

*Universidad Nacional*

*"José Faustino Sánchez Carrión"*



**“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”**

**Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica**

**TRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS CON PRESENCIA  
DE CAOLINITA POR FLOTACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
MENAS DE COBRE**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO METALÚRGICO**

Autor:

**SUAREZ VERA, JUAN RAUL**

Asesor:

**Dr. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER**

**C.I.P. N° 26627**

**Huacho - Perú**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos, que a ellos les debo cuanto soy, por su incondicional y fiel apoyo para lograr nuestro objeto por ello cada una de las letras de este trabajo son por Ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme vivir día a día y haber hecho realidad mi Vocación Profesional.

Mi Agradecimiento a todos los docentes de la UNJFSC E. P. Ingeniería Metalúrgica por sus consejos y recomendaciones.

## **PENSAMIENTO**

“El hombre más poderoso es aquel que es  
totalmente dueño de sí mismo.”

**Aristóteles**

## ÍNDICE

Caratula.....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
PENSAMIENTO .....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLA .....	ix
ÍNDICE DE FIGURA.....	x
GLOSARIO DE ABREVIATURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPITULO I .....	15
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problema .....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivos.....	16
1.3.2. Objetivos.....	16

1.4.	Justificación de la investigación. ....	17
1.5.	Delimitación del estudio. ....	17
1.5.1.	Delimitación.....	17
1.5.2.	Delimitación.....	17
1.5.3.	Delimitación.....	17
1.6.	Viabilidad del estudio. ....	18
CAPITULO II.....		19
MARCO TEORICO.....		19
2.2.	Antecedentes de la investigación. ....	19
2.1.1.	Antecedentes nacionales. ....	19
2.1.2.	Antecedentes internacionales.....	21
2.1.3.	Otras investigaciones. ....	31
2.2.	Fundamento teórico. ....	34
2.2.1.	Molienda. ....	34
2.2.2.	Flotación. ....	34
2.2.2.1.	Variables del proceso de flotación.....	35
2.2.2.2.	Reactivos de flotación .....	36
2.2.2.3.	Clasificación de los reactivos de flotación .....	37
2.2.3.	Simulación del circuito continuo. ....	40
2.2.3.1.	Simulación de circuitos de flotación mediante split factor.....	41
2.3.	Definiciones de conceptos. ....	42

CAPITULO III.....	45
METODOLOGÍA.....	45
3.1. Diseño metodológico.....	45
3.1.1. Tipo de Investigación.....	45
3.1.2. Nivel de Investigación.....	45
3.1.3. Diseño de la Investigación.....	45
3.1.4. Enfoque de la Investigación.....	46
3.2. Población y muestra.....	46
3.2.1. Población.....	46
3.2.2. Muestra.....	46
3.2.3. Tamaño de Muestra.....	46
3.3. Operacionalización de variables.....	47
3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	47
3.4.1. Técnicas a emplear.....	47
3.4.2. Descripción de los instrumentos.....	48
3.5. Técnica para el procesamiento de la Información.....	48
CAPITULO IV.....	49
RESULTADOS.....	49
4.1. Caracterización mineralógica y químico.....	49
4.2. Resultados de las pruebas de flotación.....	50
4.2.1. Influencia de la densidad de pulpa porcentaje de sólido en la recuperación de cobre.....	50

4.2.2. Influencia de la liberación del mineral en la recuperación de cobre.....	51
4.2.3. Influencia del colector espumante y pH en la recuperación de cobre.....	52
CAPITULO V .....	56
DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
5.1. Discusión.....	56
5.2. Conclusiones.....	58
5.3. Recomendaciones. ....	59
BIBLIOGRAFÍA .....	60

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Operaciones de las variables de estudio. ....	47
Tabla 2 Minerales presente en la cabeza.....	49
Tabla 3 Ley de elementos presentes de interés.....	49
Tabla 4 Influencia de la densidad de pulpa en la calidad y recuperación del cobre .....	50
Tabla 5 Influencia de la liberación en la calidad y recuperación del cobre .....	51
Tabla 6 Influencia del colector KAX en la calidad y recuperación del cobre .....	52
Tabla 7 Influencia del colector A-208 en la calidad y recuperación del cobre.....	53
Tabla 8 Influencia de espumante D-250 en la calidad de concentrado.....	54
Tabla 9 Influencia de pH en la calidad y recuperación de cobre .....	55

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Variables del proceso de flotación .....	35
Figura 2 Clasificación de los reactivos de flotación .....	37
Figura 3 Modelo de operación en circuito de flotación .....	42

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

%	: Porcentaje
%-200m	: Pasante a malla 200 o a75 micras
<	: Menor que
g/h	: Gramos por hora
g/l	: Gramos por litro
g/t	: Gramos por tonelada
g/TM	: Gramos por tonelada métrica
KAX	: Xantato amílico de potasio
kg	: Kilo gramo
KWh/t	: Kilo watts hora por tonelada
mV	Milivoltios
P80	: El 80 porciento de abertura del producto de la molienda
Pág.	: Página
págs	: Paginas
pH	: Potencial de hidrogeno
Rec.	: Recuperación
S.A.	: Sociedad anónima
Z-11	: Xantato amílico de potasio
µm	: Micras

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el tratamiento de minerales sulfurados con presencia de caolinita por flotación para la concentración de menas de cobre, la metodología empleada en esta investigación es experimental básica, predictiva, cuantitativa. El mineral empleada tiene una ley de cobre de 2.32% , el resultado de la pruebas experimentales de acuerdo los objetivos planeadas, en la recuperación y calidad de concentrado es cuando densidad de pulpa trabaja con 1256g/l (33% sólido), con una liberación de 63% pasante a malla 200, respecto a los colectores que tiene un mejor resultado es el KAX a razón de 46 g/TM, respecto a A-208 con 45.8 g/TM. El espumante D-250 con una adición de 56.6 g/TM tiene un mejor resultado, y el mejor comportamiento es cuando el pH es de 11.7. El empleo de estas variables que influencia en la concentración y recuperación de cobre permitirá en los procesos industriales obtener un resultado satisfactoria en lo técnico y económico.

**Palabra clave:** Flotación de menas de cobre, Concentración de sulfuro de cobre, recuperación de cobre por flotación.

## ABSTRACT

In this research work aims to evaluate the treatment of sulfur minerals with presence of kaolinite by flotation for the concentration of copper ores, the methodology used in this research is experimental, predictive, quantitative. The mineral used has a copper grade of 2.32%, the result of the experimental tests according to the planned objectives, in the recovery and quality of concentrate is when density of pulp works with 1256g / l (33% solid), with a release from 63% through to 200 mesh, compared to the collectors that has a better result is the KAX at a rate of 46 g / MT, compared to A-208 with 45.8 g / MT. The D-250 foamer with an addition of 56.6 g / TM has a better result, and the best performance is when the pH is 11.7. The use of these variables that influence the concentration and recovery of copper will allow industrial processes to obtain a satisfactory result in technical and economic terms.

**Key Word:** Flotation of copper ores, concentration of copper sulphide, recovery of copper by flotation.

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de tratamiento de minerales sulfurados con presencia de caolinita por flotación para la concentración de menas de cobre, nos permite establecer parámetros de operaciones, para ello es fundamental y necesario que las técnicas de concentración de minerales por flotación de minerales de cobre con presencia de oro y plata a pesar que es una de las actividades más usado para la concentración de minerales sulfurados se siguen empleando por el costo económico y técnica factible en dicha actividad.

En la recuperación de los metales desde el principio se han empleado las técnicas de concentración gravimetría, pasando por la pirometalurgia y actualmente la flotación y lixiviación. La concentración por flotación se emplea mayor mente para minerales sulfurados por ser la más adecuada aprovechado sus principios de hidrofobicidad de los minerales.

En la concentración por flotación tiene una serie de variables que interviene en la flotación como la liberación, pH, reactivos (colectores, espumante, modificadores, etc.), tiempo, agitación, densidad de pulpa, etc.

Por qué en el presente estudio se trata relacionar la densidad de pulpa, liberación de minerales, pH, colectores y espumantes respectos como actúan frente a la calidad y recuperación de cobre. En busca de los parámetros operacionales porque cada mineral tiene un comportamiento particular a pesar que contengan el mismo mineral de interés. Por lo que es necesario buscar esos parámetros que nos permitan tomar decisiones adecuadas para emplear a nivel operacional y por otro lado sirva como fuente de información para los futuros estudiantes que se incorporan a esta actividad.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática .

Las actividades mineras en la zona de Pachijal de la provincia de Pichincha tiene reservas de minerales con contiene cobre, oro, plata y otros elementos de valor comercial, existen mineros artesanales que realizan actividades de extracción de minerales con una recuperación media, por lo que esta actividad deber mejorarse y buscar las condiciones adecuadas de operación por lo que se tiene el reto de buscar los mecanismos adecuadas para la concentración y extracción de los minerales a solicitud de los mineros de la zona.

En esta investigación se realiza de la zona de Pachijal, Provincia de Pichincha; la muestra se recolectó y almacenó inmediatamente después de la voladura, las pruebas de caracterización se realizaron para definir los minerales de valor presentes en la muestra.

Por ello se busca y se plantea el problema en busca de las respuestas para la concentración de cobre, oro y plata, planteándose el problema como se describe en el problema general, para el presente estudio.

#### 1.2. Formulación del problema.

##### 1.2.1. Problema general.

¿En qué medida el tratamiento de los minerales sulfurados con presencia de caolinita en la flotación, nos permitirá obtendrá un concentrado de menas de cobre?

### 1.2.2. Problema específico.

- ¿En qué medida el porcentaje de sólidos en la pulpa de los minerales en la flotación, tendrá influencia en la recuperación y calidad de concentrado de menas de cobre que satisfagan las perspectivas?
- ¿Tendrá efecto la liberación de los minerales sulfurado de cobre con presencia de caolinita, en la calidad y recuperación de menas de cobre?
- ¿De qué manera el uso de espumante y colector a un pH adecuado en la pulpa de mineral, nos permitirá obtener una recuperación y calidad óptima de menas de cobre?

