efectuadas en condiciones exactamente iguales a la prueba estándar, es decir, granulometría, dilución, dosificación de colector, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, RPM, remoción de espumas, entre otros. La técnica empleada durante la flotación estándar será la misma que para las demás pruebas, en relación con la inclinación, profundidad, modalidad y frecuencia de remoción de espumas, frecuencia de lavado, evitando con ello, errores experimentales, que podría ocasionar conclusiones erróneas. Las Pruebas Metalúrgicas serán realizadas con flotaciones Rougher, por ser este rápido y económico.

La evaluación de reactivos será en base a recuperación, ley de concentrado, razón de enriquecimiento, y otros criterios metalúrgicos. En caso de que los resultados metalúrgicos obtenidos con el o los reactivos evaluados sean ligeramente superiores al estándar y la eficiencia del o los reactivos no está bien definida, se aplicarán pruebas para confirmar su validez.

Un método de conocer el grado de error que uno es capaz de cometer durante una prueba de flotación es realizar la prueba estándar por duplicado. Si la prueba está bien trabajada, los resultados metalúrgicos incluyendo los pesos de los productos deben ser similares entre sí, esto significa que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas sea efectuada cuidadosamente. Sólo después de alcanzar ese nivel de exactitud, se estará en condiciones de efectuar con seguridad las pruebas metalúrgicas tendientes a evaluar reactivos de flotación.



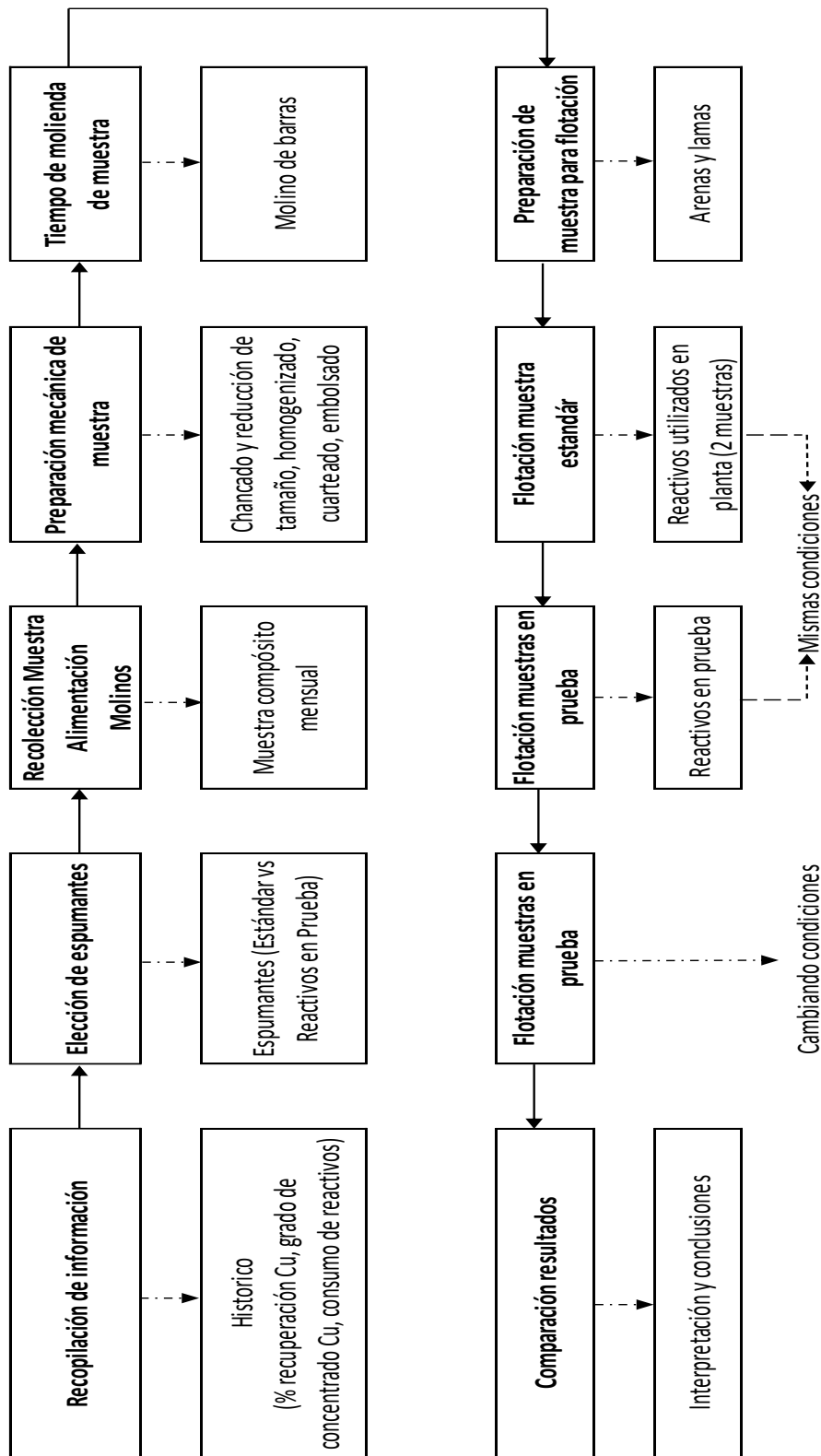


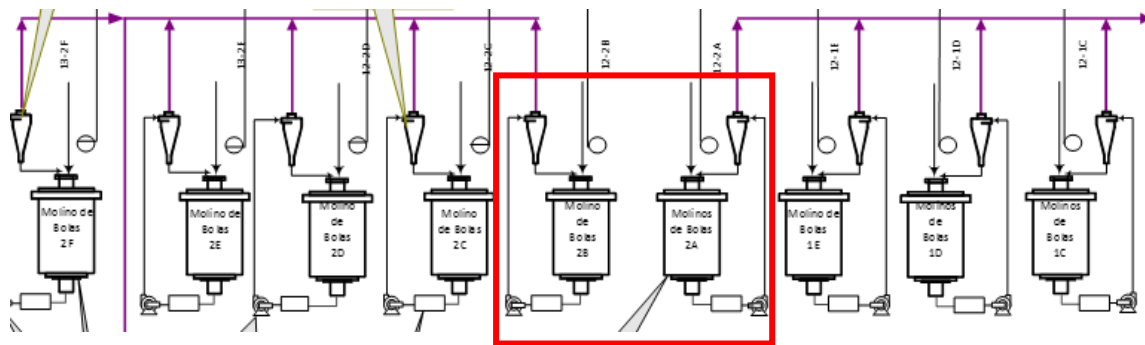
Figura 18: Diagrama de bloques del proceso experimental

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Procedimiento experimental

#### 3.3.1. Muestreo

El muestreo se realizará en los molinos seis (2A) y siete (2B) de la planta concentradora Cuajone.



*Figura 19: Distribución de molinos en planta concentradora*

Se muestreará un total de 50 kg aproximadamente de mineral de alimentación molinos

#### 3.3.2. Preparación mecánica de muestra

La muestra recolectada de alimentación molinos (aproximadamente 50 kg), se tamizó en la malla 6 con la zaranda “Gilson”; el producto -6M se almacena. La muestra gruesa o +6M se pasa por la trituradora secundaria cónica (solo una pasada) y se tamizó nuevamente.

El producto -6M se almacena. La muestra +6M se pasa por la trituradora terciaria 6M set 3300, (una pasada). Luego se realizó el tamizado en la malla 6 con la zaranda “Gilson”. Se repite el ciclo hasta obtener un 100% -6M, juntar toda la muestra -6M.

La muestra -6M es pasada por la trituradora terciaria 10M set 2000 micras y luego se tamizó en la malla 10 con la zaranda “Gilson”. Se repitió el ciclo hasta obtener 100% -10M.



La muestra 100% -10M se homogenizó por el método de coneo (5 veces) empleando un cucharón y en forma cruzada (8 puntos).

*Nota: Cuando realicemos el quinto (5) coneo, se saca un poco de muestra para determinar la humedad. Este procedimiento se realiza de la siguiente manera: cada ocho (8) cucharones se procede a sacar muestra con la espátula en forma de “x” y en forma de cruz; esta muestra se coloca en una bandeja hasta obtener aproximadamente 500 gramos. Luego se riflea la muestra de la bandeja hasta obtener 100 gr en cada bandeja. Se pesa la muestra (100 gr exactos en cada bandeja) y se coloca en el horno.*

*Si queremos embolsar 24 bolsas (como en este caso), se tiene que el peso estándar para flotación es de 1789 gramos que multiplicado por las 24 bolsas se tiene:*

$$1789 \text{ gramos} \times 24 \text{ bolsas} = 42396 \text{ gramos}$$

*A este peso se agrega un peso de respaldo que por lo general es de 10 gramos por cada bolsa haciendo un total de:*

$$10 \text{ gramos} \times 24 \text{ bolsas} = 240 \text{ gramos}$$

*Luego se tiene como total:*

$$42396 \text{ gramos} + 240 \text{ gramos} = 43176 \text{ gramos}$$

*Este sería el peso que necesitaríamos buscar para realizar el embolsado.*

Mientras la muestra está en el horno y ya teniendo una referencia del peso requerido, se procedió a usar el rifle.

*Nota: Se ordenan cuatro (04) baldes. Se saca ocho (08) cucharones en forma de “x” y en forma de cruz y se procede a colocar en una bandeja para riflear. El primer rifleado no se cuenta. Luego se procede a riflear tres (03) veces y al cuarto se divide en la mitad cada bandeja. Cada mitad se echa en forma alternada en los baldes: primero en 1 y 3, luego en 2 y 4 y así sucesivamente hasta terminar la muestra.*



Las muestras colocadas en el horno, se retiran y se procede a pesar para hallar el % humedad.

*Nota: Se tiene que el peso seco de las dos (02) bandejas es 197 gramos, se procede a hallar el %humedad:*

$$\%Humedad = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso humedo}} \times 100$$

$$\%Humedad = \frac{200 - 197}{200} \times 100 \rightarrow 1.5\%$$

*Con el porcentaje de humedad, se procede a hallar el peso para cada bolsa:*

$$\frac{1789 \times (100 + 1.5)}{100} = 1815.8 \text{ gramos debería pesar cada bolsa}$$

*Se tiene un total de:*

$$1815.8 \text{ gramos} \times 24 \text{ bolsas} + 10 \text{ gramos} \times 24 \text{ bolsas} = 43819.2 \text{ gramos}$$

Se pesaron los baldes y si la suma de ellos nos da el peso que necesitamos para embolsar, se procederá a colocar la muestra en el divisor.

$$\text{Velocidad del divisor} = 70$$

$$\text{Vibración del divisor} = 7$$

La muestra pasada por el divisor, se procedió a embolsar con el peso requerido calculado.

### **3.3.3. Determinación de tiempos de molienda**

Se necesitan dos (02) bolsas para hallar el tiempo necesario para obtener un 25% retenido por la malla 65.

El tiempo estándar es de 500 segundos, pero se variará de acuerdo a la naturaleza del mineral.



Se preparó el molino colocando las barras dentro y se hizo girar de dos (02) a tres (03) segundos para acomodarlas.

### 3.3.4. Tiempo de molienda

Se determinará el tiempo de molienda de la muestra. Se utilizará un molino de barras con la siguiente carga:

*Tabla 6: Distribución de carga de barras*

Diámetro de Barras (pulg)	Nº Barras	Peso Estándar
1 1/2	1	3132.5
1	3	4026.1
3/4	9	6756.4
5/8	5	2612.8
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>16527.8</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Para determinar la cantidad de agua que se le agregará al molino, se tiene que:

$$\text{Peso seco de la muestra} = 1789 \text{ gramos (estándar)}$$

$$\% \text{ Sólidos} = 60\%$$

$$1789 \text{ gr} \quad - \quad 60 \%$$

$$X \quad - \quad 100 \%$$

$$X = 2981.7 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen de agua} = 2981.7 \text{ gr} - 1789 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen de agua} = 1192.7 \text{ ml (1 gr = 1ml, para agua)}$$

Se vierte aproximadamente la mitad de la cantidad de agua calculada; luego se procede a echar la muestra y se vierte la otra mitad de agua.

Se procede a darle arranque al molino de barras con el tiempo digitado.



Una vez terminado el tiempo, se lava las barras y el molino de barras cuidadosamente para no perder muestra.

La muestra se deslamea en la malla 270. La muestra retenida se coloca en el horno para secarla, se puede disminuir el tiempo de secado colocándola en varias bandejas.

Ya con la muestra seca, se realiza el análisis granulométrico con el siguiente set de mallas: 35, 48, 65, 100, 150, 200, 270.

Se coloca la muestra en el set de mallas para luego colocarlas en el Ro Tap por un espacio de tiempo de 18 minutos.

Se pesa el contenido de cada malla y se procede a calcular el % retenido acumulado de la M+65 para el primer tiempo de molienda.

Si el % M+65 fue menor que 25%, quiere decir que se dio mucho más tiempo necesario para que llegara al valor requerido; si el % M+65 fue mayor que 25%, el tiempo fue corto.

Ya teniendo el valor del primer tiempo de molienda con el análisis granulométrico, se procede a digitar el tiempo estimado para llegar al 25% de la M+65. Se repite el ciclo y luego tendremos que interpolar para hallar el tiempo de molienda adecuado.

29	<b>Si para T1 se obtiene:</b>  %M+65 muy elevado. Replantar Tiempo de Molienda Inicial T1
28	<b>Si para T1 se obtiene:</b>
27	%M+65 > 25
26	Presencia Dominante de Gruesos. Aumentar Tiempo de Molienda siguiente (T2), para reducir %M+65.
25	<b>Si para T1 se obtiene:</b>
24	%M+65 < 25
23	Presencia Dominante de Finos. Disminuir Tiempo de Molienda siguiente (T2), para aumentar %M+65.
22	<b>Si para T1 se obtiene:</b>
21	%M+65 muy bajo. Replantar Tiempo de Molienda Inicial T1

Figura 20: Tabla guía de %M +65 (Tiempo de Molienda)

### 3.3.5. Flotación de arenas y lamas

Obtenido el tiempo de molienda de la muestra, se procede a realizar la prueba de flotación de arenas y lamas. A la muestra que entra al molino se le añadirá:

- Cal entre 0.25 – 0.5 gr (dependiendo la acidez del mineral)
- Colector Sec. 0.5 gr de xantato (Z - 6) y se enrasa en una fiola de 100 ml.

La dosificación tanto de colector como de espumante se realizará utilizando la siguiente formula:

$$\text{Dosificación} = \left[ \frac{DP(\text{gr/tm}) * \text{Peso Muestra}}{1000} \right] * 1000$$

*Densidad Reactivo*

Donde:

DP = Dosificación en planta (gr/TM)

Peso Muestra = 1.789 Kg (Peso estándar para prueba de flotación)

**Tabla 7:** Dosificación de reactivos estándar en el molino de barras

Reactivo	G.E.	DP (gr/tm)	Dosificación
MX - 7031	0.9228	22.5	43.6 µl
A - 68	0.9375	7.95	15.2 µl
Z - 6	0.5	5.6	2.0 ml

Fuente: Procedimiento Estándar de Flotación – Departamento de Metalurgia

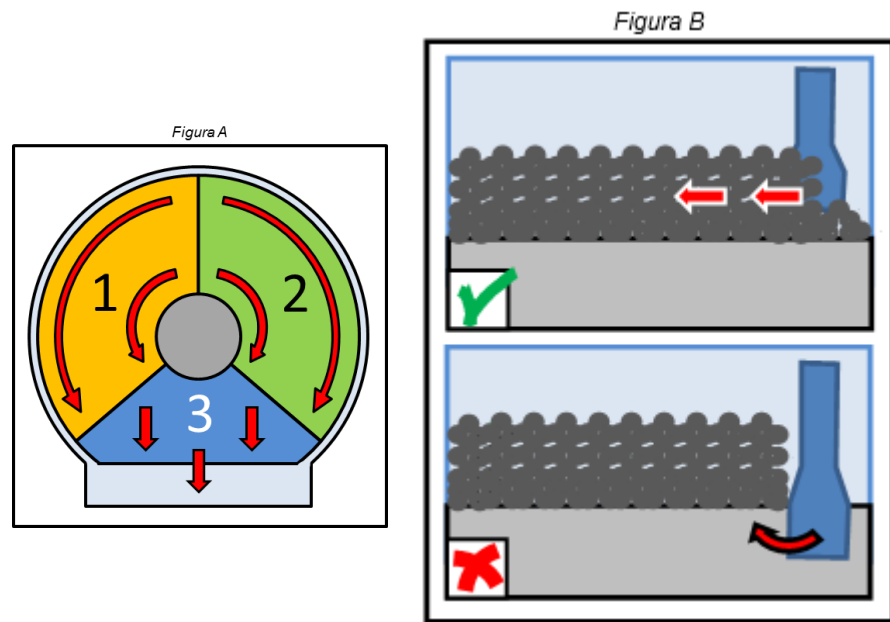
La dosificación de reactivos en las pruebas de flotación tanto para arenas como para lamas será la siguiente y de acuerdo con la densidad de cada reactivo:

**Tabla 8:** Dosificación en las celdas de flotación arenas y lamas

		LAMAS		ARENAS	
		DP (gr/tm)	Dosificación	DP (gr/tm)	Dosificación
<b>Primera parte</b>					
<b>A - 68</b>	0.9375	15.9	15.1 µl	21.5	24.6 µl
<b>Xantato</b>	0.5	16.8	4.0 ml	11.2	2.0 ml
<b>Segunda parte</b>					
<b>A - 68</b>	0.9375	15.9	15.1 µl	21.5	16.4 µl
<b>Xantato</b>	0.5	16.8	2.0 ml	11.2	2.0 ml

La forma correcta del paleteo para todas las pruebas de flotación es esquematizada en la siguiente imagen:





**Figura 21:** Ilustración del procedimiento de flotación

(A) Sentido del paleteo. (B) Forma correcta de paletear,



## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Tiempo de Molienda

Se procedió a calcular el tiempo de molienda con los resultados obtenidos.

##### Muestra 1

Peso: 1808 gramos

Agua: 1168.7 mililitros

Tiempo 1: 470 segundos

*Tabla 9: Análisis granulométrica de Muestra 1*

Mallas	Muestra 1	% Retenido	% Retenido Acumulado
35	0.82	0.05	0.05
48	112.35	6.28	6.33
65	314.50	17.58	23.91
100	244.56	13.67	37.58
150	134.69	7.53	45.10
200	113.53	6.35	51.45
270	70.76	3.96	55.41
-270	797.79	44.59	100.00
<b>Peso Malla 65</b>	427.67	23.91	
<b>TOTAL</b>	1789	100.00	

##### Muestra 2

Peso: 1808 gramos

Agua: 1168.7 mililitros

Tiempo 2: 461 segundos

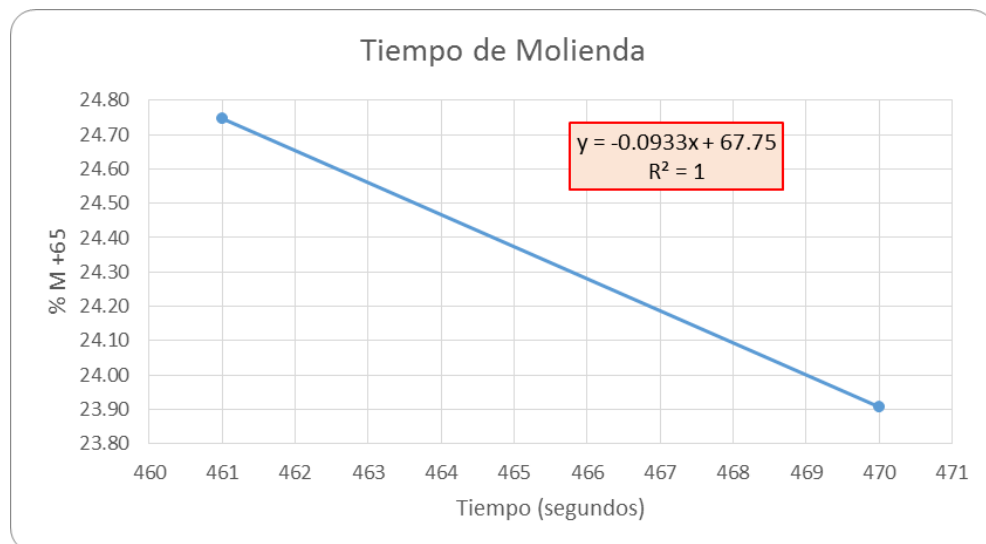
**Tabla 10:** Análisis granulométrico de Muestra 2

Mallas	Muestra 2	% Retenido	% Retenido Acumulado
35	0.95	0.05	0.05
48	128.69	7.19	7.25
65	313.05	17.50	24.75
100	237.41	13.27	38.02
150	137.05	7.66	45.68
200	118.87	6.64	52.32
270	72.89	4.07	56.40
-270	780.09	43.60	100.00
<b>Peso Malla 65</b>	442.69	24.75	
<b>TOTAL</b>	1789	100.00	

Con los tiempos 1 y 2, se calculará por interpolación el tiempo 3 que será el tiempo de molienda para todas las muestras.

**Tabla 11:** Interpolación de tiempos de molienda

X (tiempo)	Y (% retenido)
461	24.75
X	25
470	23.91



**Figura 22:** Gráfica de interpolación

$y = 458.27 \text{ segundos}$

### 3.2. Pruebas de flotación

Se realizaron en total 08 (ocho) pruebas de flotación con las siguientes condiciones de operación:

- **pH de flotación: 9.5**

\*Se sabe que el pH óptimo de flotación del molibdeno se encuentra en el rango de 7 a 8 mientras que el pH óptimo para cobre está en el rango de 9 a 11.

Se utilizó el pH de 9.5 en todas las pruebas de flotación colectiva para tener valores altos de recuperación de cobre y que el molibdeno no se pierda y pueda recuperarse en las etapas de flotación selectiva.

- **Distribución de pruebas de flotación:**

*Tabla 12: Distribución de pruebas de flotación*

	<b>Colector</b>	<b>Espumante</b>
<b>Test 1</b>	MX - 7031	A - 68
<b>Test 2</b>	MX - 7031	A - 68
<b>Test 3</b>	MX - 7031	F - 507
<b>Test 4</b>	MX - 7031	F - 507
<b>Test 5</b>	MX - 7031	Orefloat F- 410
<b>Test 6</b>	MX - 7031	Orefloat F- 410
<b>Test 7</b>	MX - 7031	ER - 370
<b>Test 8</b>	MX - 7031	ER - 370

- **Dosificación:** La dosificación varía de acuerdo con la densidad de cada reactivo.