### 1.3. Objetivos.

#### 1.3.1. Objetivos Generales.

Evaluar el tratamiento de los minerales sulfurados con presencia de caolinita en la flotación, que influye en los resultados de concentración de menas de cobre.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar en qué medida el porcentaje de sólidos en la pulpa de los minerales en la flotación, tendrá una influencia en la recuperación y calidad de concentrado de menas de cobre que satisfagan las perspectivas.
- Evaluar la liberación de los minerales sulfurados de cobre con presencia de caolinita, que influyen en calidad y recuperación de menas de cobre.
- Evaluar el uso de espumante y colector a un pH adecuado en la pulpa de mineral, para obtener una recuperación y calidad de menas de cobre.

#### 1.4. **Justificación de la investigación .**

Al llevar a cabo esta investigación se podrá entender que el tratamiento de minerales sulfurados con presencia de caolinita por flotación para la concentración de menas de cobre, nos permitirá encontrar los parámetros en el proceso de flotación y tener una recuperación de cobre optima, y aplicar al nivel industrial si es rentable económicamente.

#### 1.5. **Delimitación del estudio.**

##### 1.5.1. **Delimitación Territorial.**

<b>Departamento</b>	<b>: Lima</b>
<b>Provincia</b>	<b>: Huaura</b>
<b>Distrito</b>	<b>: Huacho</b>
<b>Ciudad</b>	<b>: Universitaria</b>

##### 1.5.2. **Delimitación Tiempo y Espacio.**

La investigación se realizará en el centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales, durante el periodo de 2019.

##### 1.5.3. **Delimitación de Recursos.**

Falta de disponibilidad de recursos económicos para llevar a cabo el trabajo de investigación.

### **1.6. Viabilidad del estudio.**

Para realizar el presente trabajo de investigación es viable, por cuanto se tiene los conocimientos teóricos, los medios técnicos, técnicas y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe del centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de campo.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.2. Antecedentes de la investigación.

Para fundamentar el trabajo de investigación los antecedentes se dividen en tres aspectos fundamentales como antecedentes nacionales, internacionales y otras investigaciones relacionados al presente trabajo de investigación lo que se describe en los apartados a continuación.

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales.

Los antecedentes nacionales de acuerdo los reglamentos establecidos de la universidad y de la facultad debe tener como mínimo tres investigaciones relacionados al tema en estudio y estos estudios como de pre grado y posgrado se describen a continuación:

Para (**Faro**) en su trabajo de investigación, "evaluación metalúrgica a nivel laboratorio del yacimiento tipo porfido cobre-oro, procedente de la región Pasco" concluye que,

De la prueba cíclica se puede concluir que la recuperación final de cobre es de 90.14% con una calidad de 22.25% Cu, logrando el objetivo propuesto, así mismo el 81.95% del fierro total se encuentra en el relave.

El circuito de flotación que se obtuvo para lograr esta calidad de concentrado es realizando 3 etapas de limpieza; para lo cual se necesita trabajar en un medio alcalino pH de 11.

Se realiza una cinética de flotación a la etapa rougher para determinar el tiempo de flotación en el circuito batch siendo esta de 5 min.

En la etapa de limpieza se incrementa el pH para deprimir el fierro y obtener un concentrado final con bajo contenido de contaminantes; pero para no bajar la recuperación de cobre se añade 10 g/t del colector A-208.

De las mallas valoradas que se realizó al producto de la molienda (alimento a flotación), se observa que la mayor cantidad de finos se encuentra pasando la malla 400 tyler por lo que no se recomienda liberar demasiado al mineral ya que se estaría generando excesiva cantidad de lamas y esta no se podría recuperar por una flotación convencional. **(Faro, 2015, pág. 52).**

En su trabajo **(Paz & Maldonado)** sobre, estudio de la “influencia del tiempo de flotación y la dosificación de NaCN sobre la recuperación de Cu mediante flotación bulk en COMIVARIV S.A. – 2016”, concluyen que,

Existe influencia significativa del tiempo de flotación, presentando un aumento del porcentaje de recuperación de Cobre conforme aumenta el tiempo de flotación, obteniendo un máximo en los 21 minutos.

Existe influencia significativa en la dosificación de cianuro de sodio, puesto que disminuye el porcentaje de recuperación de Cobre conforme aumenta la dosificación de Cianuro de Sodio, obteniendo un máximo a 60 g/TM.

La interacción del tiempo de flotación y la dosificación de cianuro de sodio no tiene un efecto significativo en el porcentaje de recuperación de Cobre.

Se obtuvo una recuperación máxima del 89% de Cobre al aplicar las variables de dosificación de Cianuro de Sodio a 60 g/TM y tiempo de flotación a 21 minutos.

La disolución de metales preciosos en contenidos del mineral de flotación no se ve afectada significativamente por el uso de NaCN puesto que el tiempo de flotación es corto. **(Paz & Maldonado, 2016, pág. 37)**

Para **(Lupo & Utani)** sobre, "recuperación del cobre por flotación de los minerales sulfurados del yacimiento sulfubamba Apurimac", concluyen que,

Mediante el proceso de flotación por espumas, se logró una recuperación de 87.93% que corresponde a la prueba N° 2 para una densidad de pulpa 1350g/l, 0.929g/TM de colector (Z-11) y 0.029 ml de espumante (aceite de pino).

El Mineral procedente de los desmontes del yacimiento Sulfubamba es diseminado de tipo pórfido, y la mineralización está compuesta básicamente de calcopirita, calcosina, bornita, malaquita; teniendo como ganga cuarzo, pirita, magnetita, limonita y arcillas que pertenecen a mineral sulfuros por lo tanto se considera como un mineral flotable dentro del grupo y tiene una ley de cobre de 5.97%

Por flotación por espuma se determinó los parámetros siguientes; tiempo de molienda de 15 minutos, tamaño de partícula de 65% -200 malla y las pruebas de cinética establece un tiempo de flotación de 4 minutos.

Se determinó que los variables de flotación más significativa son: densidad de pulpa, dosificación de colector (Z-11) y pH 5. Mediante el diseño experimental se determinó que la variable que tiene mayor efecto positivo es la densidad de pulpa, con una recuperación de cobre 4.4875 de efecto.

El modelo matemático a escala natural es:  $Y = 85.114 + 2.244X_1 + 0.0113X_2 + 0.31875X_3$ . **(Lupo & Utani, 2014, pág. 154)**.

### 2.1.2. Antecedentes internacionales.

Referente a las antecedentes internacionales de igual manera, de acuerdo los reglamentos establecidos de la universidad y de la facultad debe tener como mínimo tres

investigaciones relacionados al tema en estudio y estos estudios como de pre grado y posgrado se describen a continuación:

En su investigación (**Castillo**) sobre, “evaluación de los espumantes M91 y M91-F en el proceso de flotación bulk Cu-Mo en el complejo metalúrgico la caridad”, concluye que,

En las pruebas de flotación primaria usando cargas de mineral de alimentación a molino, el espumante M91-F recupero mayor cantidad de Cobre (2.19% más) y Molibdeno (4.8% más) sobre el porcentaje de recuperación del espumante actualmente utilizado en planta (M-91), y se obtuvieron menos cantidad de arrastre de Insolubles y Hierro, inevitables debido a la falta de la liberación total tanto de las partículas de cobre como las partículas de molibdeno, El concentrado obtenido resulto ser más limpio y de mejor ley que el obtenido por el espumante actual.

En las pruebas cinéticas de flotación usando cargas de alimentación a molino se observó que el espumante M91-F presenta una mayor recuperación para el Molibdeno, en un tiempo igual usando el espumante M91. Los resultados de las pruebas de flotación cinética del Cobre resultaron ser muy similares, incluyendo el porciento de recuperación que se podía obtener en un tiempo largo de flotación.

Las pruebas de flotación por tamaño de partícula usando cargas con mineral de alimentación a molino, se determinó que el espumante M91-F fue más selectivo tanto en las partículas de gran tamaño (con un tamaño de micra mayor a 500  $\mu\text{m}$ ) como en las partículas muy finas, (con tamaños de micra menor a 37  $\mu\text{m}$ ), con una mayor selectividad de las partículas de Molibdeno con respecto a las partículas de Cobre sobre el espumante M91.

El espumante M91-F presenta una mayor recuperación de partículas finas menores a 100  $\mu\text{m}$ , principalmente de molibdeno, esto permitiría moler más fino para liberar las partículas, las cuales al no estar liberadas contaminan los concentrados.

En las pruebas de flotación primaria para minerales de alto Cobre, el espumante M91-F recupero mayor cantidad de cobre (0.7%) y oxido de cobre (2.2%) sobre el espumante M91, la recuperación de molibdeno fue mayor (0.15%) usando el espumante M91, también se observó una mayor cantidad de arrastre de hierro (1.5%) y una menor cantidad de arrastre de insolubles (0.3%) usando el espumante M91-F en comparación con el espumante M91. Utilizando cargas de mineral de alto cobre en las pruebas de cinco ciclos el espumante M91-F recupero mayor cantidad de cobre (1.7%), oxido de cobre (10.96%) y molibdeno (13.08%), y cobre como calcopirita, donde el hierro presente pertenece a la calcopirita, lo que se traduce en una mayor recuperación de mineral valor, con una disminución de ley por arrastre de hierro.

Al usar cargas de alto contenido de molibdeno en pruebas primarias, el espumante M91-F recupero mayor cantidad de cobre (0.11%), molibdeno (2.74%) y de óxido de cobre (9.73%), también se observó una mayor cantidad de arrastre de hierro (4.21%) y arrastre de insolubles (0.05%) que al usar el espumante M91. En las pruebas de cinco ciclos al usar cargas de alto contenido de molibdeno el espumante M91-F recupero mayor cantidad de cobre (4.09%) y molibdeno (9.46%), pero una menor recuperación de óxido de cobre (2.16%) también tuvo mayor porcentaje de arrastre de hierro por calcopirita (2.16%) que el espumante M91, lo que produce una mayor

recuperación de cobre y molibdeno total usando el espumante M91-F bajando su ley por arrastre de hierro en comparación con el espumante M91.