**Tabla 13:** Dosificación de reactivos en la etapa de molienda

	Reactivo	G.E.	DP (gr/tm)	Dosificación
Colector Primario	MX - 7031	0.9228	22.5	43.6 $\mu$ l
Espumantes	A - 68	0.9375	7.95	15.2 $\mu$ l
	F - 507	0.9535		14.9 $\mu$ l
	Orefloat F - 410	0.9418		15.1 $\mu$ l
	ER - 370	0.9706		14.7 $\mu$ l
Colector Secundario	Z - 6	0.5	5.6	2.0 ml

**Tabla 14:** Dosificación de reactivos en la etapa de flotación

		LAMAS		ARENAS	
		DP (gr/tm)	Dosificación	DP (gr/tm)	Dosificación
<b>Primera parte</b>					
A - 68	0.9375	15.9	15.1 $\mu$ l	21.5	24.6 $\mu$ l
F - 507	0.9535		14.9 $\mu$ l		24.2 $\mu$ l
Orefloat F - 410	0.9418		15.1 $\mu$ l		24.5 $\mu$ l
ER - 370	0.9706		14.7 $\mu$ l		23.8 $\mu$ l
Xantato	0.5	16.8	4.0 ml	11.2	2.0 ml
<b>Segunda parte</b>					
A - 68	0.9375	15.9	15.1 $\mu$ l	21.5	16.4 $\mu$ l
F - 507	0.9535		14.9 $\mu$ l		16.1 $\mu$ l
Orefloat F - 410	0.9418		15.1 $\mu$ l		16.3 $\mu$ l
ER - 370	0.9706		14.7 $\mu$ l		15.9 $\mu$ l
Xantato	0.5	16.8	2.0 ml	11.2	2.0 ml

- **Tiempo de flotación en lamas y arenas:**

**Tabla 15:** Tiempo de flotación

LAMAS		ARENAS	
12 minutos		8 minutos	
1 <sup>era</sup> parte	2 <sup>da</sup> parte	1 <sup>era</sup> parte	2 <sup>da</sup> parte
6 minutos	6 minutos	4 minutos	4 minutos

- **Paleteo:** cada 10 segundos
- **Presión de aire de las celdas de flotación:** 20 psi
- **Flujo de aire:**

*Tabla 16: Flujo de aire para cada espumante*

Espumante	Flujo de aire (lt/min)
A – 68	20 a 40
OREFLOAT – 410	20 a 35
ER – 370	20 a 60
F – 507	20 a 30

Se adjuntan imágenes de las pruebas de flotación



*Figura 23: Celda de flotación arenas*



*Figura 24: Celda de flotación lamas*

**Tabla 17:** Cabeza calculada Cu vs Cabeza analizada Cu

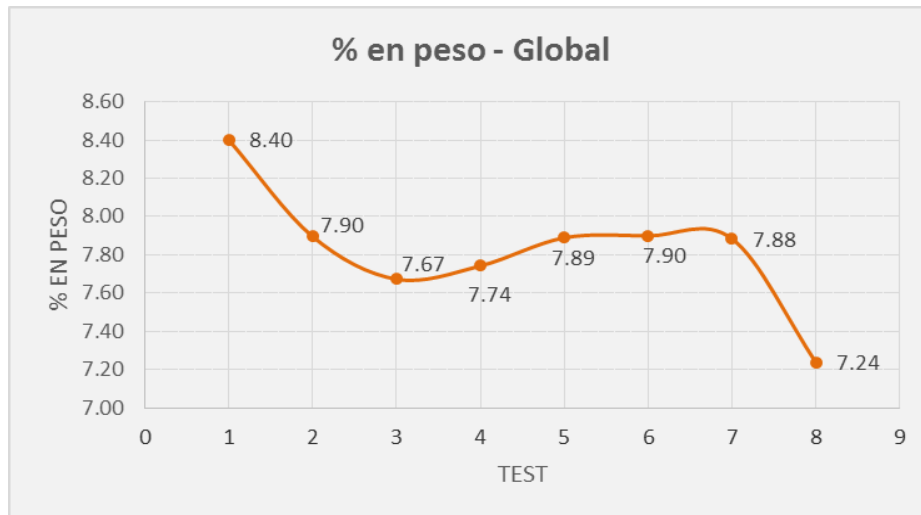
TEST	Cu calculada	Cu analizada	Diferencia	Mo calculada	Mo analizada	Diferencia
1	0.696	0.671	0.025	0.0231	0.0220	0.001
2	0.704	0.666	0.038	0.0236	0.0210	0.003
3	0.695	0.682	0.013	0.0222	0.0220	0.000
4	0.694	0.658	0.036	0.0246	0.0220	0.003
5	0.695	0.674	0.021	0.0224	0.0220	0.000
6	0.715	0.671	0.044	0.0221	0.0220	0.000
7	0.713	0.669	0.044	0.0221	0.0210	0.001
8	0.696	0.670	0.026	0.0216	0.0200	0.002
<b>Promedio</b>	0.701	0.670		0.023	0.022	



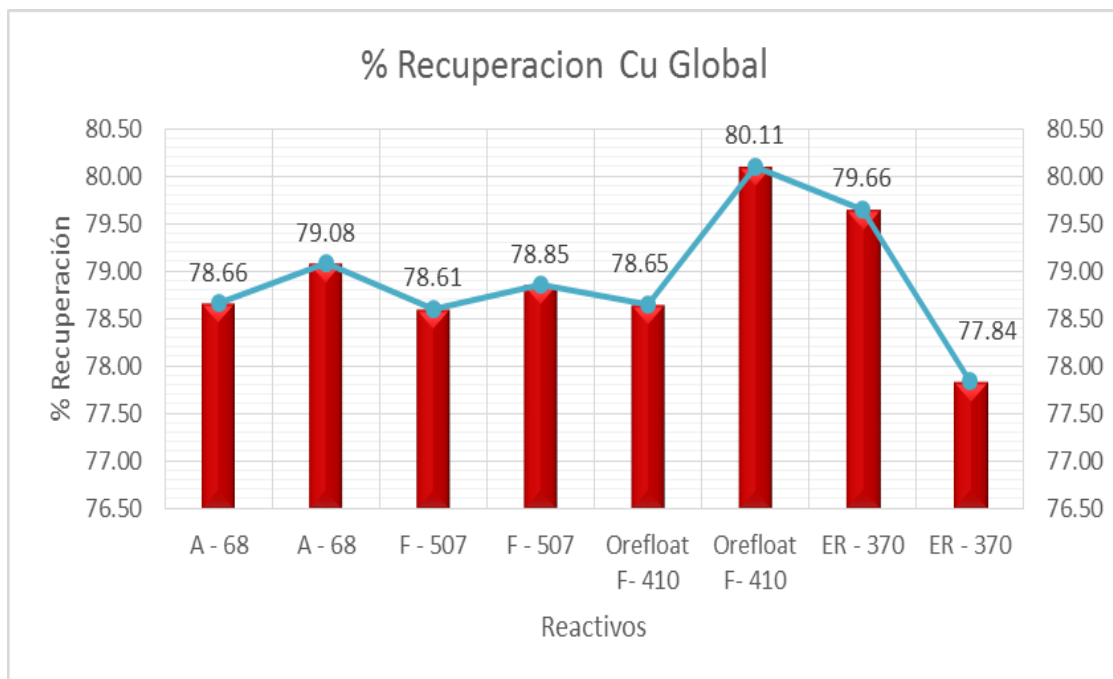
**Figura 25:** Diferencia % en peso Arenas – Muestras 1 al 8