Usando cargas de alto contenido de óxido de cobre en pruebas de flotación primaria, el espumante M91 recupero mayor cantidad de cobre (5.95%), molibdeno (2.28%) y de óxido de cobre (1.34%), también se observó una mayor cantidad de arrastre de hierro (0.31%) y arrastre de insolubles (0.15%) que al usar el espumante M91-F. En las pruebas de cinco ciclos al usar cargas de alto contenido de óxido de cobre el espumante M91 recupero mayor cantidad de cobre (2.95%) pero una menor recuperación de molibdeno (1.02%) y óxido de cobre (2.96%), también tuvo un menor porcentaje de arrastre de hierro por calcopirita que el espumante M91-F, el espumante M91 obtuvo una mayor recuperación de molibdeno y oxido de cobre, y el espumante M91-F recupero mayor cantidad de cobre, y tuvo mayor arrastre de hierro.

Cabe recordar que las pruebas de flotación primaria y de cinco ciclos fueron para saber el comportamiento comparativo de ambos espumantes en dado caso que se presentara en la planta un mineral de alimentación con tales características. Las pruebas demostraron que el espumante M91-F se comportaría muy similar al tener mineral de alimentación a molino con alto contenido de óxido, con respecto al espumante M91, y que recuperaría mayor cantidad de cobre y molibdeno si se presentara mineral con alto contenido de cobre o molibdeno a alimentación a molino.

Al probar el espumante M91-F en planta, se observó una mayor recuperación tanto en Cobre (2.31%) como en Molibdeno (5.32%) durante la primera fase, y una mayor recuperación de cobre (1.015%) aunque una menor recuperación

de molibdeno (1.07%) con respecto al espumante M91 en la segunda fase. En la tercera fase el espumante M91-F tuvo mayor recuperación de cobre (1.69%) y molibdeno (0.39) sobre el espumante M91. Comparando el total de la prueba el espumante M91-F fue constante en recuperar mayor cantidad de cobre y obtuvo una mayor recuperación total de molibdeno. En las pruebas cinéticas en planta el comportamiento fue muy similar en cuanto a la recuperación de cobre con respecto al tiempo, y se observó una mayor recuperación de molibdeno en menor tiempo usando el espumante M91-F con respecto al espumante M91, lo que dio mayor oportunidad de recuperación de molibdeno en la flotación bulk.

Basado en las pruebas tanto de laboratorio como a nivel planta, se deduce que al usar el espumante M91-F en la planta concentrado se tendrá una mayor recuperación de cobre y molibdeno, tanto en la flotación bulk, como en la flotación de limpia y agotativa, mejorando la productividad de la planta concentradora y teniendo menor pérdidas por mineral valor que se quede en las colas, por lo tanto se sugiere que el espumante M91-F sea establecido como base en la estrategia normal de operaciones.

Debe hacerse notar que la diferencia de recuperación parece mínima, pero es porcentual y al recordar la gran cantidad de mineral que se procesa se entiende que es una gran diferencia en cuanto a tonelaje recuperado. **(Castillo, 2012, págs. 103-105)**

**(Edgardo)** en su trabajo sobre, “flotación selectiva de sulfuros complejos usando reactivos de baja toxicidad”, concluye que,

Los extractos de quebracho actúan como depresores de la pirita. La acción

depresora se relaciona con el consumo y con el pH. En el rango alcalino el efecto depresor del reactivo acentúa el propio de la concentración de los iones  $\text{OH}^-$  y potencia el efecto de la cal, reduciendo hasta un 60% la flotabilidad de la pirita a pH 9. En el rango ácido también aumenta la depresión de la pirita tratada con quebracho.

La depresión de la pirita por la acción del tanino puede relacionarse al estado de oxidación superficial del sulfuro. Hay evidencias de que la interacción se produce con cationes superficiales en forma de hidróxido, en particular los propios del mineral. Se puede establecer además alguna correspondencia entre el punto isoelectrico de la pirita y la mayor o menor interacción con los polisacáridos. La mayor adsorción se produciría en el rango de mínima carga superficial.

Los extractos de quebracho tienen un ligero efecto depresor sobre la calcopirita, esto se traduce en pérdidas en la flotabilidad del orden del 1-2%.

Los extractos de quebracho también muestran su acción depresora selectiva sobre la pirita cuando se tratan minerales diseminados de cobre y molibdeno.

La selectividad respecto de los sulfuros de cobre es más acentuada en el rango alcalino. Cuando el pH es mayor que 9,5 aumentan los contenidos de cobre de los concentrados por la menor presencia de pirita en este producto.

Cuando se tratan minerales de cobre en medio ácido y neutro se observa un cierto efecto depresor sobre los sulfuros de cobre que se manifiesta en una pérdida en la recuperación que varía entre un 1 y un 5%. Este efecto tiende a desaparecer cuando el pH se hace alcalino.

La adsorción de los extractos sobre los minerales de cobre y, por consiguiente, las posibles pérdidas en su recuperación, se pueden relacionar con la

composición mineralógica. Si el cobre se encuentra mayormente como calcopirita y este sulfuro no presenta alteración superficial, no se verifica ningún efecto depresor por parte del quebracho. Esta situación cambia levemente cuando las partículas de sulfuros de cobre presentan algún grado de alteración superficial, en este caso hay pérdidas en la recuperación que oscilan entre un 1 y un 5%, sobre todo en medio ácido o neutro.

Diferentes trabajos sobre muestras de minerales de cobre de yacimientos de Argentina, Chile y Perú señalan que el efecto depresor selectivo de los extractos de quebracho sobre la pirita, en relación con los sulfuros de cobre, produce un aumento en el indicador de selectividad, la relación cobre/hierro. Este parámetro mejora entre un 8 y un 40% para distintas condiciones de trabajo y tipos de mineral. En algunos casos y sobre todo cuando se aplican bajos consumos de extracto de quebracho, menores que 100g/t, hay un aumento en las recuperaciones de cobre y de oro en el concentrado. Esto ocurre en medio alcalino y se puede relacionar con el efecto dispersante del reactivo que crea mejores condiciones de selectividad en la flotación.

La calidad del agua tiene mucha incidencia en el efecto depresor. La presencia de iones cobre, aportados por los minerales secundarios de cobre y hierro, propios del proceso de molienda, disminuyen el efecto depresor sobre la pirita. Este comportamiento es una consecuencia de la formación de compuestos entre estos cationes y el extracto.

Los extractos de quebracho son fuertes depresores de la molibdenita. El gasto de reactivo para una efectiva reducción en su flotabilidad debe ser del orden de los 300g/t.

El efecto depresor del quebracho sobre la molibdenita se relaciona en forma directa con el pH. En medio ácido, pH 4,5, se determinó una mayor depresión con la presencia de solo el 10% del sulfuro en la espuma en lugar del 90% determinado en la flotación si aplicar el depresor.

La velocidad específica de flotación de los sulfuros de cobre es muy alta, en el primer minuto flota el 80%, a pesar del tratamiento con extractos de quebracho, luego esta velocidad disminuye en forma gradual. En tanto que la molibdenita tiene una velocidad de transferencia mucho menor y esta permanece constante en los primeros 8 minutos de espumación en presencia de extracto de quebracho.

Mediante un tratamiento del concentrado global de cobre- molibdeno con 300 a 400g/t de extracto de quebracho, acondicionado por 15 minutos a pH 4,5 y luego incorporando colectores específicos para sulfuros de cobre, es posible realizar una separación selectiva de los sulfuros. En la espuma se reporta en 92 al 98% del cobre y en las colas de flotación queda del 80 al 89% del molibdeno. Esta separación es más eficiente si el extracto de quebracho se acondiciona en dos etapas.

Los indicadores metalúrgicos del proceso de separación de los sulfuros de cobre y molibdeno aumentan cuando la calcopirita es el mineral de cobre preponderante y si el nivel de oxidación o alteración superficial de las partículas es reducido. Por el contrario, sobre minerales parcialmente alterados y con la presencia sulfuros secundarios, las recuperaciones de ambos metales en la flotación diferencial disminuyen entre un 5 y 10%.

La flotación diferencial de los sulfuros de cobre es más eficiente cuando se usan colectores más selectivos sobre la base de ditiofosfatos.

La fracción no- flotada en la separación diferencial representa entre un 5 y un 15% en peso. Este producto debe ser tratado con depresores específicos para cobre de modo de aumentar el contenido de Mo a cerca del 50% y reducir la presencia de cobre en menos del 2%. Para la depuración del concentrado de molibdeno es necesario remover el recubrimiento del extracto de quebracho y reactivar al sulfuro. El procedimiento que resultó efectivo para este fin fue doble lavando con agua fresca, la separación sólido líquido se realizó por filtración. Para reactivar a la molibdenita fue suficiente un acondicionamiento con 100g/t de fuel oil.

Luego de la reactivación, es posible depurar al concentrado de molibdeno y llegar a las especificaciones comerciales mediante dos flotaciones de limpieza. Estas operaciones se hicieron aplicando un bajo consumo de sulfuro ácido de sodio como depresor de los sulfuros de cobre. Para asegurar la presencia del ion  $\text{SH}^-$  en el medio, las flotaciones de limpieza se realizaron manteniendo el potencial de óxido- reducción en - 500mV, regulado con el agregado de NaSH. Para mantener condiciones estables en estas operaciones se usó nitrógeno para la espumación.

Aplicando el esquema de proceso propuesto se puede separar un concentrado de molibdeno con 45 a 50% de Mo y menos del 2% de cobre. La recuperación final de molibdeno es de 72 a 76% para los minerales estudiados. **(Edgardo, 2012, págs. 182-184).**

Para **(Barona)** sobre su trabajo, “influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotación para minerales de cobre”, llegaron a las siguientes conclusiones,

Al variar el  $P_{80}$ , la recuperación global y del tamaño medio presenta una parábola invertida, en donde al engrosar o afinar la granulometría del mineral, baja la recuperación.

Por otro lado, para los tamaños extremos de mineral al aumentar el  $p_{80}$  aumenta la recuperación. Este último efecto hay que entenderlo dentro del marco de condiciones en que se dieron las pruebas, ya que, en aquellas con mineral fino,  $p_{80}$  bajo, la flotación se desarrolló en condiciones adversas para la flotación de mineral fino y grueso, mientras que las flotaciones de mineral grueso, fueron desarrolladas en condiciones muy favorables para la recuperación de mineral fino y grueso.

En función de lo anterior, al aumentar el  $P_{80}$  aumenta la recuperación por tamaños, sobre todo para minerales finos y gruesos, producto que el aumento de granulometría, a iguales condiciones de flujo de aire y agitación, impacta en la distribución de tamaño de burbujas, mejorando el marco para la recuperación de mineral de los tamaños descritos.

Al aumentar la agitación en la celda, aumenta la recuperación, ya sea global como por tamaños. Se aprecia que el efecto es mayor a medida que aumenta el tamaño de partículas, esto podría deberse a que a medida que aumenta la agitación, los agregados de burbuja-partícula más finos se vuelven más inestables.

El aumento de superficie total disponible para la flotación, impacta positivamente en la recuperación de minerales de todos los tamaños, T1 (gruesos), T2 (medios) y T3 (finos), en donde se generan condiciones más favorables para que estas partículas puedan ser recuperadas. Esto es absolutamente lógico, desde el punto de vista que en flotación uno de los

puntos importantes es la superficie disponible para la adherencia de la partícula, ya que la burbuja funciona como vehículo transportador de la partícula.

Se observa que la recuperación responde al índice de superficie total, de la forma  $C_1 \cdot (1 - e^{-(C_2 \cdot \text{Superficie Total})})$ .

Si se separa el mineral en gruesos y finos, tal vez con un ciclón previo a la flotación, y se modifican las condiciones de flotación, agitación y caudal de gas, es posible aumentar la flotabilidad de las partículas extremas, la fracción más gruesa de bajo tamaño del ciclón, y la fracción más fina del sobre tamaño del ciclón, sin perjudicar la flotabilidad del rango medio de partículas (la fracción fina del bajo tamaño y la fracción gruesa del sobre tamaño), aumentando la recuperación global (**Barona, 2007, págs. 110-111**).

### 2.1.3. Otras investigaciones.

Por otra parte, otros trabajos relacionados al tema como investigaciones publicados en revistas científicas también de acuerdo los reglamentos establecidos de la universidad y de la facultad debe tener como mínimo tres investigaciones relacionados al tema en estudio y estos estudios publicados en revistas se describen a continuación:

Sobre, avances en las técnicas no convencionales de flotación de partículas finas de sulfuros de cobre y molibdeno. (**Matiolo, Capponi, Rodrigues, & Rubio**), concluyen que,

Las técnicas de flotación con acondicionamiento en alta intensidad-AAI y la extensora, con la adición de aceite Diesel emulsionado aumentaron significativamente las recuperaciones metalúrgicas de Cu y Mo (con leyes similares al estándar), las recuperaciones por flotación real (sin arrastre vía

partícula-burbuja) y las constantes cinéticas de flotación, especialmente de las fracciones finas y ultrafinas. Los resultados son explicados en términos del aumento de la captura de agregados de partículas por burbujas y se concluye que ambas técnicas tienen un gran potencial para ser implementadas en planta industrial. **(Matiolo, Capponi, Rodrigues, & Rubio, 2007, pág. 848).**

En, “Concentración por flotación de menas de oro-cobre con bajas recuperaciones de arsénico” **(Chacón, Ruiz, & Zapico),** concluyeron,

De los colectores probados, el más conveniente para obtener concentrados con elevadas recuperaciones de cobre y bajas recuperaciones de arsénico, es aquel que contenga como componente principal el Ditiófosfato, con una dosis menor a 10 g/t.

En las pruebas efectuadas con tres agentes depresor con las dosis empleadas, no se obtuvieron esperanzadores resultados en cuanto a la depresión del arsénico.

Los ensayos realizados en la planta con el ditiófosfato comercial usado dieron muy buenos resultados, con recuperaciones de arsénico inferiores al 5 % en el concentrado de flotación y leyes de cobre mayores del 18 %. **(Chacón, Ruiz, & Zapico, 2005, pág. 394)**

Sobre, “recuperación de cobre contenido en escoria de cobre mediante flotación” **(Valderrama, González, & Santander),** Concluyen que,

La determinación del índice de Bond y de abrasión indicó un valor de 23,7 KWh/t para la escoria del HR y para la escoria del CT un valor de 23,4 KWh/t. El índice de abrasión para la escoria del HR fue de 0,9119 g/h y para la escoria del CT fue de 0,7161 g/h.

El estudio mostró que la granulometría más óptima para procesar la escoria por flotación tanto para la del horno reverbero y la del convertidor teniente es de 75% menor a 75 micrómetros.

Las pruebas cinéticas mostraron un tiempo óptimo de flotación para la escoria HR para la etapa rougher de 6 minutos 12 segundos y para la etapa cleaner de 5 minutos; para la escoria CT el tiempo óptimo para etapa rougher fue de 10 minutos y para la etapa cleaner de 7 minutos y 30 segundos.

Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio fueron usados a nivel industrial en la Planta M.A. Matta, consiguiéndose resultados satisfactorios. Así, para la escoria HR se logró una ley de 18,2% de cobre con una recuperación de 56,1%, mientras que para la escoria CT se obtuvo una ley de 39,1% de cobre con una recuperación de 91,4%. **(Valderrama, González, & Santander, 2018, pág. 48).**

## **2.2. Fundamento teórico.**

### **2.2.1. Molienda.**

La liberación de los minerales en un proceso de concentración de minerales juega un papel importante, donde está basada a las propiedades de los minerales fundamentado en que,

Las partículas responden de manera diferente a los tipos de concentración según el fluido, el campo de fuerza y las propiedades específicas de las partículas, como la densidad, el tamaño, la forma, la química, la química de superficie, el magnetismo, la conductividad, el color y la porosidad. Varios tipos de concentración son aplicables a partículas en varios rangos de tamaño, y para cualquier rango de tamaño dado, varios procesos o dispositivos pueden ser usado. La concentración por gravedad funciona mejor en el rango de 130 mm (aproximadamente 5 pulgadas) a 74  $\mu\text{m}$  (200 mallas). Por debajo aproximadamente 74  $\mu\text{m}$  (200 mesh), la separación de partículas por diferencias de gravedad específica es cada vez más difícil, y es generalmente inaplicable por debajo de unos 15  $\mu\text{m}$ , excepto en circunstancias especiales.

**(Maurice, Fuerstenau, & Kenneth, 2009, pág. 187)**

Por lo que en el proceso de concentración por espuma o flotación se puede flotar los minerales a partir de malla 70 a malla a malla 200 en el proceso convencional en un rango de 58% 70% pasante a malla 200 (74 micras).

### **2.2.2. Flotación.**

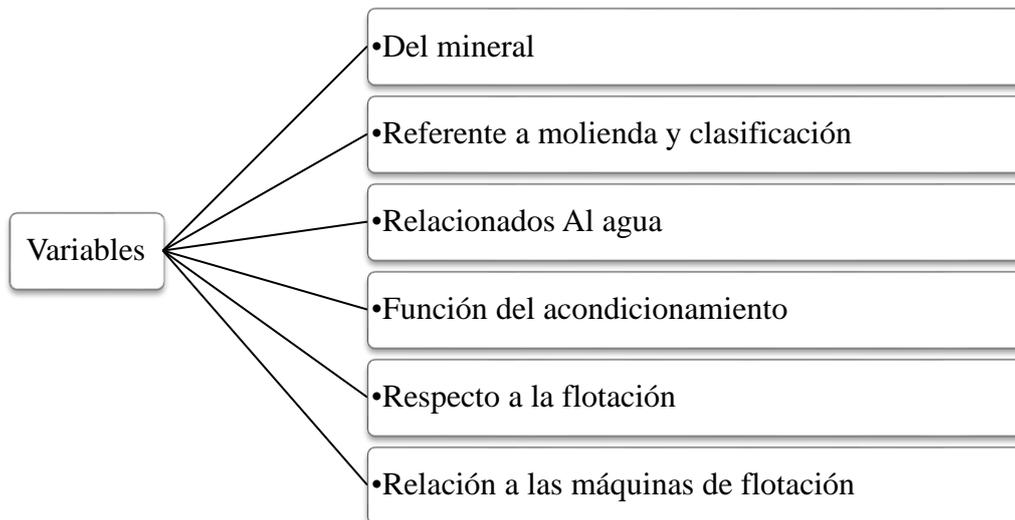
La concentración de minerales por espuma, “es la separación de minerales mediante la flotación, depende principalmente de las diferencias en la humectabilidad. Los reactivos auxiliares ayudan a la flotación mediante la adsorción selectiva o formando complejos con las

especies químicas que interfieren con la adsorción”. (Maurice, Fuerstenau, & Kenneth, 2009, pág. 245)

### 2.2.2.1. Variables del proceso de flotación.

Referente a las variables o condiciones que están involucrado en el proceso de separación de las menas de interés por el proceso de flotación, desde su inicio de la flotación se ha establecido superior a 32 variables de acuerdo los diferentes autores, pero se puede clasificar de acuerdo a (Azuñero, 2015) clasifica en,

*Figura 1 Variables del proceso de flotación*



Nota: Fuente (Azuñero, 2015, págs. 109-110)

En función de la calificación se verá específicamente referente a las variables de flotación, que concierne el tema de estudio.

Las variables respecto a la flotación se clasifican en los siguientes como se describe a continuación (Azuñero, 2015, pág. 110).

- Densidad de pulpa y porcentaje de sólidos
- pH
- Tiempo de flotación

- Nivel de espuma
- Carga circulante
- Granulometría
- Grado y tipo de aireación
- Temperatura de la pulpa
- Dosificación de reactivos

#### 2.2.2.2. **Reactivos de flotación**

Los reactivos son compuestos inorgánicos y orgánicos que intervienen en el proceso de flotación, actuando como colectores, modificadores, espumantes, etc. Que permite dar las condiciones adecuadas para una separación óptima por flotación de las menas de interés y la depresión de los minerales que no tiene valor relave para cada caso del proceso.

La clasificación de los reactivos en el proceso de flotación es lo siguiente (**Sutulov**):

- **Los colectores:** Función principal es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales.
- **Los modificadores:** Permite la regulación de las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumenta su selectividad.
- **Los espumantes:** Permite la formación de una espuma estable, de tamaño de burbujas apropiado para llevar los minerales al concentrado.