**Figura 26:** Diferencia % en peso Lamas – Muestras 1 al 8

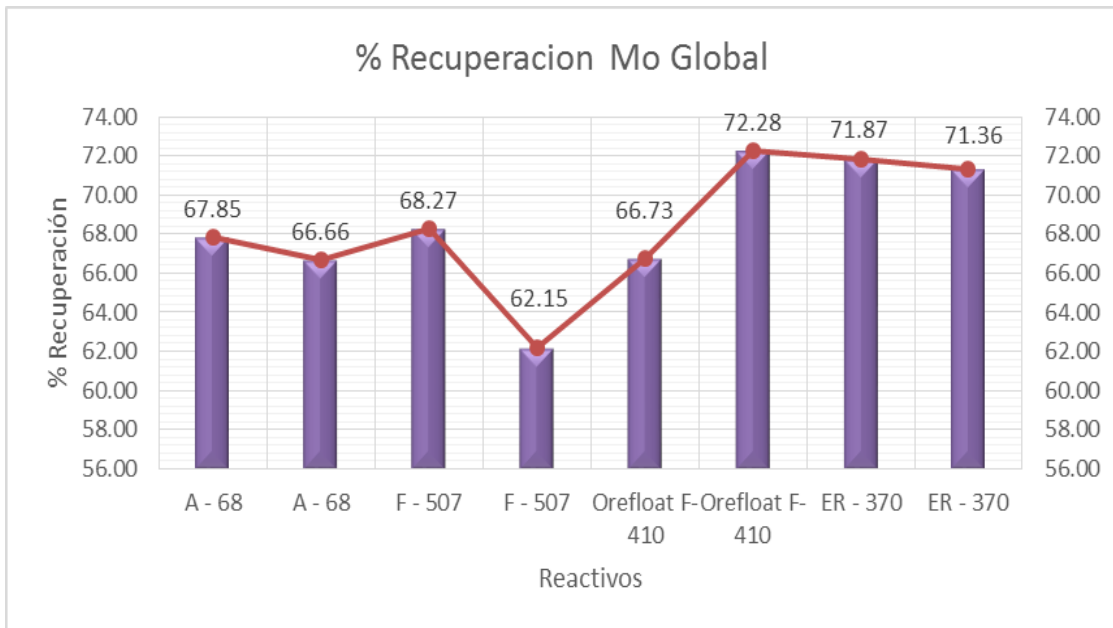


**Figura 27:** % en peso Global (Arenas y Lamas)

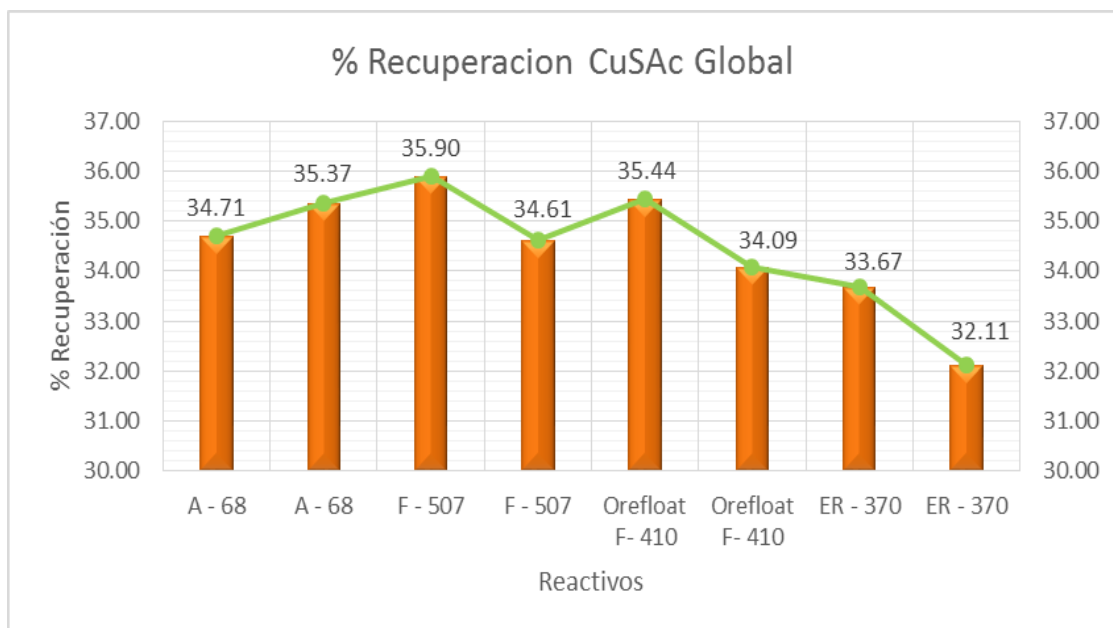


**Figura 28:** Recuperación Global Cobre

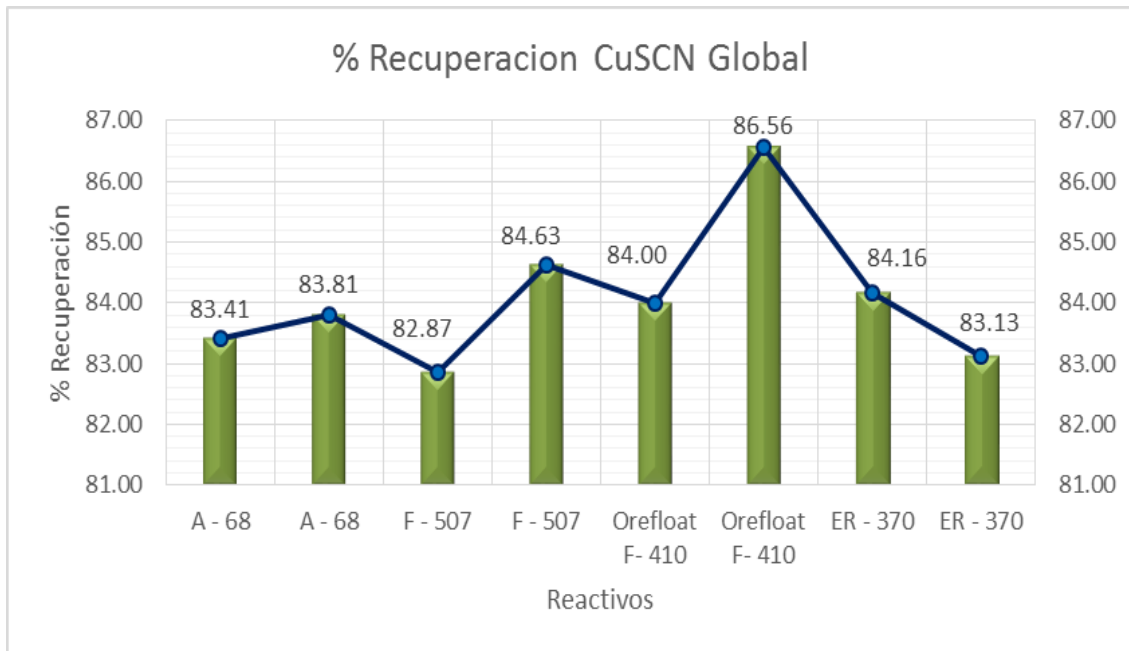




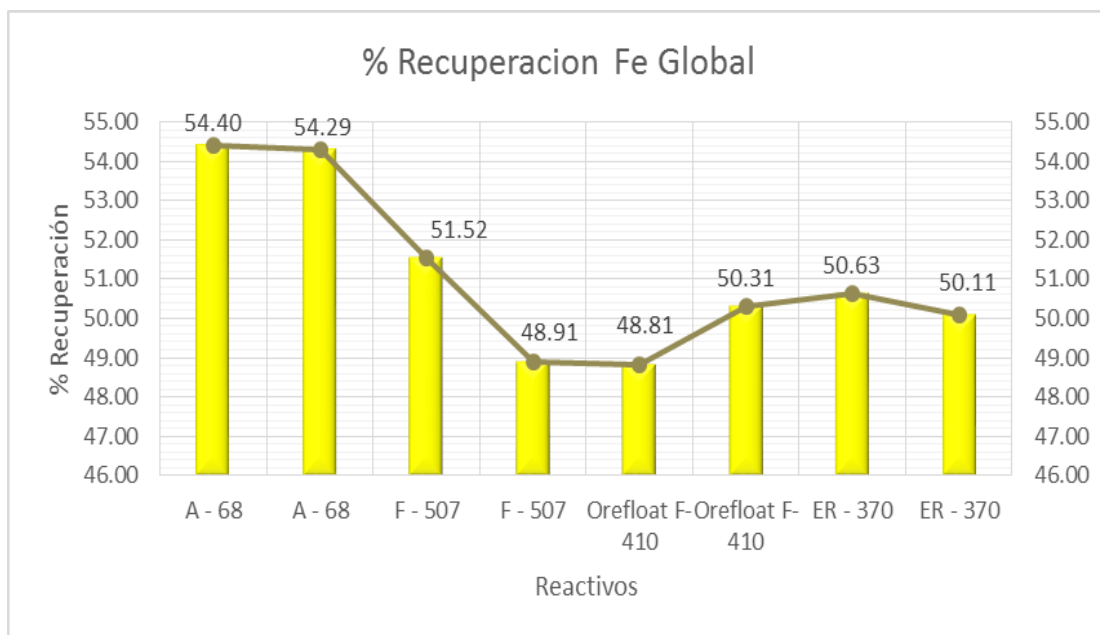
**Figura 29:** Recuperación Global Molibdeno



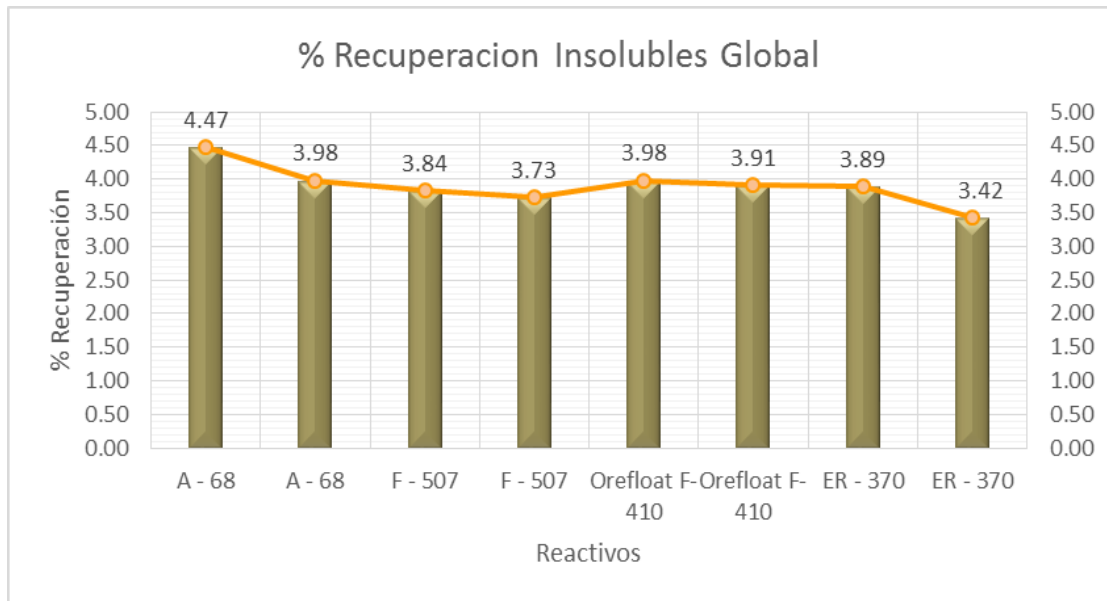
**Figura 30:** Recuperación Global CuSAc



**Figura 31:** Recuperación Global CuSCN

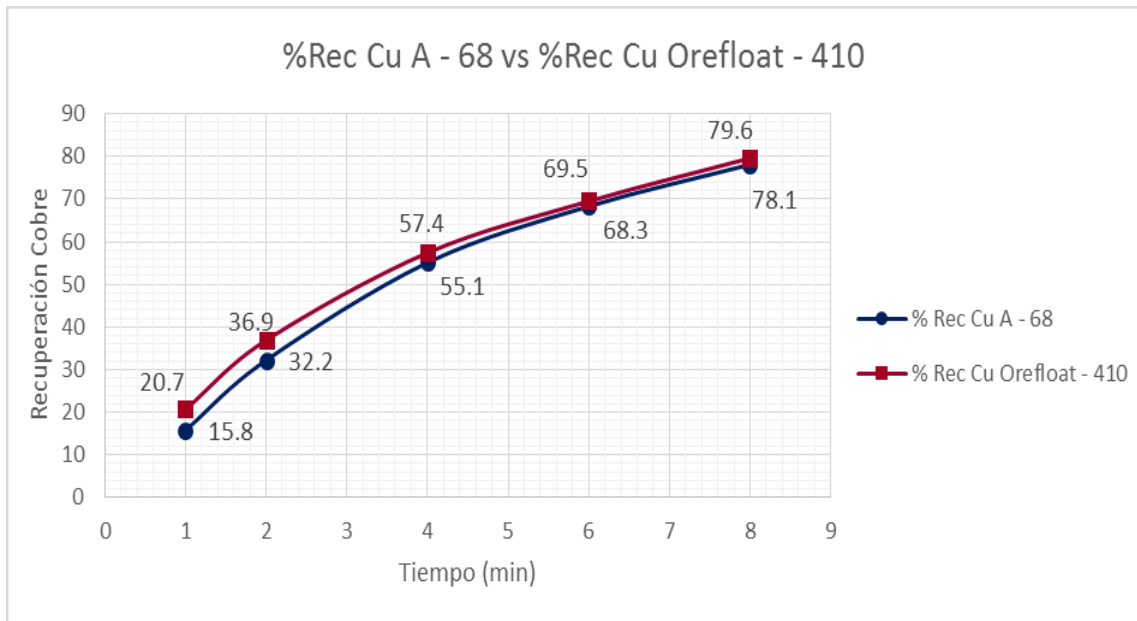


**Figura 32:** Recuperación Global Fe

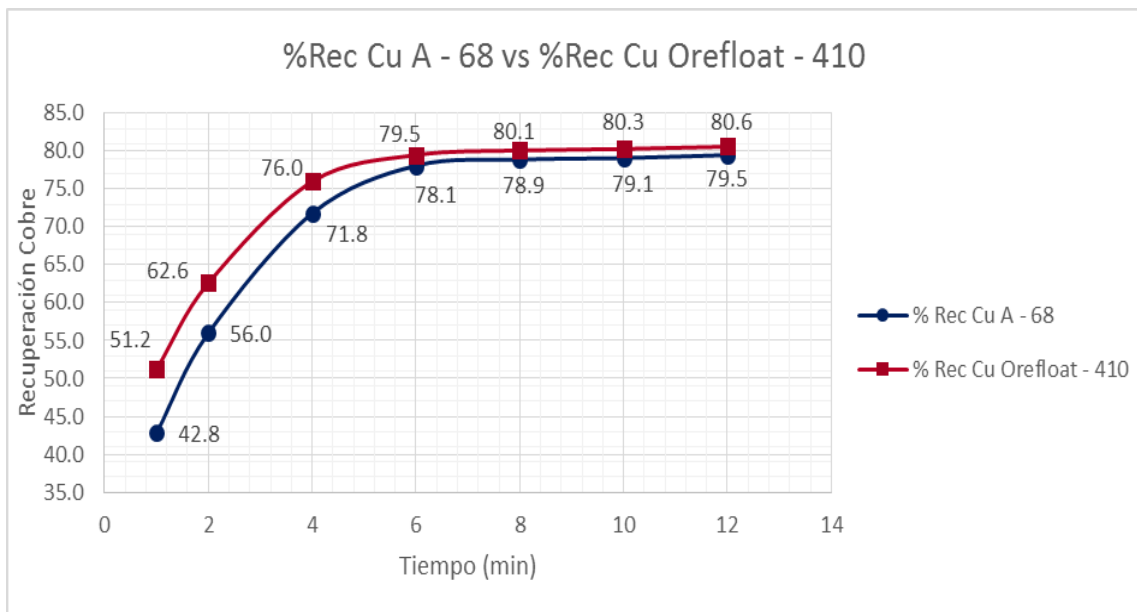


**Figura 33:** Recuperación Global Insolubles

Algo muy importante que mencionar, es la agresividad y colchón de espuma que se observó en la prueba con el reactivo Orefloat F- 410. Al realizar la comparación con el espumante estándar, la espuma se encontraba más cargada visualmente y con un tamaño de burbuja más pequeño. Por tal motivo se realizó una cinética comparativa entre estos 02 reactivos.