Los colectores son compuestos de carácter heteropolar su grupo polar es la parte activa que los une a la superficie del mineral en base a la adsorción (química o física), mientras que los modificadores crean condiciones favorables en la superficie de los minerales para el funcionamiento selectivo de los colectores y los espumantes son reactivos tensoactivos de carácter

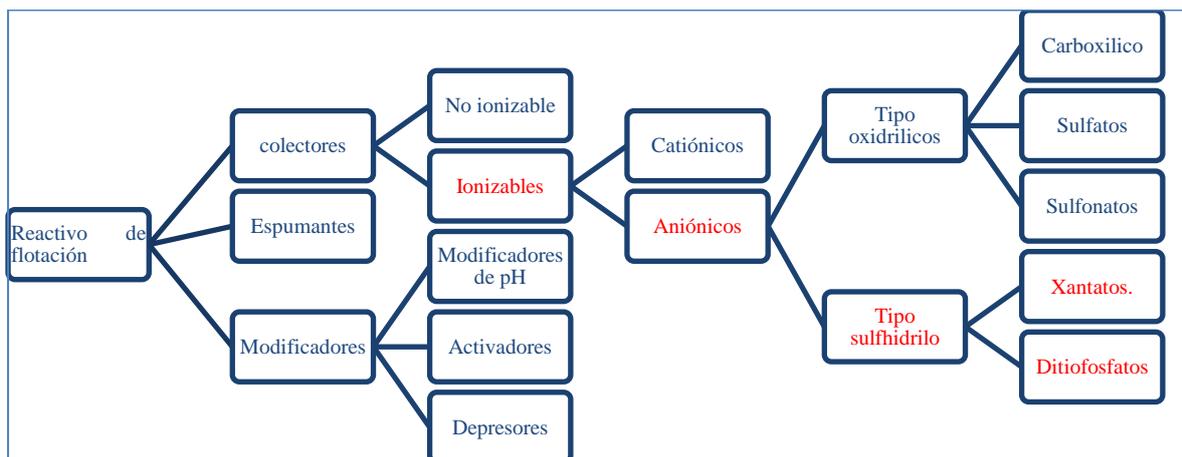
heteropolar, que se adsorben selectivamente en la interfase gas-líquido para formar una espuma estable (Sutulov, 1963, pág. 68).

Por lo que los reactivos son fundamentales para una flotación efectiva de las menas sulfuradas o óxidos de interés, cumpliendo un rol fundamental en las modificaciones de las superficies del mineral en el proceso de acondicionamiento.

### 2.2.2.3. Clasificación de los reactivos de flotación.

Los reactivos en base de sus funciones en el proceso de flotación se dividen en función específica que desempeñan:

Figura 2 Clasificación de los reactivos de flotación



Nota: Fuente elaborado en función de la información (Azuñero, 2015, págs. 70-71)

En función de la clasificación describiremos algunos reactivos que se usaran en el proceso de flotación de minerales de oro y plata.

#### a. Colectores.

Los colectores usados se tienen los siguiente:

- Xantato: “Usados para la flotación de minerales sulfuros, son sales sódicas o potásicas del ácido xánticos, tiene un poder colector en un pH de 8 – 13”

(Azuñero, 2015, págs. 72,75). Se usa generalmente en 5 a 100 g/TM en forma soluble al 10% (Sutulov, 1963, pág. 73)

- ✓ **Xantato isopropílico de sodio (Z-11)**. “Aplicado para todos los minerales sulfurados, Cu, Pb, Zn, y minerales complejos como Pb-Zn, Cu-Fe, Cu-Zn, pirita, arsenopirita, pirrotita, también se usa para la colección del cobre, plata y oro nativo” (Azuñero, 2015, pág. 76).
- ✓ **Xantato amílico de potasio (Z-6)**. Es el colector más potente y no selectivo para minerales sulfuros, apropiado para sulfuros parcialmente oxidados, conveniente para minerales de plomo cobre después de la sulfurización y como colector secundario en la sección scavenger (Azuñero, 2015, pág. 76).
- Ditiolfosfatos. “Son sales secundarias del ácido ditiolfosforicos, solubles en agua, afectando por depresores en mayor grado. Los ditiolfosfatos o promotores aerofloats, son colectores aplicables a pH <8, son menos susceptibles a la hidrolisis, permite usar en medio ligeramente acida” (Azuñero, 2015, págs. 77-78).
  - ✓ **A - 25**: Forma ácida. Bueno para Ag, Pb, Cu y sulfuros de Zn activados (Day, 2002, pág. 118).
  - ✓ **A- 31**: Basado en el promotor A-25, contiene además un colector secundario para mejorar la flotación de la plata. Ampliamente usado para la flotación de minerales Pb/Zn y Cu/Pb desde minerales Cu/Pb/Zn. Mejora la recuperación de Ag de esos minerales (Day, 2002, pág. 118).
  - ✓ **A-208**: (R=etilo + secbutilo). Colector selectivo para minerales de cobre. Excelente colector para Ag, Cu y Au nativo (Day, 2002, pág. 121).

- ✓ **A-238:** (R= secbutilo). Ampliamente usado en la flotación de Cu y para aumentar la recuperación de Au como subproducto. Combina una buena fuerza colectora con una buena selectividad frente a sulfuros de fierro (**Day, 2002, pág. 121**).
- ✓ **A-404:** Ampliamente usado para la flotación de minerales Cu alterados y secundarios, minerales Zn y Pb alterados y metales preciosos en circuitos alcalinos. Excelente colector para la pirita y pirita aurífera en circuitos ácidos y neutros (**Day, 2002, pág. 125**).

#### **b. Espumantes.**

Los espumantes son sustancias que permite dar estabilidad a las espumas y el tamaño adecuado, los espumantes que se emplearan se describe a continuación:

- **F-70:** Es un alcohol de bajo peso molecular, cuando la selectividad en la alimentación contiene porcentaje de finos más alto que lo normal. Se usa en la flotación de carbón, sulfuro de plomo, grafito y flotación neutros y levemente alcalinos (**Day, 2002, pág. 133**).
- **MIBC** (metil isobutil carbonil): Usa en la flotación de minerales sulfuros de cobre, molibdeno, zinc y plomo, en minerales no metálicos, en la flotación de oro y plata (**Azuñero, 2015, pág. 88**).

#### **c. Modificadores.**

Permite modificar la superficie del mineral para la adsorción o desorción de un determinado reactivo sobre ella, creando en la pulpa las condiciones adecuadas para realizar una óptima flotación.

- ✓ **Activadores:** Son sustancias que permite que las partículas sean hidrofóbicas, para aumentar su flotabilidad, entre ellos tenemos:

- ✓ Sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ): Se usa en el circuito de zinc para activar el zinc.
- ✓ Nitrato de plomo: de sulfuro de antimonio y cloruro de sodio.
- ✓ Sulfuro de sodio: permite sulfurizar minerales parcialmente o totalmente oxidado de plomo, cobre, zinc y etc.
  
- ✓ **Depresores:** Hidrofilizan la superficie del mineral e impide su flotación. Entre los depresores podemos mencionar:
  - ✓ **Cianuro de sodio:** Depresor de los sulfuros pirita, pirrotita, marcasita, arsenopirita, esfalerita y en menor grado la calcopirita, enargita, tec.
  - ✓ **Sulfato de zinc:** Deprime minerales de zinc con la combinación del cianuro de sodio.
  - ✓ **Sulfito, bisulfito de sodio:** Depresor de pirita y esfalerita en la flotación diferencial de plomo cobre.
  
- ✓ **Modificadores de pH:** Permite modificar las el pH, entre los modificadores de pH tenemos:
  - ✓ Básico: Cal ( $\text{CaO}$ ), Carbonato de sodio, Hidróxido de sodio, etc.
  - ✓ Acido: Ácido sulfúrico.
  - ✓ Dispersantes: Silicato de sodio.

### 2.2.3. Simulación del circuito continuo.

Toda prueba a nivel experimental de laboratorio tiene secuencias para llegar a nivel industrial, por lo que el segundo paso es la escala de piloto y esto tiene condiciones favorables y desfavorables desde el punto de vista económico y tiempo por ello es necesario realizar una simulación mediante modelos matemáticos por ello que,

En los procesos industriales se puede considerar el beneficio económico y medio - ambiental, que produce la recirculación de corrientes entre diferentes etapas, que no es posible en el proceso batch. Es en este sentido que se han diseñado algunas herramientas matemáticas, con el fin de correlacionar o extrapolar los resultados de una investigación realizada a escala de laboratorio y batch, con la operación industrial de una planta. (Villacís, 2009, pág. 15)

#### 2.2.3.1. Simulación de circuitos de flotación mediante split factor.

En todo proceso industrial tiene etapas de estudios partiendo desde su exploración hasta llegar a establecer los parámetros y las proyecciones de recuperación en este casos de los minerales de interés, pero después de la prueba de flotación estructurada se tiene diferentes vías para su proyección una de ella, es utilizando los modelos matemáticos mediante un ordenador con un programa de simulación que permite tener una proyección permitiendo el ahorro de recursos por ello se puede definir el factor de distribución,

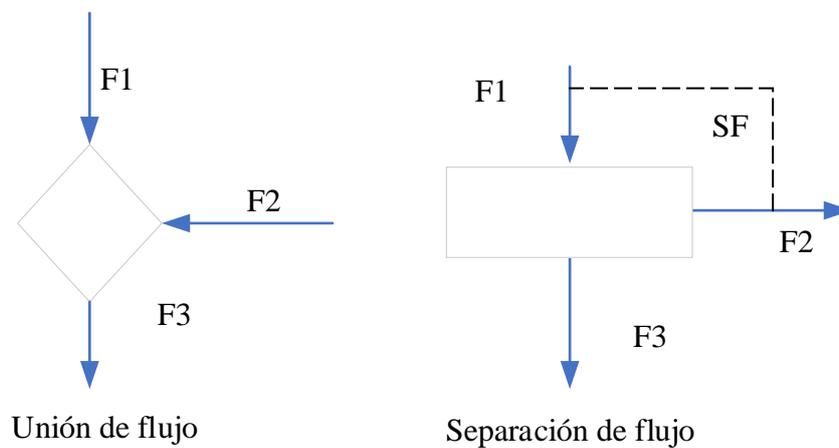
Para presentar un circuito de flotación en un factor de distribución o SPLIT FACTOR (SF) de cada componente y en cada etapa de separación, este SF no es más que la fracción de alimentación que reportan los flujos no flotables o relaves en cada caso o etapa de separación o junta de flujos en flotaciones, desbaste, colección y afino. (Azanero, 1999, pág. 3)

La magnitud de los SF depende principalmente del tiempo de flotación, condiciones físico-químicas del mineral, datos suficientes que son determinados en una prueba de flotación batch, cuantificando así los factores de distribución y con estos factores se puede calcular los resultados que se obtendrán en una flotación continua, piloto o industrial. (Azanero, 1999, pág.

3)

En todas las investigadoras han sido desarrollados en función de los SF o flujos no flotables, complicando severamente el desarrollo de estos modelos cuando se tiene más etapas de limpieza o se obtienen más productos; otra manera de desarrollar estos modelos matemáticos es considerando la fracción flotable, simplificando notablemente el manejo de ecuaciones y los cálculos que se realizan para evaluar una prueba de laboratorio y su escalamiento industrial. (Azanero, 1999, pág. 3)

*Figura 3 Modelo de operación en circuito de flotación*



### 2.3. Definiciones de conceptos.

- Cabeza Mineral:** Muestra inicial que va a ingresar a un proceso metalúrgico.
- Concentración:** Es la proporción entre el soluto y el solvente o disolución.
- pH:** La concentración del ion hidrogeno presente en una disolución, o coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- granulometría:** Tamaño de partícula de un determinado de mineral representado por número de mallas o micras de acuerdo las normas.
- Disolvente:** Es la sustancia de mayor cantidad en una mezcla.
- Mena:** Compuesto de elementos mineralizados de interés o valor para un propósito.

- g. **Optimización:** Es el proceso de modificación de un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles.
- h. **Oro.:** Metal precioso de color amarillo brillante muy dúctil y maleable, que es resistente a la corrosión por aire y por agua.
- i. **Oxidación:** Reacción química provocada por la exposición al oxígeno modificando la composición química de un mineral.
- j. **Óxido:** Compuesto que resulta de combinar oxígeno generalmente con un metal, o a veces con un metaloide. Capa, de diversos colores, que se forma en la superficie de los metales por oxidación, como el orín.
- k. **Plata:** Metal muy maleable que se encuentra naturalmente en un estado no combinado o con otros materiales.
- l. **Proceso:** Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.

## 1.7. **Formulación de hipótesis.**

### 1.7.1. **Hipótesis General.**

Realizando un tratamiento y acondicionamiento previo de los minerales sulfurados con presencia de caolinita para la flotación, como resultado al proceso se obtendrá un concentrado de menas de cobre de calidad.

### 1.7.2. **Hipótesis Específicas.**

- Con un porcentaje de sólidos en la pulpa de los minerales en la flotación, se tendrá una recuperación adecuada con una calidad de concentrado de menas de cobre que satisfagan las perspectivas.
- Con una liberación adecuado de los minerales sulfurado de cobre con presencia de caolinita, se tendrá una buena calidad y recuperación de menas de cobre.
- El uso de espumante, colector a un pH adecuado en la pulpa de mineral, se tendrá una recuperación y calidad de menas de cobre.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Diseño metodológico.

##### 3.1.1. Tipo de Investigación.

El tipo de investigación es experimental porque se caracteriza porque en ella el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis (**Bernal, 2010**).

- ✓ De acuerdo a su naturaleza: Experimental.
- ✓ acuerdo al propósito o utilización: aplicativa.

Se realiza investigación experimental y aplicativa, en este trabajo ya que se realiza experimental al nivel de laboratorio con un control mínimo a fin de encontrar las condiciones óptimas del estudio.

##### 3.1.2. Nivel de Investigación.

Es una investigación nivel predictiva o experimental porque se aplicara métodos y técnicas para mejorar y corregir la situación problemática, que da origen al estudio de investigación (**Carrasco, 2005**).

##### 3.1.3. Diseño de la Investigación.

En el presente estudio se aplicará el diseño experimental, ya que se manipulará las variables independientes, para observa su efecto sobre la variable dependiente con una situación de control (**Fernandez, 2014**).

#### 3.1.4. **Enfoque de la Investigación.**

El enfoque del presente estudio es cuantitativo, porque el estudio son variables o fenómenos cuantificables o fácilmente mensurables. “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teoría” (Fernandez, 2014).

### 3.2. **Población y muestra.**

#### 3.2.1. **Población.**

La población estura constituida por el mineral del proyecto mineral de Suyckutambo, de la empresa Goldplata Resources Perú SAC.

#### 3.2.2. **Muestra.**

La muestra para el trabajo de investigación se extrae por estratificación de las vetas del proyecto Suyckutambo empresa minera Goldplata Resources Perú SAC.

#### 3.2.3. **Tamaño de Muestra.**

El tamaño de muestra para el presente estudio es de aproximadamente de 200 kg, se secarán para cada prueba aproximadamente con 1 Kilos de mineral después se ser reducido a malla -10m, para ello la técnica de preparación de muestra es de rifleado en seco.

### 3.3. Operacionalización de variables.

Tabla 1 Operaciones de las variables de estudio.

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
<b>Independiente</b>			
Tratamiento de minerales sulfurados	- Proceso físico químico de acondicionamiento de la pulpa de mineral, para flotación y separación de las menas de interés de las gangas.	Factores	- %sólidos - Liberación - Espumantes. - Colectores - pH.
<b>Dependiente</b>			
Concentración de menas de cobre	- Proceso por el cual se eleva la calidad de las menas de interés comercial, mediante la flotación.	Cuantificación	- Calidad - Recuperación
<b>Intervinientes.</b>			
		Control	- Densidad de pulpa. - Agitación. - Depresores - Tiempo

Nota: Diseñado por el autor de acorde las variables de estudio.

### 3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.

#### 3.4.1. Técnicas a emplear.

##### a. Observación sistemática Directa.

Se empleará esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se está desarrollando.

b. **Observación Sistemática Indirecta.**

Mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

c. **Observación experimental.**

Con esta técnica será posible conocer la forma como se desarrollan las actividades en el desarrollo experimental para extraer datos con el fin de procesar posteriormente.

d. **Otras Técnicas.**

Técnica de cuestionario.

**3.4.2. Descripción de los instrumentos.**

- a. Ficha de observación.
- b. Lista de cotejo.
- c. Escalas libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

**3.5. Técnica para el procesamiento de la Información.**

Se usará el análisis estadístico y matemático, usando programas de cálculo como Excel, SPSS, XLSTAT, Minilat 18, Statgraphics, para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, promedios, medianas, desviación estándar, ecuaciones por regresión y otros.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización mineralógica y químico.

##### a. Caracterización mineralógica.

Los minerales presentes que se tienen con la cual se tendrá el estudio se describen en la tabla a continuación.

*Tabla 2 Minerales presente en la cabeza*

Mineral	Fórmula
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
Clinocloro	Mg <sub>5</sub> Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>
Andesina	Na <sub>0.49</sub> Ca <sub>0.49</sub> (Al <sub>1.48</sub> Si <sub>2.50</sub> )
Oro	Au
Plata	Ag <sub>2</sub> S

Los minerales de interés se tiene la calcopirita como componente principal de interés y secundarios oro y plata.

##### b. Caracterización Química.

*Tabla 3 Ley de elementos presentes de interés*

Elemento	Concentración	
Cu	2,32	%
Fe	8,76	%
Au	1.1	g/TM
Ag	24.56	g/TM

El elemento de mayor interés es el cobre y como de segundo orden se encuentran oro y plata lo que se tendrá presente en el proceso de las pruebas experimentales.

## 4.2. Resultados de las pruebas de flotación.

### 4.2.1. Influencia de la densidad de pulpa porcentaje de sólido en la recuperación de cobre.

En la tabla N°4 se presenta la influencia de la densidad de pulpa en la calidad y recuperación del cobre.

*Tabla 4 Influencia de la densidad de pulpa en la calidad y recuperación del cobre*

Pulpa		%Cu		
%Sólido	Densidad g/l	Concentrado	Rec.	Relave
33	1256	25,3	86,3	0,13
40	1328	26,1	74,1	0,11

De acuerdo la tabla N°4 la densidad de pulpa tiene una influencia en la recuperación del cobre, para una densidad de pulpa de 1256g/l (33%) se tiene una calidad de concentrado de 25.3% de cobre y una recuperación de 86.3% con una ley de relave de 0.13%, mientras que para una densidad de pulpa de 1328 g/l (40%) se tiene una calidad de 26.1% de cobre con una recuperación de 74.1% con una ley de relave de 0.11%.

#### 4.2.2. Influencia de la liberación del mineral en la recuperación de cobre.

La molienda de minerales tiene un efecto de liberación de los minerales y su influencia en la calidad y recuperación como se parecía en la tabla N°5 con se describe a continuación.

*Tabla 5 Influencia de la liberación en la calidad y recuperación del cobre*

Molienda		%Cu		
Tiempo minutos	%-200m	Concentrado	Rec.	Relave
15	59	22,7	71,9	0,11
20	63	26,3	89,2	0,11
25	70	20,1	85,8	0,11

En la tabla N°5 se aprecia que a 15 minutos tenemos una liberación pasante a la malla 200m el 59% con ellos se tiene una calidad de cobre de 22.7% en el concentrado con una recuperación de 71.9% y en el relave tiene una ley de 0.11%, para 20 minutos tenemos una liberación pasante a la malla 200m el 63% con ellos se tiene una calidad de cobre de 26.3% en el concentrado con una recuperación de 89.2% y en el relave tiene una ley de 0.11%, por otro lado para 25 minutos tenemos una liberación pasante a la malla 200m el 70% con ellos se tiene una calidad de cobre de 20.1% en el concentrado con una recuperación de 85.8% y en el relave tiene una ley de 0.11%,

#### 4.2.3. Influencia del colector espumante y pH en la recuperación de cobre.

##### a. Influencia del colector.

- En las pruebas de uso de colector de xantato amílico de potasio, hace una proyección en un intervalo de 10 y la última con un intervalo de 6 como se muestra en la tabla 6.