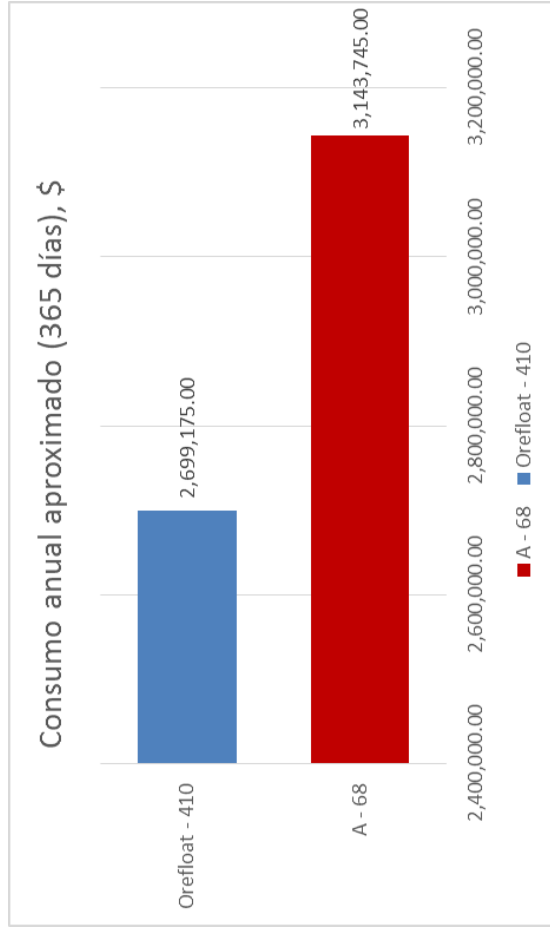
**Figura 34:** Cinética de flotación en arenas



**Figura 35:** Cinética de flotación en lamas

**Tabla 18:** Proyección económica A-68 vs Orefloat - 410

Reactivos	Costo aproximado expresado en dólares americanos \$, Kg	Consumo de espumante promedio Arenas y Lamas, gr/Tn	Tonelaje diario aproximado en molienda	Consumo diario aproximado, \$	Consumo mensual aproximado (30 días), \$	Consumo anual aproximado (365 días), \$
A - 68	5.5	18	87000	8,613.00	258,390.00	3,143,745.00
Orefloat - 410	5.0*	16 - 17**		7,395.00	221,850.00	2,699,175.00



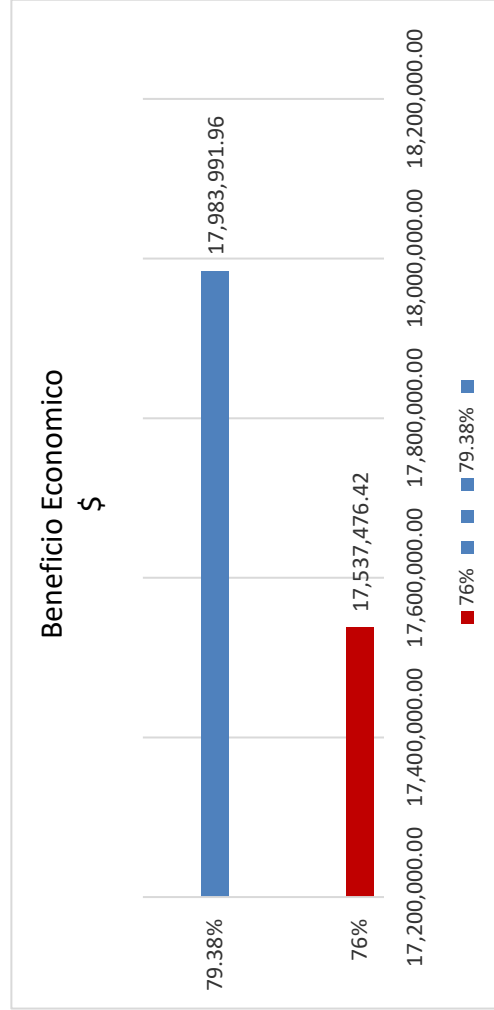
\* El precio según fuentes internas, aún se encuentran en negociaciones para fijar el precio.

\*\*Se estima que el reactivo en prueba tenga menor consumo en planta.

Tabla 19: Beneficio de económica A-68 vs Orefloat - 410

BALANCE METALÚRGICO									
Recuperación	Producto	Peso ton/día	% Peso	Ensayo Cu	Contenido Metalico Cu	% Distribución	Beneficio Economico \$		
76%	Cabeza	87000	100	0.678	589.86	100.00			
	Concentrado Cobre	1771.46	2.04	25.6	453.49	76.88	17,537,476.42		
79.38%	Relave	85228.54	97.96	0.16	136.37	23.12			
	Cabeza	87000	100	0.678	589.86	100.00			
	Concentrado Cobre	1816.56	2.09	26	472.31	80.07	17,983,991.96		
	Relave	85183.44	97.91	0.138	117.55	19.93			

Precio Cu \$/TM (Valor Actual) =9900\$





## V. CONCLUSIONES

Luego de haber realizados las pruebas experimentales de flotación de minerales con diferentes espumantes y a diferentes rangos de flujo de aire se llega a las siguientes conclusiones:

1. Los reactivos utilizados y dosificación son los siguientes: Espumante A-68 y su dosificación es 86.4  $\mu\text{l}$  y su % de recuperación promedio es de 78.87% Cu, El espumante F-507 y su dosificación es 85.0  $\mu\text{l}$  y su % recuperación promedio es de 78.73%, El espumante OREFLOAT F-410 y su dosificación es 86.1  $\mu\text{l}$  y su % de recuperación promedio es 79.38% Cu, El espumante ER-370 y su dosificación es 83.8  $\mu\text{l}$  y su % de recuperación promedio es 78.75% Cu. Donde se obtuvo mayor % de recuperación de cobre es el espumante OREFLOAT F-410 y su dosificación es de 85.0  $\mu\text{l}$  que obtuvo 79.38% Cu superando en 3.38 punto porcentuales a la recuperación actual que es de 76%, Se concluye que el espumante OREFLOAT – 410 es más agresivo y recupera un mayor porcentaje de cobre comparado con el espumante estándar. Tanto para lamas y arenas, la presión de aire con 20 psi, dosificación de colector primario MX-7031, colector secundario Z – 6, paletado cada 10 segundos en todas las pruebas por igual.
2. El flujo de aire utilizados son los siguientes: Espumante A-68, el flujo es de 20 a 40 It/min y su % de recuperación promedio es de 78.87% Cu, El espumante F-507, el flujo de aire es 20 a 35 It/min y su % recuperación promedio es de 78.73%, El espumante OREFLOAT F-410, el flujo de aire es de 20 a 60 It/min y su % de recuperación promedio es 79.38% Cu, El espumante ER-370, el flujo de aire es de 20 a 30 It/min y su % de recuperación promedio es 78.75% Cu. Donde se obtuvo mayor % de recuperación de cobre es el espumante OREFLOAT F-410, el



flujo de aire es de 20 a 60 It/min que obtuvo 79.38% Cu. Se concluye que el flujo de aire es el más adecuado para elevar la cama de espumas, mantiene a un tamaño de burbujas y estable en la flotación.





## VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el consumo de cal de acuerdo con la ley de cabeza de Fierro en el mineral.
- Realizar más pruebas utilizando los minerales de los diferentes niveles de mina que aún existen para obtener la mejor performance metalúrgica en la flotación.
- Debido al estrecho rango de pH para la flotación de Cobre y Molibdeno, se recomienda la instalación de medidores de pH en la caja de pulpas y el producto del acondicionador.
- Se debe realizar frecuentemente investigaciones en el laboratorio, usualmente antes de hacer la prueba de flotación, se debe llegar a cabo detallados estudios mineralógicos sobre la muestra del mineral con el objetivo de determinar la mineralogía presente y la relación para genética que existe entre ellos.

## CONTRIBUCIONES

El presente proyecto de investigación sobre la evaluación de reactivos de flotación para la recuperación de cobre es una contribución importante en el desarrollo tecnológico y experimental en la metalurgia extractiva, siendo este documento una fuente en la cual se podrá encontrar una probabilidad de optimizar la recuperación de cobre y la calidad del concentrado teniendo en cuenta el costo vs beneficio de los reactivos a utilizar.

Se espera lograr los siguientes impactos

- a. Impactos en Ciencia y Tecnología.** Con la evaluación de los reactivos para la flotación de minerales, se optimizará y modernizará los circuitos de flotación.
- b. Impactos económicos.** Los impactos económicos que se logrará es reducir los consumos de reactivos utilizados en la flotación permitiendo minimizar los gastos



en el proceso y se espera aumentar la recuperación de cobre y mejorar la calidad de concentrado obteniendo mayores beneficios económicos.

**c. Impactos sociales.** Es posible la creación de nuevos puestos de trabajo, facilitando el desarrollo de la Región Macro Sur que cada vez se convierte en el primer gestor de este tipo de actividad minera. Efecto que se multiplicaría en el nivel de ingresos, al generar actividades económicas distintas a las tradicionales, tanto directas como indirectas, mejorando; accesos, medios de comunicación, niveles de educación, avances en la atención de la salud, entre otros.

**d. Impactos ambientales.** La tecnología seleccionada para concentración por espumas de cobre se realizará tomando en cuenta el cuidado del medio ambiente, de modo que se procesaran dentro de las normas ISO 14000 en lo concerniente al medio ambiente y las normas OHSAS 18000 para la salud de los trabajadores. En este ítem, es de particular importancia el riesgo de la salud de los propios trabajadores, la población en general, y el medio ambiente en la zona de impacto (flora y fauna).