*Tabla 6 Influencia del colector KAX en la calidad y recuperación del cobre*

N°	KAX xantato amílico de potasio g/TM	%Cu		
		Concentrado	Rec.	Relave
1	6	28,5	52,2	0,12
2	16	30,0	64,3	0,12
3	26	29,6	80,4	0,12
4	36	25,3	86,3	0,14
5	46	28,0	90,3	0,11
6	52	25,2	90,0	0,11

En la tabla N°5 se aprecia que a 6 g/TM de colector KAX con ellos se tiene una calidad de cobre de 28.5% en el concentrado con una recuperación de 52.2% y con una ley de relave de 0.12%, para 16 g/TM de colector KAX con ellos se tiene una calidad de cobre de 30.0% en el concentrado con una recuperación de 64.3% y con una ley de relave de 0.12%, cuando se emplea 26 g/TM de colector KAX con ellos se tiene una calidad de cobre de 29.6% en el concentrado con una recuperación de 80.4% y con una ley de relave de 0.12%, para 36 g/TM de colector KAX con ellos se tiene una calidad de cobre de 25.3% en el concentrado con una recuperación de 86.3% y con una ley de relave de 0.14%, para 46 g/TM de colector KAX con ellos se tiene una

calidad de cobre de 28.0% en el concentrado con una recuperación de 90.3% y con una ley de relave de 0.11%, y para 52 g/TM de colector KAX con ellos se tiene una calidad de cobre de 25.2% en el concentrado con una recuperación de 90.0% y con una ley de relave de 0.11%.

- En las pruebas de uso de colector de A-208, hace una proyección en un intervalo de 10 y la última con un intervalo de 6 como se muestra en la tabla 6.

*Tabla 7 Influencia del colector A-208 en la calidad y recuperación del cobre*

N°	A-208		%Cu		
	g/TM	Concentrado	Rec.	Relave	
1	11.8	31.7	16,2	0,14	
2	22.8	28,0	76,9	0,12	
3	45.8	27,9	83,1	0,13	

De la tabla 7 para el uso de A-208 en 11.8 g/TM se tiene un concentrado de 31.7% de cobre con una recuperación de 16.2% y una ley de relave de 0.14 % de cobre. Para una dosificación de 22.8 g/TM de A-208 se tiene una calidad de concentrado de 28% de cobre con una recuperación de 76.9% con una ley de relave de 0.12%. Cuando se usa 45.8% se tiene una calidad de concentrado de 27.9% de cobre con una recuperación de 83.1% y una ley de relave de 0.13% de cobre.

### b. Influencia del espumante.

La influencia del espumante en la calidad de concentrado se describe en la tabla 8 como se aprecia a continuación.

*Tabla 8 Influencia de espumante D-250 en la calidad de concentrado*

N°	Espumante D-250		%Cu		
	g/TM	Concentrado	Rec.	Relave	
1	48.5	24,3	72,3	0,22	
2	56.6	25,3	86,3	0,19	
3	84.6	25,7	82,3	0,19	

En función de los resultados de la tabla 8 se puede apreciar que el espumante D-250 tiene una influencia directa como se aprecia cuando se emplea 48.5 g/TM la calidad de concentrado es de 25.3% de cobre y una recuperación de 72.3% y con una ley de relave de 0.22%. Para una dosificación de 56.6 g/TM se tiene un concentrado de 25.3% de cobre con una recuperación de 86.3% y una ley de relave de 0.19%. Para una dosificación de 84.6 g/TM se obtiene una calidad de concentrado de 25.7% de cobre y una recuperación de 82.3% con un relave de 0.19%.

**c. Influencia del pH.**

*Tabla 9 Influencia de pH en la calidad y recuperación de cobre*

N°	Cal		%Cu		
	pH	Concentrado	Rec.	Relave	
1	6,5	26,3	19,2	0,12	
2	9,6	27,5	54,8	0,18	
3	11,7	28,0	76,9	0,12	

De la tabla 9 la influencia del pH en la concentración de cobre por flotación a un pH de 6.5 la calidad de concentrado de cobre es de 26.3% con una calidad de 19.2% con una ley de relave de 0.12% de cobre. Para un pH de 9.6 la calidad de concentrado de cobre es de 27.5% con una recuperación de 54.8% y una ley de relave de 0.18% de cobre. Para un pH de 11.7 la calidad de concentrado de cobre es de 28.0% con una calidad de concentrado de cobre es de 76.9% con una ley de relave de 0.12%.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Discusión.

En el tratamiento de minerales sulfurados con presencia de caolinita por flotación para la concentración de menas de cobre, se tiene los minerales de cuarzo, caolinita, clinocloro, calcopirita, andesina, oro y sulfuro de plata. Con una ley de cobre de 2.32%, Fierro de 8.76%, oro 1.1 g/TM y plata de 24.56 g/TM, con una densidad de mineral de 2.61g/cm<sup>3</sup>.

La densidad de pulpa en la calidad de concentrado de cobre tiene una mejor recuperación, cuando la densidad es de 1256 g/l (33% de sólido), con una calidad de concentrado de cobre de 25.3% y una recuperación de 86.3%. Para el tiempo de liberación es de 20 minutos con un 63% pasante a malla 200m con una calidad de concentrado de cobre de 26.3% con una recuperación de 89.2%.

Entre los colectores la mejor recuperación para KAX cuando se usa 46 g/TM teniendo una calidad de concentrado de cobre de 28% y una recuperación de 90.3%, mientras que cuando se usa A-208 es cuando se emplea 45.8 g/TM que se obtiene una calidad de concentrado de 27.9% de cobre con una recuperación de 83.1%. El uso del espumante D-250, cuando se emplea 56.6 g/TM se obtiene una calidad de concentrado de cobre de 25.3% con una recuperación de 86.3%.

El empleo de cal a un pH de 11.7 se obtiene un concentrado de calidad de 28% de cobre con una recuperación de 76.9%.

Por otra parte, para (Faro) en las pruebas cíclicas el 90.14% de recuperación con calidad de 22.25% de cobre, realizando 3 etapas de limpieza a pH 11, la cinética de flotación en rougher de 5 minutos con 10 g/TM de A-208. Para **(Paz & Maldonado)** existe influencia significativa del tiempo y el cianuro, la recuperación máxima de cobre del 89% al aplicar las

variables de dosificación de cianuro de sodio a 60 g/TM y el tiempo de flotación a 21 minutos.

La recuperación de cobre 87.93% para densidad de 1350 g/l, colector 0.929 g/TM, espumante 0.029ml, los parámetros 15 minutos de molienda, 65% -200m, flotación 4 minutos, variables significativa densidad de pulpa, colector, pH 5 y efecto positivo densidad de pulpa con 4.875 fe efecto. **(Lupo & Utani)**.

En las flotaciones para minerales de alto Cobre, el espumante M91-F recupero mayor cantidad de cobre y oxido de cobre sobre el espumante M91, la recuperación de molibdeno fue mayor con espumante M91, con mayor cantidad de hierro y menor cantidad de insolubles con espumante M91-F. **(Castillo)**.

Mediante un tratamiento del concentrado de cobre molibdeno con 300 a 400g/t de extracto de quebracho, acondicionado por 15 minutos a pH 4,5 luego incorporando colectores específicos para sulfuros de cobre, es posible realizar separación selectiva de los sulfuros. **(Edgardo)**.

Al aumentar el P80 aumenta la recuperación por tamaños, sobre minerales finos, producto el aumento de granulometría, en iguales condiciones de flujo de aire y agitación, impacta en la distribución de tamaño de burbujas, mejorando la recuperación de mineral. **(Barona)**.

Las técnicas de flotación con acondicionamiento en alta intensidad-AAI, con adición de aceite diésel emulsionado aumentaron significativamente las recuperaciones metalúrgicas de Cu y Mo, las recuperaciones por flotación y constantes cinéticas de flotación, especialmente de fracciones finas y ultrafinas. **(Matiolo, Capponi, Rodrigues, & Rubio)**.

Los colectores probados, el más conveniente para obtener concentrados con elevadas recuperaciones de cobre y bajas recuperaciones de arsénico, es aquel que contenga como componente principal el ditiofosfato, con una dosis menor a 10 g/t. **(Chacón, Ruiz, & Zapico)**.

Las cinéticas óptimo de flotación para escoria HR en rougher fue 6 minutos 12 segundos, cleaner de 5 minutos; para la escoria CT el tiempo óptimo rougher fue de 10 minutos y cleaner de 7 minutos y 30 segundos. %. (Valderrama, González, & Santander).

Para la escoria HR se logró una ley de 18,2% de cobre con una recuperación de 56,1%, mientras que para la escoria CT se obtuvo una ley de 39,1% de cobre con una recuperación de 91,4%.%. (Valderrama, González, & Santander).

## 5.2. Conclusiones .

En el estudio sobre tratamiento de minerales sulfurados con presencia de caolinita por flotación para la concentración de menas de cobre nos permitió llegar a las siguientes conclusiones:

El mineral tratado de interés es la calcopirita con una ley de cobre de 2.32% y oro 1.1 g/TM y plata de 24.56 g/TM con un 8.76% de fierro, con una densidad de 2.61g/cm<sup>3</sup>.

La densidad de pulpa de mejor índice en la recuperación es 1256 g/l (33%) obteniendo un concentrado de 25.3% de cobre y una recuperación de 86.3%, la liberación al 63% pasante a malla 200 tiene un concentrado de 26.3% de cobre con una recuperación de 89.2%.

Respecto a los colectores en mejor condición de recuperación es KAX con una adición de 46 g/TM dando como resultado un concentrado de 28% de cobre con una recuperación de 90.3% respecto a A-208 que con un 45.8 g/TM tiene un concentrado con ley de 27.9% con una recuperación de 83.1%.

Cantidad optima de dosificación de espumante D-250 es 56.6 g/TM produciendo un concentrado de ley de 25.3% de cobre con una recuperación de 86.3%, por otra parte, el mejor pH en la recuperación de cobre es de 11.7 que se obtiene un concentrado de 28% de cobre con una recuperación de 76.9%.

### 5.3. Recomendaciones .

La realización de esta investigación sobre tratamiento de minerales sulfurados con presencia de caolinita por flotación para la concentración de menas de cobre para un futuro mejoramiento de las condiciones de recuperación se recomienda que es necesario:

Se realicen una prueba cíclica para ver el comportamiento adecuado con las condiciones que tiene influencia en la recuperación del cobre, con una simulación para ver como se comportan los resultados.

Realizar una prueba con las variables que tiene influencia en las pruebas realizadas para poder predecir en qué medida se obtiene un resultado.

Realizar un diseño factorial con las variables que tiene influencias en las pruebas para ver en que medida influyen en la recuperación.

Es necesario realizar una prueba donde se evalué los tres elementos de interés económica para ver si es necesario para incrementar el valor económico del concentrado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Azanero, A. (1999). Modelos matemáticos para simular flotación industrial a partir de pruebas de laboratorio. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 3. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02\\_n3/modelos\\_mat.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02_n3/modelos_mat.htm)
- Azuñero, A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. Lima: Editorial colecciones Jóvic.
- Barona, F. (2007). Influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotación para minerales de cobre. *Grado de maestro en ciencia de la ingeniería mención metalurgia extractiva*. Universidad de Chile, Santiago. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102883/Influencia-de-la-distribucion-del-tamano-de-burbujas-en-la-recuperacion-de-la-flotacion.pdf?sequence=3>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Chía: Pearson.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Castillo, A. (2012). Evaluación de los espumantes M91 y M91-F en el proceso de flotación bulk Cu-Mo en el complejo metalúrgico la caridad. *Título ingeniero en metalurgia y materiales*. Instituto Politécnico Nacional, México D.F. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17158/1/25-1-16699.pdf>
- Chacón, L., Ruiz, E., & Zapico, R. (2005). Concentración por flotación de menas de oro-cobre con bajas recuperaciones de arsénico. *Revista metalurgia*, 394. Obtenido de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1062>
- Day, A. (2002). *Manual de productos químicos para minería*. cytec. doi:www.cytec.com

- Edgardo, P. (2012). Flotación selectiva de sulfuros complejos usando reactivos de baja toxicidad. *Grado doctor*. Universidad de Oviedo, Oviedo. Obtenido de [digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/13203/2/TD\\_pedroedgardosarquis.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/13203/2/TD_pedroedgardosarquis.pdf)
- Faro, J. (2015). Evaluación metalúrgica a nivel laboratorio del yacimiento tipo porfido cobre-oro, procedente de la región pasco. *Título profesional de Ingeniero Metalúrgico*. Universidad nacional san agustin de arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2663/IMfoyajl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill .
- Kumar, C. (2003). *Chimical metalurgy*. Mumbai: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Lupo, W., & Utani, W. (2014). Recuperación del cobre por flotación de los minerales sulfurados del yacimiento sulfubamba Apurímac. *Título profesional ingeniero metalurgico*. Universidad nacional de san antonio abad del cusco, Cusco. Obtenido de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/1020/253T20140061.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Matiolo, E., Capponi, F., Rodrigues, R., & Rubio, J. (2007). Técnicas no convencionales de flotación de partículas finas de sulfuros de cobre y molibdeno. *Scientia et technica*, 848. Obtenido de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5063>
- Maurice, C., Fuerstenau, N., & Kenneth, N. (2009). *Principles of mineral processing*. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Misari, F. (2010). *Metalurgia del oro*. Lima: San Marcos.
- Paz, A., & Maldonado, R. (2016). influencia del tiempo de flotación y la dosificación de NaCN sobre la recuperación de Cu mediante flotación bulk en COMIVARIV S.A. - 2016. *Título Profesional de Ingeniero metalurgista*. Universidad Nacional de trujillo,

- Trujillo. Obtenido de  
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8792/Paz%20Herrera%2C%20Abner%2C%20Maldonado%20Vaella%2C%20Roberto%20Ernesto..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción: Instituto de investigación tecnológicas.
- Valderrama, L., González, M., & Santander, M. (2018). Recuperación de cobre contenido en escoria de cobre mediante flotación. *Instituto federal de educación ciencia e tecnología*, 48. Obtenido de  
<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7118/pdf>
- Villacís, J. (2009). Diseño de planta para beneficiar el mineral de Pachijal por el método de flotación. *Ingeniero químico*. Escuela politecnica nacional, Quito. Obtenido de  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1712/1/CD-2287.pdf>
- Yianatos, J. (2005). *Flotación de minerales*. Santiago.

# ANEXO

Anexo 1 Ciudad universitaria



Anexo 2 Provincia de Huaura -Lima - Perú



## Anexo 3 Matriz de consistencia general

Titulo	Problema Generales	Objetivos General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores
<b>TRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS CON PRESENCIA DE CAOLINITA POR FLOTACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE MENAS DE COBRE</b>	<p>¿En qué medida el tratamiento de los minerales sulfurados con presencia de caolinita en la flotación, permitirá obtener un concentrado de menas de cobre?</p>	<p>Evaluar el tratamiento de los minerales sulfurados en la presencia de caolinita en la flotación, que influye en los resultados de concentración de menas de cobre.</p>	<p>Realizando el tratamiento y acondicionamiento previo de los minerales sulfurados con presencia de caolinita para la flotación, como resultado al proceso se obtendrá un concentrado de menas de cobre de calidad.</p>	<p>Tratamiento de minerales sulfurados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- %sólidos</li> <li>- Liberación</li> <li>- Espumantes.</li> <li>- Colectores</li> <li>- pH</li> </ul>

Anexo 4 Matriz de consistencia específico.

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente	Indicadores
<p><b>TRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS CON PRESENCIA DE CAOLINITA POR FLOTACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE MENAS DE COBRE</b></p>	<p>¿En qué medida el porcentaje de sólidos en la pulpa de los minerales en la flotación, tendrá influencia en la recuperación y calidad de concentrado de menas de cobre que satisfagan las perspectivas? ¿Tendrá efecto la liberación de los minerales sulfurado de cobre con presencia de caolinita, en la calidad y recuperación de menas de cobre? ¿De qué manera el uso de espumante y colector a un pH adecuado en la pulpa de mineral, nos permitirá obtener una recuperación y calidad óptima de menas de cobre?</p>	<p>Evaluar en qué medida el porcentaje de sólidos en la pulpa de los minerales en la flotación, tendrá una influencia en la recuperación y calidad de concentrado de menas de cobre que satisfagan las perspectivas. Evaluar la liberación de los minerales sulfurados de cobre con presencia de caolinita, que influyen en calidad y recuperación de menas de cobre. Evaluar el uso de espumante y colector a un pH adecuado en la pulpa de mineral, para obtener una recuperación y calidad de menas de cobre.</p>	<p>Con un porcentaje de sólidos en la pulpa de los minerales en la flotación, se tendrá una recuperación adecuada con una calidad de concentrado de menas de cobre que satisfagan las perspectivas. Con una liberación adecuado de los minerales sulfurado de cobre con presencia de caolinita, se tendrá una buena calidad y recuperación de menas de cobre. El uso de espumante, colector a un pH adecuado en la pulpa de mineral, se tendrá una recuperación y calidad de menas de cobre.</p>	<p>Concentración de menas de cobre</p>	<p>- calidad - Recuperación</p>

## Anexo 5 Liberación de los minerales

Tiempo o minutos	Malla	$\mu\text{m}$	Peso(g)	f(x)	G(x)	F(x)
	65	250	159.00	15.90	15.90	84.10
	80	180	0.80	0.08	15.98	84.02
	100	150	162.50	16.25	32.23	67.77
	140	106	290.80	29.08	61.31	38.69
	200	75	155.70	15.57	76.88	23.12
	270	53	111.00	11.10	87.98	12.02
	< 270	< 53	120.20	12.02	100.00	0.00
			1000	100		

Tiempo 15 minutos	Malla	$\mu\text{m}$	Peso(g)	f(x)	G(x)	F(x)
	65	250	6.90	3.11	3.11	96.89
	80	180	12.80	5.78	8.89	91.11
	100	150	36.25	16.36	25.26	74.74
	140	106	29.80	13.45	38.71	61.29
	200	75	5.57	2.51	41.22	58.78
	270	53	58.00	26.18	67.41	32.59
	< 270	< 53	72.20	32.59	100.00	0.00
		221.52	100			

Tiempo 20 minutos	Malla	$\mu\text{m}$	Peso(g)	f(x)	G(x)	F(x)
	65	250	2.40	0.99	0.99	99.01
	80	180	8.95	3.69	4.68	95.32
	100	150	35.71	14.73	19.42	80.58
	140	106	23.42	9.66	29.08	70.92
	200	75	20.00	8.25	37.33	62.67
	270	53	69.68	28.75	66.08	33.92
	< 270	< 53	82.20	33.92	100.00	0.00
		242.36	100			

Tiempo 25 minutos	Malla	$\mu\text{m}$	Peso(g)	f(x)	G(x)	F(x)
	65	250	1.60	0.75	0.75	99.25
	80	180	5.50	2.58	3.33	96.67
	100	150	23.90	11.23	14.56	85.44
	140	106	15.82	7.43	21.99	78.01
	200	75	16.88	7.93	29.92	70.08
	270	53	57.00	26.77	56.69	43.31
	< 270	< 53	92.20	43.31	100.00	0.00
		212.9	100			

*Anexo 6 Condiciones de proceso de flotación experimental*

MOLIENDA		A	B
Equipo	Celda Dever D-15 Litros	5	5
Carga del mineral	kg	1	1
Carga de bolas	kg	10	10
Porcentaje de sólidos	%	60	60
Revoluciones	rpm	1700	1700
Tiempo de molienda	minutos	40	20
ACONDICIONAMIENTO			
Colector	g KAX/TM		45
	gA-208/TM	23	
Espumante	g aceite de pino/TM	56	56
Cal	kg cal/TM	4	4
pH		10,9	11,1
Tiempo	minutos	5	5
FLOTACIÓN			
Porcentaje de sólidos	%	33	33
Tiempo	minutos	3	3
ACONDICIONAMIENTO			
Colector	g KAX / t mineral	100	100
Espumante	g aceite de pino / t mineral	28	28
Tiempo	minutos	5	5
FLOTACIÓN			
Porcentaje de sólidos	%	33	33
Tiempo	minutos	5	5

**TRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS CON PRESENCIA  
DE CAOLINITA POR FLOTACIÓN PARA LA CONCENTRACIÓN DE  
MENAS DE COBRE**

.....  
**M(o). IPANAQUE ROÑA, JUAN MANUEL**  
Presidente

.....  
**M(o). COCA RAMIREZ, VICTOR RAUL**  
Secretario

.....  
**M(o). ABARCA RODRIGUEZ, JOAQUIN JOSÉ.**  
Vocal

.....  
**Dr. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER**  
Asesor