## VII. REFERENCIAS

1. Azañero, A., (1999). “*Evaluación de reactivos de flotación*”. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica Volumen 2, N° 4 (Pág. 77 – 94). Lima – Perú.
2. Bulatovic, Srdjan M., (2007). “*Handbook of flotation reagents*”. Elsevier Science & Technology Books, Vol. 1.
3. Cárcamo, H., (2003). “*Operaciones Mecánicas, Apunte para alumnos de Ingeniería Metalúrgica*”. Universidad Católica del Norte, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas. Antofagasta – Chile.
4. Castro, S., (2003). “*Flotación – Fundamentos & Aplicaciones*”. Universidad de Concepción, Concepción, Bio Bio, Chile.
5. García – Zuñiga, H., (1935). “*La eficiencia de la flotación es una función exponencial del tiempo*”. Boletín Minero, Sociedad Nacional de Minería, Volumen 47, pp 83 – 86. Santiago – Chile.
6. Klassen, V.I., and Mokrousov, V.A., (1963). “*An Introduction to the Theory of Flotation*, Butterworth, London (English Translation).
7. Laskowski, J.S., and Pugh, R.J., (1992). “*Dispersion Stability and Dispersing Agents, Colloid Chemistry in Mineral Processing*”, Vol. 12.
8. Linares, N., (2004). “*Procesamiento de minerales – Mineralurgia II*”. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
9. Minera La Escondida, (2005). “*Manual del Curso: Flotación de Minerales*”. Centro de Entrenamiento Industrial y Minero, Fundación Educativa Escondida. Antofagasta – Chile.
10. Mortenson, M. (1999). “*Graphical analysis of flotation test results*”. Mining and Metallurgy Volumen 12 (Página 946).



11. Muñiz, J., (1985). “*Evaluación y selección de reactivos de flotación para minerales de cobre y molibdeno*”. Unidad de Producción Cerro Verde. Arequipa - Perú.
12. Pavez, O., (2012). “*Concentración de Minerales*”. Universidad de Atacama, Copiapó, Atacama, Chile.
13. Quiroz, Iván., (1986). “*Ingeniería Metalúrgica, Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
14. Riggs, F.W., (1986). “*Frothers-An Operator’s Guide in Chemical Reagents in the Mineral Phenomena Industry*”, SME.
15. Rizzo, R., (2003). “*Concentrabilidad diferencial*”. En INCITEMI (Ed.), Revista del Instituto Científico y Tecnológico Minero (Pág. 5 – 15). Lima – Perú.
16. Romero, A., Flores, S., Arévalo, W., (2010). “*Análisis granulométrico para la producción industrial de cobre a partir de la calcopirita*”. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial Volumen 12, N° 2 (Pág. 21 – 26). Lima – Perú.
17. Shaw, D., (1979). “*Evaluación del Dodecil Mer Captand como colector para menas de sulfuros*”. XIX conferencia Anual de Metalurgistas. Sudbury, Ontario, Canadá.
18. Southern Perú., (1999). “*Módulo de Capacitación de Flotación de Cobre de la Concentradora Cuajone*”. Southern Perú Copper Corporation. Moquegua – Perú.
19. Sutulov, A., (1963). “*Flotación de minerales*” – Instituto de Investigaciones tecnológicas, Univesidad de Concepción, Chile.
20. Tapia, F., (2017). “*Flotación, fundamentos y aplicaciones*” – Universidad Católica del Norte, Chile.
21. Yianatos, J., (2005). “*Flotación de minerales*” – Departamento de procesos químicos, biotecnológicos y ambientales, Universidad técnica Federico Santa María, Chile.
22. Wills, Barry A., Napier-Munn, Tim., (2006). “*Mineral Processing Technology*”. Elsevier Science & Technology Books, 7<sup>th</sup> Edition.



# ANEXOS



## Anexo 1: Prueba de flotación 01

PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS								
						Muestra		
FECHA	-	Colector MX - 7031 y Espumante A-68				Mineral Alimentación Molinos		
CONDICIONES OPERATIVAS								
MOLIENDA		DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)						
+65M	25%	REACTIVOS (gr/tm)	MOLIENDA	ARENAS		LAMAS		TOTAL REACTIVO (gr/tm)
FLOTACION ARENAS				INICIO	MITAD	INICIO	MITAD	
PH	9.5	MX - 7031	22.5					22.5
RPM	2500	A-68	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
FLOTACION LAMAS		Z - 6	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
PH	9.5	SPLIT		56	44			
RPM	2500							
CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION								
LAMAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
ARENAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
BALANCE METALURGICO								
FLOTACION ARENAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.557	0.018	0.039	0.158	3.11	86.24	
CONC ARENAS	10.1	4.280	0.097	0.195	1.250	19.76	49.64	
COLA ARENAS	89.9	0.140	0.009	0.021	0.036	1.25	90.34	
RECUPERACION, %		77.4	54.7	51.0	79.6	63.9	5.8	
FLOTACION LAMAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.872	0.030	0.117	0.256	3.23	80.9	
CONC LAMAS	6.3	11.060	0.368	0.520	3.520	21.96	34.6	
COLA LAMAS	93.7	0.189	0.007	0.090	0.037	1.97	84.0	
RECUPERACION, %		79.7	77.9	27.9	86.4	42.8	2.7	
FLOTACION ROUGHER COMBINADO								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.696	0.023	0.073	0.201	3.16	83.9	
CONC ROUGHER	8.4	6.515	0.186	0.302	1.998	20.49	44.7	
COLA ROUGHER	91.6	0.162	0.008	0.052	0.036	1.57	87.5	
RECUPERACION, %		78.7	67.8	34.7	83.4	54.4	4.5	
CABEZA ANALIZADA		0.671	0.022	0.079	0.199	2.85	84.8	



## Anexo 2: Prueba de flotación 02

PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS								
						Muestra		
FECHA	-	Colector MX - 7031 y Espumante A - 68			Mineral Alimentación Molinos			
CONDICIONES OPERATIVAS								
MOLIENDA		DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)						
+65M	25%	REACTIVOS (gr/tm)	MOLIENDA	ARENAS		LAMAS		TOTAL REACTIVO (gr/tm)
				INICIO	MITAD	INICIO	MITAD	
		MX - 7031	22.5					22.5
		A - 68	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
		Z - 6	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
FLOTACION ARENAS		SPLIT						
PH	9.5			56	44			
RPM	2500							
FLOTACION LAMAS		CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION						
PH	9.5	LAMAS		ESPUMACION : BUENA				
RPM	2500	ARENAS		MINERALIZACION : BUENA				
				ESPUMACION : BUENA				
				MINERALIZACION : BUENA				
BALANCE METALURGICO								
FLOTACION ARENAS								
LEYES, %								
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.560	0.018	0.041	0.163	3.09	86.22	
CONC ARENAS	9.8	4.410	0.101	0.212	1.330	20.16	49.04	
COLA ARENAS	90.2	0.142	0.009	0.022	0.036	1.23	90.26	
RECUPERACION, %		77.1	55.0	51.2	80.1	64.0	5.6	
FLOTACION LAMAS								
LEYES, %								
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.888	0.031	0.116	0.258	3.23	81.1	
CONC LAMAS	5.5	13.120	0.425	0.602	4.110	25.10	27.0	
COLA LAMAS	94.5	0.182	0.008	0.088	0.036	1.97	84.2	
RECUPERACION, %		80.6	75.4	28.3	86.8	42.4	1.8	
FLOTACION ROUGHER COMBINADO								
LEYES, %								
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.704	0.024	0.074	0.205	3.15	84.0	
CONC ROUGHER	7.9	7.056	0.199	0.330	2.174	21.66	42.3	
COLA ROUGHER	92.1	0.160	0.009	0.052	0.036	1.56	87.5	
RECUPERACION, %		79.1	66.7	35.4	83.8	54.3	4.0	
CABEZA ANALIZADA		0.666	0.021	0.076	0.200	2.82	84.9	



### Anexo 3: Prueba de flotación 03

PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS								
						Muestra		
FECHA	-	Colector MX - 7031 y Espumante F - 507			Mineral Alimentación Molinos			
CONDICIONES OPERATIVAS								
MOLIENDA		DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)						
+65M	25%	REACTIVOS (gr/tm)	MOLIENDA	ARENAS		LAMAS		TOTAL REACTIVO (gr/tm)
FLOTACION ARENAS				INICIO	MITAD	INICIO	MITAD	
PH	9.5	MX - 7031	22.5					22.5
RPM	2500	F - 507	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
FLOTACION LAMAS		Z - 6	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
PH	9.5	SPLIT		56			44	
RPM	2500							
CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION								
LAMAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
ARENAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
BALANCE METALURGICO								
FLOTACION ARENAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.552	0.018	0.041	0.154	3.18	86.09	
CONC ARENAS	9.7	4.380	0.097	0.225	1.260	20.16	49.14	
COLA ARENAS	90.3	0.141	0.009	0.021	0.035	1.36	90.06	
RECUPERACION, %		76.9	53.7	53.5	79.5	61.4	5.5	
FLOTACION LAMAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.874	0.028	0.115	0.254	3.34	81.0	
CONC LAMAS	5.1	13.600	0.435	0.627	4.230	25.78	24.9	
COLA LAMAS	94.9	0.185	0.006	0.087	0.039	2.12	84.0	
RECUPERACION, %		79.9	79.7	28.1	85.5	39.7	1.6	
FLOTACION ROUGHER COMBINADO								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.695	0.022	0.074	0.198	3.25	83.8	
CONC ROUGHER	7.7	7.123	0.198	0.345	2.143	21.83	41.9	
COLA ROUGHER	92.3	0.161	0.008	0.051	0.037	1.71	87.3	
RECUPERACION, %		78.6	68.3	35.9	82.9	51.5	3.8	
CABEZA ANALIZADA		0.682	0.022	0.077	0.199	3.11	84.0	





### Anexo 4: Prueba de flotación 04

PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS								
						Muestra		
FECHA	-	Colector MX - 7031 y Espumante F - 507			Mineral Alimentación Molinos			
CONDICIONES OPERATIVAS								
MOLIENDA		DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)						
+65M	25%	REACTIVOS (gr/tm)	MOLIENDA	ARENAS		LAMAS		TOTAL REACTIVO (gr/tm)
FLOTACION ARENAS				INICIO	MITAD	INICIO	MITAD	
PH	9.5	MX - 7031	22.5					22.5
RPM	2500	F - 507	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
FLOTACION LAMAS		Z - 6	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
PH	9.5	SPLIT		56			44	
RPM	2500							
CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION								
LAMAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
ARENAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
BALANCE METALURGICO								
FLOTACION ARENAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.554	0.019	0.036	0.158	3.35	85.25	
CONC ARENAS	9.6	4.400	0.098	0.188	1.340	19.85	46.64	
COLA ARENAS	90.4	0.145	0.011	0.020	0.032	1.59	89.36	
RECUPERACION, %		76.3	48.6	50.0	81.7	57.0	5.3	
FLOTACION LAMAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.870	0.031	0.108	0.260	3.52	80.2	
CONC LAMAS	5.4	13.000	0.418	0.563	4.170	25.55	25.1	
COLA LAMAS	94.6	0.176	0.009	0.082	0.036	2.26	83.3	
RECUPERACION, %		80.9	72.6	28.2	86.9	39.3	1.7	
FLOTACION ROUGHER COMBINADO								
		LEYES, %						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.694	0.025	0.068	0.203	3.42	83.0	
CONC ROUGHER	7.7	7.071	0.197	0.304	2.219	21.62	40.0	
COLA ROUGHER	92.3	0.159	0.010	0.048	0.034	1.90	86.6	
RECUPERACION, %		78.9	62.1	34.6	84.6	48.9	3.7	
CABEZA ANALIZADA		0.658	0.022	0.076	0.181	3.20	83.8	



### Anexo 5: Prueba de flotación 05

PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS								
						Muestra		
FECHA	-	Colector MX - 7031 y Orefloat - 410				Mineral Alimentación Molinos		
CONDICIONES OPERATIVAS								
MOLIENDA		DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)						
+65M	25%	REACTIVOS (gr/tm)	MOLIENDA	ARENAS		LAMAS	TOTAL REACTIVO (gr/tm)	
				INICIO	MITAD	INICIO		MITAD
FLOTACION ARENAS		MX - 7031	22.5				22.5	
PH	9.5	Orefloat - 410	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
RPM	2500	Z - 6	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
FLOTACION LAMAS		SPLIT		55	45			
PH	9.5							
RPM	2500							
CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION								
LAMAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
ARENAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
BALANCE METALURGICO								
FLOTACION ARENAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	%PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.547	0.017	0.036	0.154	3.31	85.21	
CONC ARENAS	10.0	4.200	0.092	0.184	1.260	18.96	49.36	
COLA ARENAS	90.0	0.140	0.009	0.020	0.031	1.57	89.20	
RECUPERACION, %		77.0	53.2	50.6	81.9	57.4	5.8	
FLOTACION LAMAS								
		LEYES, %						
MUESTRA	%PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.879	0.029	0.111	0.256	3.50	79.9	
CONC LAMAS	5.2	13.400	0.420	0.621	4.180	25.86	23.9	
COLA LAMAS	94.8	0.186	0.007	0.083	0.039	2.26	83.0	
RECUPERACION, %		79.9	76.8	29.3	85.6	38.8	1.6	
FLOTACION ROUGHER COMBINADO								
		LEYES, %						
MUESTRA	%PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.695	0.022	0.070	0.200	3.40	82.8	
CONC ROUGHER	7.9	6.928	0.189	0.314	2.126	21.01	41.8	
COLA ROUGHER	92.1	0.161	0.008	0.049	0.035	1.89	86.3	
RECUPERACION, %		78.6	66.7	35.4	84.0	48.8	4.0	
CABEZA ANALIZADA		0.674	0.022	0.082	0.185	3.11	83.6	



### Anexo 6: Prueba de flotación 06

<b>PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS</b>							
			<b>Muestra</b>				
<b>FECHA</b>	-	<b>Colector MX - 7031 y Orefloat - 410</b>	<b>Mineral Alimentación Molinos</b>				
<b>CONDICIONES OPERATIVAS</b>							
<b>MOLIENDA</b>		<b>DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)</b>					
+65M	25%						
<b>FLOTACION ARENAS</b>		<b>ARENAS</b>					
PH	9.5	INICIO	MITAD				
RPM	2500						
<b>FLOTACION LAMAS</b>		<b>LAMAS</b>					
PH	9.5	INICIO	MITAD				
RPM	2500						
		<b>TOTAL REACTIVO (gr/tm)</b>					
<b>MX - 7031</b>	22.5		22.5				
<b>Orefloat - 410</b>	8.0	12.9	8.6				
<b>Z - 6</b>	5.6	5.6	5.6				
		11.2	5.6				
			33.6				
<b>SPLIT</b>		56	44				
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA FLOTACION</b>							
LAMAS	ESPUMACION : BUENA						
	MINERALIZACION : BUENA						
ARENAS	ESPUMACION : BUENA						
	MINERALIZACION : BUENA						
<b>BALANCE METALURGICO</b>							
<b>FLOTACION ARENAS</b>							
<b>LEYES, %</b>							
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins
CABEZA	100.0	0.562	0.017	0.034	0.167	3.32	85.37
CONC ARENAS	9.6	4.490	0.103	0.174	1.440	20.09	47.91
COLA ARENAS	90.4	0.144	0.008	0.019	0.032	1.54	89.36
RECUPERACION, %		76.8	57.8	49.3	82.7	58.1	5.4
<b>FLOTACION LAMAS</b>							
<b>LEYES, %</b>							
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins
CABEZA	100.0	0.907	0.028	0.100	0.271	3.52	80.3
CONC LAMAS	5.7	13.060	0.410	0.482	4.220	25.13	27.0
COLA LAMAS	94.3	0.167	0.005	0.077	0.030	2.20	83.5
RECUPERACION, %		82.6	83.3	27.6	89.5	41.0	1.9
<b>FLOTACION ROUGHER COMBINADO</b>							
<b>LEYES, %</b>							
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins
CABEZA	100.0	0.715	0.022	0.063	0.213	3.41	83.1
CONC ROUGHER	7.9	7.251	0.202	0.273	2.336	21.71	41.2
COLA ROUGHER	92.1	0.154	0.007	0.045	0.031	1.84	86.7
RECUPERACION, %		80.1	72.3	34.1	86.6	50.3	3.9
CABEZA ANALIZADA		0.671	0.022	0.070	0.175	3.16	83.9



### Anexo 7: Prueba de flotación 07

PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS								
						Muestra		
FECHA	-	Colector MX - 7031 y Espumante ER - 370			Mineral Alimentación Molinos			
CONDICIONES OPERATIVAS								
MOLIENDA		DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)						
+65M	25%	REACTIVOS (gr/tm)	MOLIENDA	ARENAS		LAMAS	TOTAL REACTIVO (gr/tm)	
FLOTACION ARENAS				INICIO	MITAD	INICIO		MITAD
PH	9.5	MX - 7031	22.5				22.5	
RPM	2500	ER - 370	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
FLOTACION LAMAS		Z - 6	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
PH	9.5	SPLIT		56	44			
RPM	2500							
CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION								
LAMAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
ARENAS	ESPUMACION : BUENA							
	MINERALIZACION : BUENA							
BALANCE METALURGICO								
FLOTACION ARENAS								
LEYES, %								
MUESTRA	%PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.564	0.018	0.035	0.167	3.34	85.24	
CONC ARENAS	9.3	4.590	0.103	0.179	1.430	20.64	46.88	
COLA ARENAS	90.7	0.152	0.009	0.020	0.038	1.57	89.17	
RECUPERACION, %		75.6	53.9	47.8	79.4	57.4	5.1	
FLOTACION LAMAS								
LEYES, %								
MUESTRA	%PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.900	0.028	0.100	0.271	3.46	79.9	
CONC LAMAS	6.1	12.170	0.388	0.447	3.880	23.98	29.5	
COLA LAMAS	93.9	0.164	0.004	0.077	0.035	2.12	83.2	
RECUPERACION, %		82.9	86.4	27.5	87.9	42.5	2.3	
FLOTACION ROUGHER COMBINADO								
LEYES, %								
MUESTRA	%PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.713	0.022	0.064	0.213	3.39	82.9	
CONC ROUGHER	7.9	7.201	0.201	0.271	2.274	21.79	40.9	
COLA ROUGHER	92.1	0.157	0.007	0.046	0.037	1.82	86.5	
RECUPERACION, %		79.7	71.9	33.7	84.2	50.6	3.9	
CABEZA ANALIZADA		0.669	0.021	0.072	0.177	3.18	83.5	



### Anexo 8: Prueba de flotación 08

<b>PRUEBAS DE FLOTACION SEPARACION ARENAS - LAMAS</b>								
						<b>Muestra</b>		
<b>FECHA</b>	-		<b>Colector MX - 7031 y Espumante ER - 370</b>			<b>Mineral Alimentación Molinos</b>		
<b>CONDICIONES OPERATIVAS</b>								
<b>MOLIENDA</b>		<b>DOSIFICACIÓN REACTIVOS (gr/tm)</b>						
+65M	25%	<b>REACTIVOS (gr/tm)</b>	<b>MOLIENDA</b>	<b>ARENAS</b>		<b>LAMAS</b>		<b>TOTAL REACTIVO (gr/tm)</b>
				<b>INICIO</b>	<b>MITAD</b>	<b>INICIO</b>	<b>MITAD</b>	
<b>FLOTACION ARENAS</b>		<b>MX - 7031</b>	22.5					22.5
PH	9.5	<b>ER - 370</b>	8.0	12.9	8.6	8.0	8.0	45.4
RPM	2500	<b>Z - 6</b>	5.6	5.6	5.6	11.2	5.6	33.6
<b>FLOTACION LAMAS</b>				<b>SPLIT</b>		56	44	
PH	9.5							
RPM	2500							
<b>CARACTERISTICAS DE LA FLOTACION</b>								
<b>LAMAS</b>		ESPUMACION : BUENA						
<b>ARENAS</b>		MINERALIZACION : BUENA						
<b>ARENAS</b>		ESPUMACION : BUENA						
<b>ARENAS</b>		MINERALIZACION : BUENA						
<b>BALANCE METALURGICO</b>								
<b>FLOTACION ARENAS</b>								
		<b>LEYES, %</b>						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.558	0.018	0.035	0.160	3.33	83.93	
CONC ARENAS	8.8	4.720	0.119	0.200	1.400	22.12	44.46	
COLA ARENAS	91.2	0.159	0.008	0.019	0.041	1.53	87.72	
RECUPERACION, %		<b>74.0</b>	<b>58.8</b>	<b>50.2</b>	<b>76.6</b>	<b>58.1</b>	<b>4.6</b>	
<b>FLOTACION LAMAS</b>								
		<b>LEYES, %</b>						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	100.0	0.872	0.027	0.105	0.265	3.36	79.9	
CONC LAMAS	5.3	13.350	0.412	0.485	4.410	25.31	26.9	
COLA LAMAS	94.7	0.175	0.005	0.084	0.033	2.13	82.9	
RECUPERACION, %		<b>81.0</b>	<b>82.2</b>	<b>24.4</b>	<b>88.2</b>	<b>39.9</b>	<b>1.8</b>	
<b>FLOTACION ROUGHER COMBINADO</b>								
		<b>LEYES, %</b>						
MUESTRA	% PESO	Cu T	Mo	CuSAc	CuSCN	Fe	Ins	
CABEZA	<b>100.0</b>	<b>0.696</b>	<b>0.022</b>	<b>0.066</b>	<b>0.206</b>	<b>3.34</b>	<b>82.2</b>	
CONC ROUGHER	<b>7.2</b>	<b>7.480</b>	<b>0.213</b>	<b>0.291</b>	<b>2.363</b>	<b>23.14</b>	<b>38.8</b>	
COLA ROUGHER	<b>92.8</b>	<b>0.166</b>	<b>0.007</b>	<b>0.048</b>	<b>0.037</b>	<b>1.80</b>	<b>85.6</b>	
RECUPERACION, %		<b>77.8</b>	<b>71.4</b>	<b>32.1</b>	<b>83.1</b>	<b>50.1</b>	<b>3.4</b>	
<b>CABEZA ANALIZADA</b>		<b>0.670</b>	<b>0.020</b>	<b>0.072</b>	<b>0.197</b>	<b>2.97</b>	<b>83.1</b>	



### Anexo 9: Análisis de laboratorio químico

MUESTRA		No	%Cu	% Mo	%CuSAc	%CuSCN	% Fe	% Ins
TEST 1	CABEZA	1	0.671	0.022	0.079	0.199	2.85	84.76
	CONC. ARENAS	2	4.28	0.097	0.195	1.25	19.76	49.64
	COLA ARENAS	3	0.140	0.009	0.021	0.036	1.25	90.34
	CONC. LAMAS	4	11.06	0.368	0.520	3.52	21.96	34.58
	COLA LAMAS	5	0.189	0.007	0.090	0.037	1.97	84.04
TEST 2	CABEZA	6	0.666	0.021	0.076	0.200	2.82	84.92
	CONC. ARENAS	7	4.41	0.101	0.212	1.33	20.16	49.04
	COLA ARENAS	8	0.142	0.009	0.022	0.036	1.23	90.26
	CONC. LAMAS	9	13.12	0.425	0.602	4.11	25.10	26.98
	COLA LAMAS	10	0.182	0.008	0.088	0.036	1.97	84.24
TEST 3	CABEZA	11	0.682	0.022	0.077	0.199	3.11	84.04
	CONC. ARENAS	12	4.38	0.097	0.225	1.26	20.16	49.14
	COLA ARENAS	13	0.141	0.009	0.021	0.035	1.36	90.06
	CONC. LAMAS	14	13.60	0.435	0.627	4.23	25.78	24.92
	COLA LAMAS	15	0.185	0.006	0.087	0.039	2.12	84.04
TEST 4	CABEZA	16	0.658	0.022	0.076	0.181	3.20	83.80
	CONC. ARENAS	17	4.40	0.098	0.188	1.340	19.85	46.64
	COLA ARENAS	18	0.145	0.011	0.020	0.032	1.59	89.36
	CONC. LAMAS	19	13.00	0.418	0.563	4.170	25.55	25.10
	COLA LAMAS	20	0.176	0.009	0.082	0.036	2.26	83.30
TEST 5	CABEZA	21	0.674	0.022	0.082	0.185	3.11	83.56
	CONC. ARENAS	22	4.20	0.092	0.184	1.260	18.96	49.36
	COLA ARENAS	23	0.140	0.009	0.020	0.031	1.57	89.20
	CONC. LAMAS	24	13.40	0.420	0.621	4.180	25.86	23.92
	COLA LAMAS	25	0.186	0.007	0.083	0.039	2.26	82.96
TEST 6	CABEZA	26	0.671	0.022	0.070	0.175	3.16	83.92
	CONC. ARENAS	27	4.49	0.103	0.174	1.440	20.09	47.91
	COLA ARENAS	28	0.144	0.008	0.019	0.032	1.54	89.36
	CONC. LAMAS	29	13.06	0.410	0.482	4.220	25.13	26.98
	COLA LAMAS	30	0.167	0.005	0.077	0.030	2.20	83.52
TEST 7	CABEZA	31	0.669	0.021	0.072	0.177	3.18	83.53
	CONC. ARENAS	32	4.59	0.103	0.179	1.430	20.64	46.88
	COLA ARENAS	33	0.152	0.009	0.020	0.038	1.57	89.17
	CONC. LAMAS	34	12.17	0.388	0.447	3.880	23.98	29.48
	COLA LAMAS	35	0.164	0.004	0.077	0.035	2.12	83.19
TEST 8	CABEZA	36	0.670	0.020	0.072	0.197	2.97	83.08
	CONC. ARENAS	37	4.72	0.119	0.200	1.400	22.12	44.46
	COLA ARENAS	38	0.159	0.008	0.019	0.041	1.53	87.72
	CONC. LAMAS	39	13.35	0.412	0.485	4.410	25.31	26.90
	COLA LAMAS	40	0.175	0.005	0.084	0.033	2.13	82.90



## Anexo 10: Hoja MSDS Aerofroth 68

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

**AEROFROTH® 68 FROTHER**

Fecha de revisión 19.04.2018

### SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

#### 1.1 Identificador del producto

- Nombre comercial AEROFROTH® 68 FROTHER

#### 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

##### Usos de la sustancia / mezcla

- El hacer espuma

#### 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

##### Compañía

Cytec de Mexico S.A. de C.V.  
Km 40 Carretera Guadalajara-La Barca  
Atequiza, Jalisco, Mexico C.P. 45860  
Telephone: +52-376-737-4100

##### E-mail de contacto

manager.sds@solvay.com

#### 1.4 Teléfono de emergencia

+44(0)1235 239 671 [CareChem 24]

#### Descargo de responsabilidad de marca

El símbolo ® indica una marca registrada en los Estados Unidos y el ™ indica una marca comercial en los Estados Unidos La marca también puede estar registrada, pendiente de una solicitud para su registro o ser una marca comercial en otros países.

### SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

#### 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

##### Clasificación SGA (UN)

Irritación cutáneas, Categoría 2  
Irritación ocular, Categoría 2A

H315: Provoca irritación cutánea.  
H319: Provoca irritación ocular grave.

#### 2.2 Elementos de la etiqueta

##### Elemento de etiquetado SGA (UN)

##### Pictograma



##### Palabra de advertencia

- Atención

##### Indicaciones de peligro

- H315 Provoca irritación cutánea.  
- H319 Provoca irritación ocular grave.

##### Consejos de prudencia

##### General

- Ninguno(a).

PRCO90072817  
Versión : 1.00 / PE ( ES )  
www.solvay.com



1 / 16



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

**AEROFROTH® 68 FROTHER**

Fecha de revisión 19.04.2018

Prevención

- P264
- P280

Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.  
Llevar guantes/ gafas/ máscara de protección.

Intervención

- P302 + P352
- P305 + P351 + P338

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua.  
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.  
En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.  
Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.  
Quitar las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas.

- P332 + P313
- P337 + P313
- P362 + P364

Almacenamiento

- Ninguno(a).

Eliminación

- Ninguno(a).

**2.3 Otros peligros que no dan lugar a la clasificación**

Ninguna conocida.

**SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes**

**3.1 Sustancia**

- No aplicable, este producto es una mezcla.

**3.2 Mezcla**

- Naturaleza química                      Reactivo para el procesamiento de minerales





**AEROFROTH® 68 FROTHER**

Fecha de revisión 19.04.2018

**Información sobre Componentes e Impurezas**

Nombre químico	No. CAS	Clasificación SGA	Concentración [%]
Éteres de glicol mixtos	*****	Irritación cutáneas, Categoría 2 ; H315 Irritación ocular, Categoría 2A ; H319	40 - 70
Éteres de poliglicol	*****	Toxicidad aguda, Categoría 5 ; H303	30 - 50
hidróxido de potasio	No. CAS : 1310-58-3	Corrosivos para los metales, Categoría 1 ; H290 Toxicidad aguda, Categoría 4 ; H302 Corrosión cutáneas, Categoría 1A ; H314 Lesiones oculares graves, Categoría 1 ; H318 Toxicidad acuática aguda, Categoría 3 ; H402  <b>Límite de concentración específica:</b>  C: >= 5 %, Corrosión cutáneas, Categoría 1A; H314 C: 2 - < 5 %, Corrosión cutáneas, Categoría 1B; H314 C: 0,5 - < 2 %, Irritación cutáneas, Categoría 2; H315 C: 0,5 - < 2 %, Irritación ocular, Categoría 2; H319	< 1

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

**SECCIÓN 4. Primeros auxilios**

**4.1 Descripción de los primeros auxilios**

**En caso de inhalación**

- Alejar rápidamente a la persona de la zona contaminada. Hacer que la persona descanse.
- Consulte al médico.
- Mostrar esta hoja al médico.
- Mantener el soporte vital si es necesario.





FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

**AEROFROTH® 68 FROTHER**

Fecha de revisión 19.04.2018

**En caso de contacto con la piel**

- Lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos.
- Llevar equipos de protección adecuados a la hora de tratar a una persona contaminada.
- En caso de inflamación (enrojecimiento, irritación...), obtener asistencia médica.
- Mostrar esta hoja al médico.
- Mantener el soporte vital si es necesario.

**En caso de contacto con los ojos**

- Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también debajo de los párpados, al menos durante 15 minutos.
- Manténgase el ojo bien abierto mientras se lava.
- Mostrar esta hoja al médico.
- Obtener siempre asistencia médica aunque no haya síntomas.
- Mantener el soporte vital si es necesario.

**En caso de ingestión**

- No provocar el vómito.
- Consulte al médico.
- Mostrar esta hoja al médico.
- No le dé nada de beber.
- Mantener el soporte vital si es necesario.

**4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados**

**Efectos**

- Si es ingerido, provoca quemaduras severas de la boca y la garganta, así como peligro de perforación del esófago y del estómago.
- En caso de inhalación, irritación o corrosión del tracto respiratorio.
- Puede dañar la piel de manera irreversible.
- La exposición crónica puede causar dermatitis.
- Puede lesionar los ojos de forma irreversible.
- Pérdida del ojo

**Síntomas**

- Irritación
- Rojez
- Hinchamiento del tejido
- Puede provocar una irritación en el tracto respiratorio.
- Provoca quemaduras en la piel.
- Rasgadura
- Conjuntivitis
- Provoca quemaduras en los ojos.

**4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**

**Notas para el médico**

- Llevar al afectado enseguida a un hospital.
- Requiere atención médica inmediata.
- Oftalmólogo de urgencia en todos los casos.
- Las quemaduras deben ser tratadas por un médico.
- Ponerse en contacto con el centro de control de envenenamiento.
- Mantener bajo vigilancia médica por lo menos 48 horas.

**SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios**

**5.1 Medios de extinción**

**Medios de extinción apropiados**

- Agua pulverizada
- Espuma
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

PRCO90072817  
Versión : 1.00 / PE ( ES )  
www.solvay.com





- Polvos polivalentes.

**Medios de extinción no apropiados**

- Chorro de agua de gran volumen

**5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

- Bajo condiciones de fuego:
- Arderá
- Libera gases tóxicos por combustión.

**5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

**Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios**

- En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.
- Equipo de protección personal compuesto por: guantes de protección adecuados, gafas protectoras y ropa de protección
- Para más información, ver el párrafo 8: "Control de la exposición-protección individual".

**Métodos específicos de lucha contra incendios**

- Enfriar recipientes/tanques con pulverización por agua.
- No usar un chorro compacto de agua ya que puede dispersar y extender el fuego.

**Otros datos**

- Procedimiento estándar para fuegos químicos.
- El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado.
- Los restos del incendio y el agua de extinción contaminada deben eliminarse según las normas locales en vigor.

**SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental**

**6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

- Donde el nivel de exposición es desconocido, use equipo de aire autónomo
- Donde el nivel de exposición es conocido, use el respirador apropiado al nivel de exposición
- Adicionalmente a la ropa/equipo protector definido en la Sección 8, (Protección Personal/Control de Exposición), use botas impermeables.

**6.2 Precauciones relativas al medio ambiente**

- Cortar la fuga. Poner en posición vertical los envases dañados (fuga por parte superior) para parar el vertido del líquido.
- Canalizar y recoger el vertido.
- No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.
- No permita la descarga incontrolada de productos al medio ambiente.

**6.3 Métodos y material de contención y de limpieza**

- Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo.
- Guardar en contenedores etiquetados correctamente.
- Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.
- Lavar los restos no recuperables con agua abundante.
- Empapar con material absorbente inerte y eliminar como un desecho especial.
- Descontaminar herramientas, equipos y equipos de protección del personal en el área aislada.
- Eliminar, observando las normas locales en vigor.
- Nunca retorne el producto derramado al envase original para reutilizarlo.

**6.4 Referencia a otras secciones**

- 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO
- 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL
- 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN