



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



### **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



# CONSTANCIA

N° 077-DI-FIMM-2025

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **TESIS** cuyo título es:

**“OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTACIÓN DE COBRE MEDIANTE EL  
USO DE UNA MEZCLA DE REACTIVOS ESPUMANTES,  
TENIENDO COMO COLECTOR EL XANTATO AMÍLICO DE  
POTASIO”**

Presentado por:

**ORMEÑO VELASQUEZ ALDO ANDRE**

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

**El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 17%.**

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 17 de septiembre de 2025.

Atentamente,

.....  
**DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN**  
**DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA FIMM**

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUÍS GONZAGA”**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia



Tesis:

**“Optimización de la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amílico de potasio”**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Línea de investigación: Metalurgia extractiva de metales.

Autor: ORMEÑO VELÁSQUEZ ALDO ANDRÉ.

ICA – PERÚ

2025

1

## DEDICATORIA

A mi madre, por ser mi pilar, mi ejemplo de fortaleza y el motor que siempre me impulsó a seguir adelante, aun en los momentos más difíciles. Este logro es tan mío como suyo, porque sin su amor y sacrificio nada de esto hubiera sido posible.

A mis hijos, la razón más grande para no rendirme. Ellos son mi inspiración diaria y el motivo por el cual busco superarme y dejarles un camino de esfuerzo y esperanza.

Con todo mi amor y gratitud, les entrego este logro.



## **AGRADECIMIENTOS**

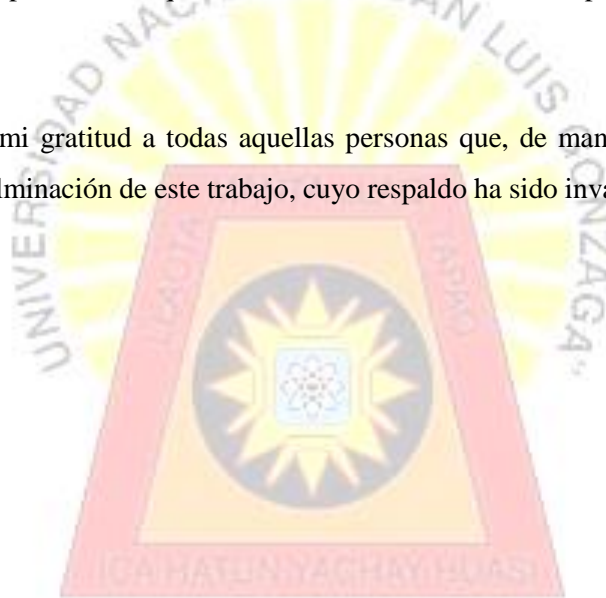
A Dios, por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesaria para culminar satisfactoriamente esta etapa académica.

A mi madre, por su ejemplo de esfuerzo, sacrificio y amor incondicional. Su apoyo constante y confianza en mis capacidades han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A mis hijos, quienes representan mi mayor fuente de inspiración y motivación para seguir superándome tanto en lo personal como en lo profesional.

A mis docentes y asesores, por su orientación, compromiso y dedicación en la formación académica que me ha permitido adquirir los conocimientos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, expreso mi gratitud a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este trabajo, cuyo respaldo ha sido invaluable en este proceso.



## INDICE DE CONTENIDOS

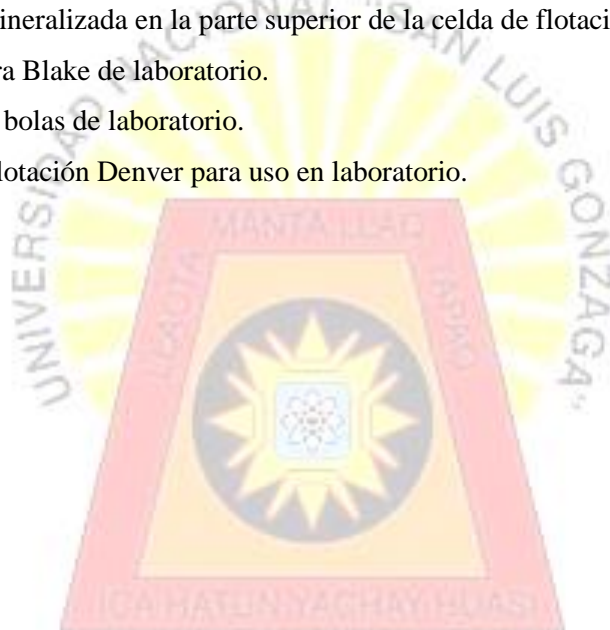
	Pág.
PORTADA	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
ÍNDICE DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
ABSTRACT	08
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	13
2.3. Marco conceptual.	22
2.4. Estrategia metodológica.	26
2.5. Procedimiento experimental.	27
III. RESULTADOS.	32
IV. DISCUSIÓN.	51
V. CONCLUSIONES	52
VI. RECOMENDACIONES.	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	54
VIII. ANEXOS.	55

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis químico cuantitativo del mineral.	32
Tabla 2. Análisis mineralógico cualitativo del mineral.	33
Tabla 3. Resultado de la moliendabilidad del mineral.	34
Tabla 4. Parámetros para la flotación del mineral con el colector Z-6.	35
Tabla 5. Determinación de la concentración del colector xantato Z – 6.	36
Tabla 6. Flotación del cobre con 30mg/L de espumante F-210.	37
Tabla 7. Flotación del cobre con 40mg/L de espumante F-210.	38
Tabla 8. Flotación del cobre con 50mg/L de espumante F-210.	39
Tabla 9. Flotación del cobre con 60mg/L de espumante F-210.	40
Tabla 10. Flotación del cobre con 30mg/L de espumante F-210D.	41
Tabla 11. Flotación del cobre con 40mg/L de espumante F-210D.	42
Tabla 12. Flotación del cobre con 50mg/L de espumante F-210D.	43
Tabla 13. Flotación del cobre con 60mg/L de espumante F-210.	44
Tabla 14. Datos comparativos de la recuperación de Cu con F-210 y F-210D.	45
Tabla 15. Flotación del cobre con mezcla de espumantes (30mg/L).	46
Tabla 16. Flotación del cobre con mezcla de espumantes (40mg/L).	47
Tabla 17. Flotación del cobre con mezcla de espumantes (50mg/L).	48
Tabla 18. Flotación del cobre con mezcla de espumantes (60mg/L).	49
Tabla 19. Rendimiento de los espumantes empleados en distintas concentraciones.	50

## INDICE DE FIGURAS

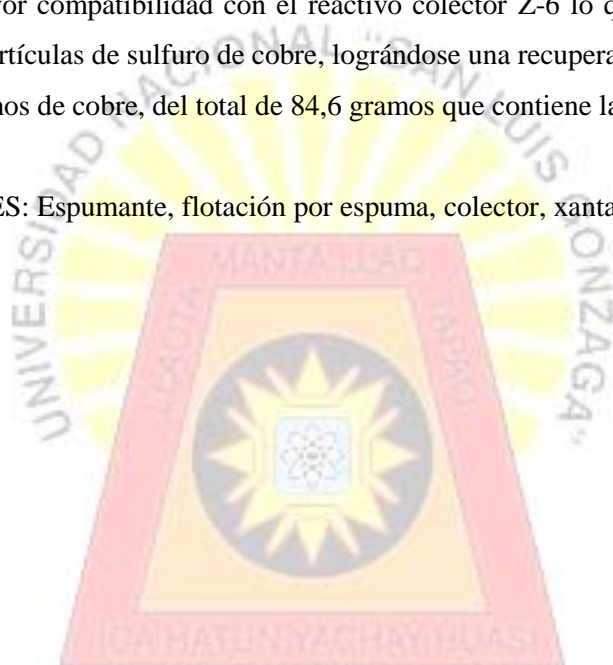
	Pág.
Figura 1. Espuma suspendida sobre la superficie de un líquido.	13
Figura 2. Generación de espuma por asociación de burbujas.	14
Figura 3. Formación de espuma al aplicar detergente en el agua.	15
Figura 4. Actividad del espumante para darle estabilidad a la burbuja.	17
Figura 5. Estructura del espumante y su posición en la burbuja.	17
Figura 6. Película líquida que rodea la burbuja.	18
Figura 7. Subida de la burbuja arrastrando el agua.	20
Figura 8. Mineral de calcopirita con cuarzo.	22
Figura 9. Mineral de bornita con azurita y cuarzo.	22
Figura 10. Esquema de principio de una celda de flotación de minerales.	23
Figura 11. Espuma mineralizada en la parte superior de la celda de flotación.	24
Figura 12. Chancadora Blake de laboratorio.	29
Figura 13. Molino de bolas de laboratorio.	30
Figura 14. Celda de flotación Denver para uso en laboratorio.	30



## RESUMEN

La presente tesis titulada **“Optimización de la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amílico de potasio”** es una investigación de tipo aplicada de nivel explicativo y de diseño experimental cuyo principal objetivo es estudiar el comportamiento y el rendimiento de una mezcla de reactivos espumantes del tipo frother cuya característica química es su basicidad y que poseen la propiedad de ser muy selectivos y de mucha fuerza espumante. En la parte experimental de la tesis se emplearon el F-210 y el F-210D, este último con propiedades mejoradas. Los resultados obtenidos indican que son compatibles con el colector Z-6, y que el F-210D posee un mayor rendimiento con relación al F-210 en la recuperación del cobre. La mezcla de ambos espumantes tiene una actividad más acentuada y una mayor compatibilidad con el reactivo colector Z-6 lo que permite captar una mayor cantidad de partículas de sulfuro de cobre, lográndose una recuperación de 64,64% lo que equivale a 54,3 gramos de cobre, del total de 84,6 gramos que contiene la muestra.

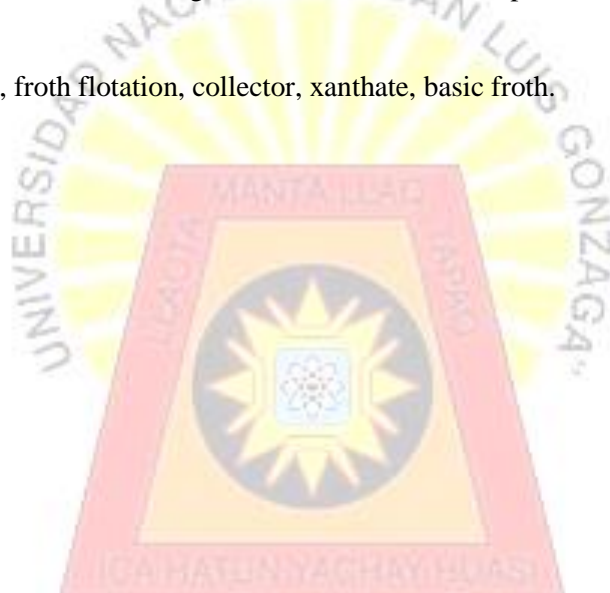
PALABRAS CLAVES: Espumante, flotación por espuma, colector, xantato, espumante básico.



## ABSTRACT

This thesis, entitled "Optimization of copper flotation using a mixture of foaming reagents, using potassium amyl xanthate as a collector," is an applied research project with an explanatory and experimental design level whose main objective is to study the behavior and performance of a mixture of frother-type foaming reagents whose chemical characteristic is their basicity and which have the property of being very selective and of great foaming force. In the experimental part of the thesis, F-210 and F-210D were used, the latter with improved properties. The results obtained indicate that they are compatible with the Z-6 collector, and that F-210D has a higher performance in relation to F-210 in copper recovery. The mixture of both frothers has a more pronounced activity and greater compatibility with the Z-6 collector reagent, allowing for the capture of a greater quantity of copper sulfide particles, achieving a recovery of 64.64%, equivalent to 54.3 grams of copper, out of the total 84.6 grams contained in the sample.

KEY WORDS: Froth, froth flotation, collector, xanthate, basic froth.



## I. INTRODUCCIÓN

La flotación de minerales es un proceso complejo que emplea reactivos de función específica como los colectores, espumantes modificadores de pH, depresores, activadores, etc. sin cuya ayuda la flotación no es eficiente. Entre estos reactivos los espumantes para la flotación de minerales juegan un papel importantísimo, son surfactantes que se utilizan para reducir la tensión superficial del agua, creando una espuma estable que permite transportar las partículas de mineral hidrofóbico a la superficie de la celda de flotación para su separación. Existen varias sustancias químicas que se emplean como espumantes entre ellos los polietilenglicoles y los alcoholes los cuales se eligen en función de su capacidad para formar una espuma móvil y persistente, ser económicos y ambientalmente amigables.

Los reactivos espumantes al ser agregados a la pulpa mineral cumplen diversas funciones tales como la reducción de la tensión superficial función que cumplen debido a que sus moléculas son heteropolares con una parte no polar que repele el agua y una parte polar atraída por el agua. Otra función que tienen es la de permitir la adsorción en la interfase líquido -gas lo que permite reducir la tensión superficial, lo que permite la formación de burbujas de aire pequeñas y estables. Al hacer que las burbujas sean más estables permite que en la superficie se forme una capa de espuma que captura las partículas minerales hidrofóbicas, llevándolas a la descarga para su recolección.

### **Planteamiento del problema.**

La complejidad de la flotación de minerales como proceso fisicoquímico, requiere de múltiples investigaciones para establecer parámetros que permitan asegurar que el proceso se está llevando de manera eficiente, lo que no solo significa que se está obteniendo el máximo porcentaje de metal en el concentrado, sino también cuanto de dinero se está ahorrando en reactivos y materiales y en la velocidad del proceso que en última instancia se traduce en ahorro de energía. Esto hace que las investigaciones que se plantean en torno a este método hidrometalúrgico de recuperación de metales sean muchas e inacabables. Uno de los problemas que se presentan durante la flotación es el uso de reactivos, el tipo de reactivos y la dosificación, así como la compatibilidad entre todos los reactivos en uso y como optimizar la función específica que cumplen cada uno de ellos. Dos de los reactivos de mayor importancia en el proceso de flotación de minerales son el colector y el espumante y la compatibilidad entre ellos debe de ser excelente a fin de crear superficies hidrofóbicas muy activas en las partículas que intervienen conformando la pulpa, sin lo cual el rendimiento es menor a lo esperado o calculado. Para verificar experimentalmente este efecto en el presente proyecto se propone el uso de una mezcla de espumantes cuyo diseño no colisione con las propiedades del colector xantato amónico de potasio y como resultado de ello se obtenga buenos resultados. Para ello se estudiará el tipo de espumante, sus propiedades químicas, su actividad espumante, y la compatibilidad con las propiedades químicas y funcionales del colector.

**Problema general:**

¿Es posible optimizar la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amílico de potasio?

**Problemas específicos.**

- a. ¿Qué tipo de reactivos espumantes se pueden mezclar para aplicarlos en la flotación de minerales de cobre?
- b. ¿Cuál sería la dosificación adecuada de reactivos espumantes que se considerarían en la mezcla para flotar minerales sulfurados de cobre?

**Objetivo General.**

Optimizar la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amílico de potasio.

**Problemas específicos.**

- a. Determinar el tipo de reactivos espumantes que se pueden mezclar para aplicarlos en la flotación de minerales de cobre.
- b. Determinar la dosificación adecuada de reactivos espumantes que se considerarían en la mezcla para flotar minerales sulfurados de cobre.

**Hipótesis general.**

Experimentalmente es posible optimizar la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amílico de potasio.

**Problemas específicos.**

- a. Los reactivos espumantes que se pueden mezclar para aplicarlos en la flotación de minerales de cobre son los espumantes básicos.
- b. La dosificación adecuada de reactivos espumantes que se considerarían en la mezcla para flotar minerales sulfurados de cobre, en pequeñas cantidades

**Variables:****Variable independiente:**

Mezcla de reactivos espumantes.

**Variable dependiente.**

Optimización de la flotación.

**Justificación e importancia de la investigación.****Justificación teórica.**

En la investigación se hará un estudio pormenorizado de los espumantes empleados en la flotación de minerales, de diferentes tipos especialmente los espumantes básicos tales como los Frother: F-210, F-210D.

**Justificación metodológica:**

La investigación propuesta es experimental, se realizarán diversos ensayos que permitan mezclar y conocer la conformación de las mezclas y la composición química de los componentes, esto se hará para poder regular los parámetros de la flotación.

**Justificación social:**

En todo proceso industrial metalúrgico se busca una máxima eficiencia en la recuperación de un determinado producto que en este caso es el cobre, ello conlleva a desarrollar diversas investigaciones en busca de reactivos que permitan un mayor rendimiento y eso es lo que se busca en la presente investigación.

**Justificación práctica:**

Desde el punto de vista práctico, con el uso de una mezcla de reactivos espumantes se está buscando que hacer más eficiente el proceso de flotación de los minerales sulfurados de cobre.



## II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

### 2.1. Antecedentes.

#### **A nivel internacional:**

Y. Orozco, [1] en su tesis aborda el estudio de una mezcla de espumantes que se usa en la flotación de minerales polimetálicos de cobre, en la tesis se hace un estudio muy profundo de la composición química de los espumantes y como está influye en la interacción con los otros componentes durante el proceso de flotación. La investigación es de tipo aplicada y de diseño experimental, cuyos resultados según el autor demuestran la posibilidad del uso de dos espumantes de composición química diferente y que sin embargo actúan fortaleciendo la capacidad espumante, lo que se traduce en burbujas más finas y pequeñas que aseguran una espuma estable durante su permanencia en la celda de flotación y una rápida separación del agua durante su permanencia en los estanques (cochas) de separación y secado.

T. Vargas [2] su estudio se verifica experimentalmente el efecto que tienen los espumantes sobre la relación entre recuperación de agua y recuperación por arrastre de partículas hidrofílicas en una celda de flotación a escala laboratorio. Con el fin de demostrar la hipótesis se realizaron pruebas con espumantes de distinta estructura molecular (alcoholes y polietilenglicoles), primero en ausencia de partículas, para caracterizar el sistema, y posteriormente en presencia de partículas hidrofílicas de cuarzo. Según el autor de la tesis los resultados muestran diferencias de comportamiento entre alcoholes y polietilenglicoles. En el caso donde se recupera el agua, los polietilenglicoles estudiados (PEG400, PEG300 y PEG200) reúnen una mayor concentración de agua en el concentrado en comparación con los alcoholes. Así mismo se demostró que la recuperación por arrastre, son los alcoholes (octanol, heptanol, MIBC y hexanol) los que arrastran más partículas de sólido al concentrado. Entre los datos obtenidos se advierte que los factores de arrastre (ENT) muestran menor valor para polietilenglicoles que para alcoholes, es decir, a igual recuperación de agua, estos últimos arrastran mayor cantidad de partículas, lo que se podría traducir en un efecto diferenciado sobre la selectividad del proceso de flotación.

#### **A nivel nacional.**

H. Herrera [3] su tesis consiste en la evaluación de espumantes en la flotación de minerales sulfurados con el fin de recuperar de Cobre a nivel laboratorio metalúrgico. El desarrollo del trabajo se hizo para evaluar, comparar y determinar un espumante que de mejores resultados en la recuperación de Cobre en el proceso de flotación colectiva. La muestra empleada estuvo compuesta por sulfuros primarios (calcopirita y bornita) y en

menor proporción sulfuros secundarios (calcosina, digenita, covelina y asociaciones de estas), con una ley promedio de 0,5% Cu y 0,02% Mo. En el circuito de flotación de Cobre hay un promedio de recuperación de 76%, pasando el resto del material valioso al relave, lo que implica una pérdida económica para la empresa. El desarrollo de la tesis es básicamente experimental, para lo cual se ha realizado pruebas de flotación de arenas y lamas, con diferentes tipos de espumantes como el F – 410, ER – 410 y F – 507. Siendo para el presente estudio la variable independiente: dosificación de espumante Orefloat F-410 en una concentración de 86,1µl y la variable dependiente: flujo de aire, que es de 20 a 60 (L/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 en planta y realizar su seguimiento.

#### **A nivel local.**

En los Centros de Estudios Superiores de la Región Ica, no se ha encontrado bibliografía sobre el tema que se plantea en este proyecto.

### **2.2. Marco teórico.**

#### **2.2.1. Espuma y espumantes para flotación.**

##### **2.2.1.1. Espuma.**

Cuando las burbujas adquieren cierta estabilidad y se agrupan formando una masa de determinado volumen se denomina espuma. Esta espuma es en realidad es una mezcla de líquido y gas (que puede ser agua-aire), siendo la burbuja una formación líquida finísima en cuyo interior está contenido el aire o el gas. En la conformación de la espuma las burbujas adoptan una configuración compacta juntándose una contra otras de tal forma que muchas veces su forma que normalmente debe ser esférica se ve achatada en los lados, lo cual depende del lugar donde estén confinadas y de la cantidad de burbujas que se acumulen en él. La superficie de la burbuja es una capa líquida muy fina a la cual se adhieren las sustancias que tienen características de superficie hidrofóbicas, es decir que rechazan o no son afines a al agua, conformando así un depósito para múltiples sustancias que pueden ser químicas líquidas o sólidas como pequeñas partículas de material no mojable.

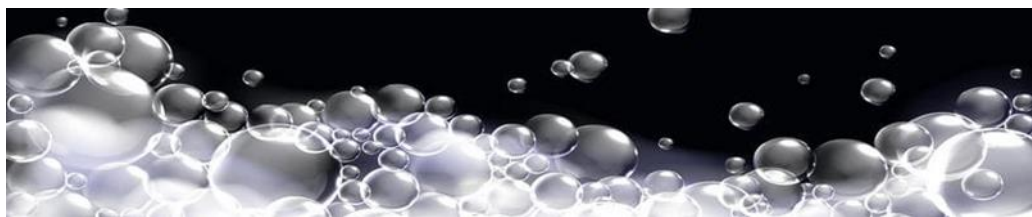
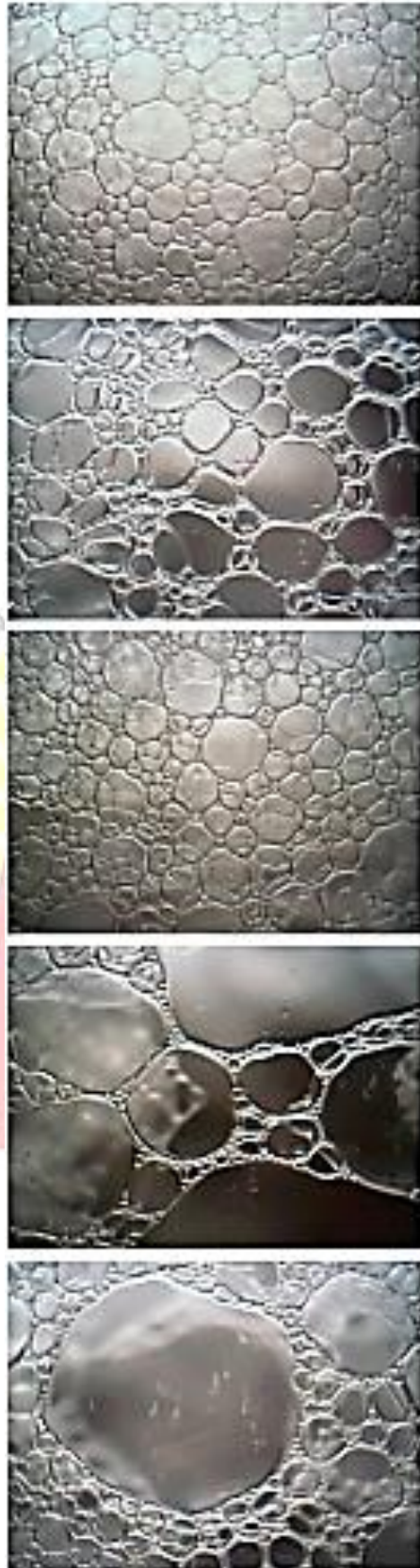


Figura 1. Espuma suspendida sobre la superficie de un líquido.

UNIVERSIDAD N



ONZAC

Figura 2. Generación de espuma por asociación de burbujas.

Existen tres requisitos indispensables para que la espuma se forme, estos requisitos son los siguientes:

1. Turbulencia generada por la agitación rápida debido al trabajo mecánico (generado por agitación mecánica de los álabes de un agitador) o neumático (generado por el ingreso a presión del gas a la celda) que ocasiona un movimiento caótico de gran turbulencia en el líquido.
2. Existencia controlada de compuestos tensioactivos o sustancias de superficie cuya función es disminuir la tensión superficial del líquido.
3. El más corto tiempo de generación de la espuma y su lenta descomposición. Es lo que corresponde a la estabilidad de la espuma.



Figura 3. Formación de espuma al aplicar detergente en el agua.

La existencia de la espuma es temporal y tienden a desaparecer en el menor tiempo posible ya que las fases que la conforman (líquido y gas) tienden a separarse o desaparecer. La temporalidad de la espuma en el tiempo pasa por tres etapas bien definidas: el drenaje, el coarsening y la coalescencia o colapso, etapas que a continuación de manera concreta serán descritas:

#### Drenaje

El drenaje del agua que conforma la fina película de las burbujas, el agua va drenando desde la parte superior gradualmente dejando ese sector totalmente seco y se va acumulando en la parte inferior donde la espuma está húmeda. Así se logra un perfil vertical de líquido que da lugar a que en el estado metaestable, la fuerza de gravedad esté equilibrada por la diferencia de presión vertical.

### Coarsening

Durante el coarsening se producen cambios relacionados con la presión de las burbujas las cuales se van juntando o fusionando donde las burbujas pequeñas de alta presión al fusionarse con otras pasan a ser de baja presión porque el aire pasa a una burbuja más grande y finalmente todas las burbujas se convierten en grandes con baja presión con lo que pierde estabilidad.

### Coalescencia y Colapso.

Desde el momento mismo que se forma la espuma inicia su autodestrucción prácticamente de inmediato, se va rompiendo la película líquida que separa las burbujas y el agua se va drenando, las burbujas se juntan y poco a poco van perdiendo volumen debido a la separación de fases. Esta destrucción de la espuma responde a causas internas y externas, las externas son la ruptura de la película líquida y el drenaje del agua, el polvo, los cambios de temperatura y a evaporación lo cual influye en el adelgazamiento de la película líquida.

#### **2.2.1.2. Espumantes.**

Se consideran que estos reactivos (los espumantes) al igual que los colectores son los reactivos de flotación más importantes para el proceso, se agregan en pequeñas proporciones a la pulpa con el fin de permitir que el aire o gas que ingresa a la celda pueda con mayor facilidad formar burbujas resistentes que en su superficie adsorban minerales que tienen la característica de repeler el agua, es decir que son hidrofóbicos, y que con las partículas adheridas son arrastradas hacia la parte superior de la pulpa donde se acumulan formando la espuma. Esta espuma se separa para que colapse por completo separándose las tres fases: el agua se recupera para el proceso, el aire se disemina en la atmósfera y el sólido es el concentrado de metales en un medio sulfuroso.

Los espumantes son sustancias orgánicas cuya función es disminuir la tensión superficial del líquido permitiendo un mejor contacto entre fases, por tanto, estos compuestos tienen superficies activas de carácter heteropolar, que permite que las soluciones formen espumas estables y burbujas de diámetro y tamaño óptimo que adsorben y transportan las partículas de mineral. Los reactivos espumantes poseen un enlace covalente polar, llamado también heteropolar que les permiten adsorberse en la interfaz aire-agua reduciendo la tensión superficial del agua, como resultado de ello se forman pequeñas burbujas que se aglutinan después en todo el líquido, dando como resultado una espuma muy estable que se acumula en la parte superior de la celda de flotación y una vez que se separa el agua y el aire se convierte en el concentrado.

La función prioritaria de estos reactivos (espumantes) es estabilizar la espuma de tal manera que no se destruya antes de que sea separada de la parte superior de la celda de

flotación y se convierta en concentrado. Cuando la espuma se separa, esta necesariamente debe de iniciar su destrucción, separándose el agua por drenaje, el aire que se desprende hacia la atmósfera y el sólido que queda como una masa húmeda conteniendo sulfuros de metales.

A la burbuja el reactivo espumante le proporciona una estabilidad que ofrece resistencia mecánica la cual responde al tamaño de la burbuja, el cual debe de ser pequeño con la suficiente presión para poder ascender con las partículas sólidas adheridas y no deben de chocar entre sí para evitar la coalescencia. La estabilidad que logra la burbuja se debe a que el espumante hace que la parte polar de la molécula quede retenida en la fina película de agua que constituye la pared de la burbuja, mientras que la parte no polar se orienta hacia el aire encerrado en la burbuja.

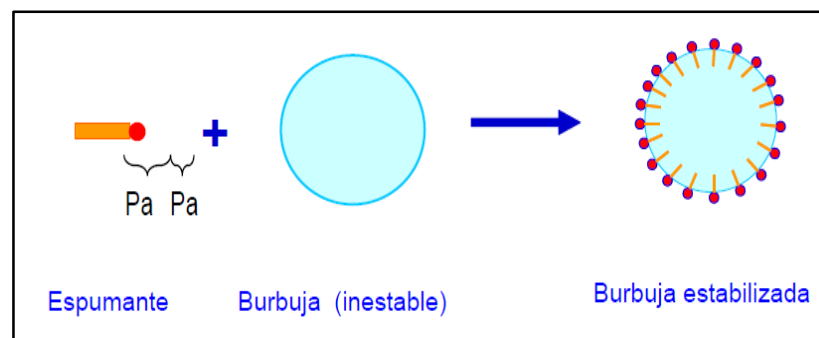


Figura 4. Actividad del espumante para darle estabilidad a la burbuja.

La estructura de los reactivos espumantes indica que su molécula tiene dos partes: una parte no polar (no iónica) que lo conforma un radical orgánico y la otra polar (iónica) conformada por grupos iónicos entre los cuales citaremos a hidroxil OHC, carbonil COOH, carbonil =C=O, amino -H<sub>2</sub> y sulfo -CHO<sub>2</sub>OH ó SO<sub>2</sub>OH.

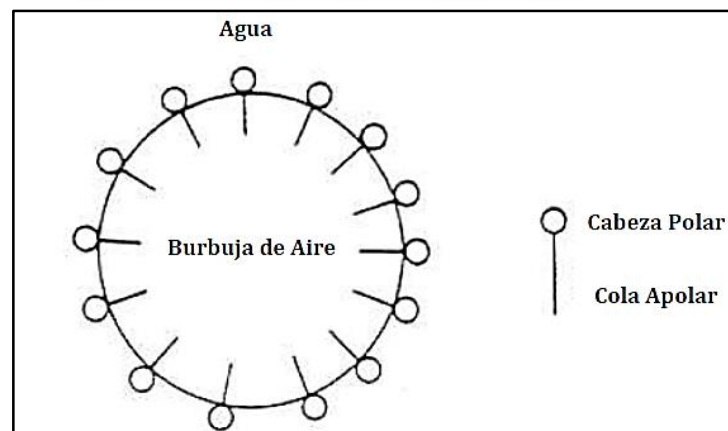


Figura 5. Estructura del espumante y su posición en la burbuja

En función a la composición química del mineral, en la industria se utilizan dosis desde 5 gramos por tonelada hasta 25 gramos por tonelada. Las razones por las cuales se agregan estos reactivos a la masa mineral de sulfuro se deben a las siguientes razones:

- a. Lograr una perfecta estabilidad de la espuma.
- b. Hacer que la tensión superficial del agua disminuya.
- c. Aumentar la velocidad de interacción burbuja-partícula.
- d. Hacer que la coalescencia sea más lenta.
- e. Lograr que las burbujas tengan un tamaño menor y apropiado.
- f. Controla la rapidez con que ascienden las burbujas que formaran la espuma.
- g. Incide en el trabajo que cumple el colector.
- h. Proporciona una mayor estabilidad a la espuma.

Cuando se agrega el espumante a la pulpa, se comienzan a formar las burbujas inmediatamente actuando reduciendo su tamaño, esto permite que la presión en el interior de la burbuja sea mayor y se minimiza el choque entre burbujas lo que evita la coalescencia. Como resultado de ello la burbuja es más estable, puede arrastrar hacia la parte superior las partículas minerales formando finalmente una espuma estable con un máximo de sulfuros metálicos, lo que es lo mismo decir la espuma es más rica y hay una mayor recuperación del sulfuro metálico.

Durante la flotación en la celda la inestabilidad de la espuma puede ser afectada por dos factores fundamentales: uno es la calidad del espumante y el otro el equipo que se emplea para producir la espuma, el cual tiene un diseño que le permite generar burbujas de diámetro pequeño y que su formación sea uniforme, a esto se suma la actividad del reactivo espumante el cual provoca una serie de efectos físico-químicos en la superficie de la película que delimita la burbuja, entre estos efectos está el formar una película líquida delgada necesaria para que no se produzca un drenaje inmediato del agua que conforma los enlaces de hidrógeno que se adhieren a la burbuja.

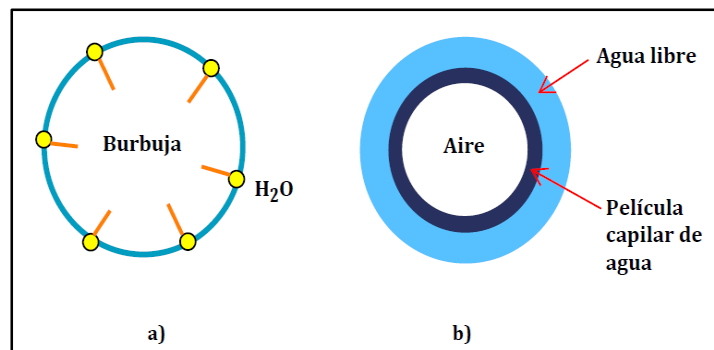


Figura 6. Película líquida que rodea la burbuja (a) Puentes de hidrógeno entre el agua y las moléculas de espumante (b) capa de agua que rodea la burbuja.

La película líquida se adelgaza debido a:

- a. Elasticidad de Gibbs: cuando la película líquida se elonga, la concentración del espumante disminuye aumentando la tensión superficial permitiendo que la película geoméricamente sea estable.
- b) Viscosidad de dilatación: cuando la superficie de la película se deforma y disminuye la concentración del espumante aumenta la tensión superficial local.
- c. Efecto Marangoni: está también relacionada con la deformación de la película líquida y formación de gradientes de concentración locales, lo que aumenta la tensión superficial.

### **Clasificación de espumantes**

En la flotación de minerales los reactivos espumantes utilizados son diversos, entre ellos los alcoholes, los poliglicoles y las mezclas con alcoholes, aldehídos y ésteres, de ellos los más usados son los alcoholes y poliglicoles.

#### Alcoholes:

Este tipo de sustancias se comportan como espumantes débiles ya que poseen una actividad superficial débil. Son muy rápidos y generan espuma inestable. De acuerdo con la longitud de la cadena su fuerza espumante se ve favorecida, esto hasta seis o siete carbonos.

Ejemplo: MIBC (Metil Isobutil Carbinol) llamado F-250 D

#### Poliglicoles:

Las sustancias denominadas poliglicoles están conformadas por una gran variedad de reactivos, que tienen una característica común como es el aumento de su peso molecular le permite recuperar más agua. Forma una espuma de mayor profundidad y estabilidad comparados con los alcoholes. Se en poco afectados por los cambios de pH y tienen alta capacidad de agua, dando espumas más resistentes al agua o sea más húmedas.

Ejemplo: Dowfroth 250,  $(\text{CH}_3(\text{PO})_4\text{OH})$ , donde PO es el óxido de propileno ( $\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$ ).

De acuerdo con el espesor de la película que constituye la pared de la burbuja, las espumas se clasificar en:

1. Burbujas de película delgada. Producen burbujas secas, adsorben menos ganga y son inestables y poco persistentes.
2. Burbujas de película gruesa. Producen espumas húmedas, arrastran mayor cantidad de ganga y son más estables y persistentes.

### **Las burbujas y la flotación de minerales.**

En el proceso de flotación cuando se forma la espuma se sucede la recolección de partículas minerales que rechazan el agua (que no se mojan) las cuales se adsorben a la

película fina de la burbuja. Los mecanismos que permiten esta aglutinación de partículas minerales son los siguientes:

La verdadera flotación que es propiamente el proceso de adsorción, el cual es selectivo y que permiten que las partículas hidrofóbicas se adhieran a las burbujas que por su flotabilidad se impulsan hacia arriba para luego ser separadas.

La flotación por arrastre es el proceso no selectivo donde intervienen las partículas hidrofílicas y las hidrofóbicas gracias a un efecto fluidodinámicos, en el cual el agua atrae las partículas hacia sí.

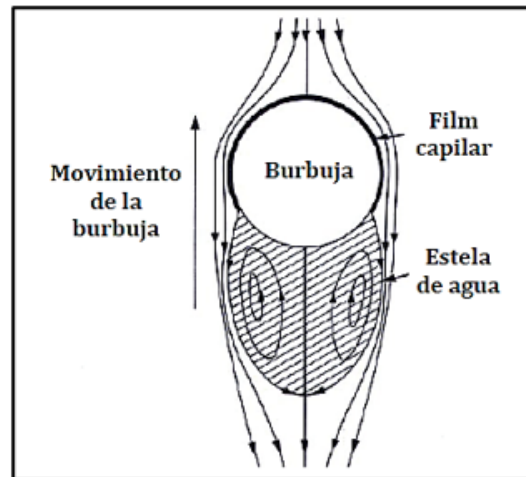


Figura 7. Subida de la burbuja arrastrando el agua.

El efecto fluidodinámico depende mucho del tamaño y la forma de las partículas que ingresan al proceso y las que ejercen mejor actividad son las finas cuyo diámetro no es mayor a 0,149mm. Cuando las partículas tienen un diámetro inferior a este, se separan de la burbuja y se unen al relave. Los finos o lamas que son finamente pulverizados se separan de la burbuja y se depositan en el fondo de la celda de flotación.

Teóricamente se dice que el pH no debe de afectar la actividad de un reactivo espumante de calidad, esto en la práctica no es cierto ya que el pH juega un papel importante en su actividad, que está demostrado, es más efectiva cuando el pH es alto o alcalino. Según el pH en el cual se forma la espuma los espumantes se clasifican en: básicos, ácidos y neutros.

Los reactivos espumantes considerados alcalinos generan más espuma muy estable a pH entre 8 y 14, entre estas están las piridinas de alto peso molecular.

Los ácidos espumantes son aquellos que geeran más espuma de mayor estabilidad a un pH ácido, tales como los fenoles (cresol, xilenol, aceite fenólico, etc.) y alquilarilsulfonatos (detergentes y sulfonatos)

Los reactivos espumantes neutros son aquellos que actúan sin considerar el pH de la pulpa, estos son la gran mayoría de los espumantes. Se dividen en tres grupos:

- a. Los conformados por alcoholes aromáticos y alicíclicos y terpineol.
- b. Los que conforman alcoholes alifáticos.
- c. Los que contienen esterres, monoéteres de polipropilenglicoles entre otras sustancias.

Los frother son espumantes básicos: **F-210 y el F-210D**

El frother F-210 es un reactivo espumante elaborado con alcohol terpénico, muy selectivo, Tiene aplicación en la flotación diferencial de minerales complejos de plomo-plata-zinc y polimetálicos como cobre- plomo-plata-zinc, que contienen pirita y sílice. Su dosificación está entre 10 y 70 g/t, muchas pruebas experimentales y ensayos industriales han comprobado que cantidades superiores a las arriba mencionadas actúa negativamente, es decir, disminuye su rendimiento.

#### Metil Isobutil Carbinol (MIBC)

Este reactivo espumante químicamente es un alcohol que tiene poca solubilidad en agua, sin embargo, es soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos. Se emplea como espumante en la flotación de sulfuros de cobre, molibdeno, oro, plata, minerales que contienen varios metales en su composición que pueden ser plomo, cinc, plata y en la flotación de no metálicos, como el carbón. MIBC como espumante actúa rápidamente formando una espuma fina, seca y estable durante el proceso de flotación, pero que se dispersa muy rápido en los colectores de concentrados. Este espumante es selectivo y recupera partículas finas de oro y plata. Mejora el rendimiento del proceso y la calidad de la flotación. MIBC es compatible con la mayoría de los colectores tanto los xantatos como los frother ya que puede ser usado en variados pH que va desde 6 hasta 14. Su dosificación varía desde 20 hasta 60 g/t. Experimentalmente se ha podido establecer que la cantidad necesaria para un proceso de flotación específico depende de varios parámetros que responden al mineral y al reactivo, entre ellos: la ganga, pH, granulometría, calidad del agua, etc.

---

#### **Propiedades fisicoquímicas:**

Componente: Metil Isobutil Carbinol

Peso molecular: 102 g/mol

Estado de agregación a 20 °C: Líquido transparente o amarillento

Densidad a 20°C (DIN 51757) 0,81 g/mL

Punto de congelación < - 90 °C

Punto de ebullición 132 °C

Flash Point (ASTM D 56, copa cerrada) 41 °C

Solubilidad en agua: Poco soluble

Viscosidad a 20 °C (ASTM D 2196) menor a 10 mPa

Efectos ambientales: es biodegradable, sin embargo, hay que evitar su descarga a las aguas superficiales o subterráneas.

## 2.2.2. Flotación de sulfuro de cobre

### 2.2.2.1. Sulfuros de cobre.

Los sulfuros de cobre que tienen importancia comercial son la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), covelita ( $\text{CuS}$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), tetraedrita ( $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) y enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ). En los yacimientos en los cuales se encuentran estos minerales se encuentran otros sulfuros de plomo, zinc, hierro, además de carbonatos, óxidos de cobre y de hierro. Uno de los sulfuros de cobre más importantes por su contenido de cobre es la bornita



Figura 8. Mineral de calcopirita con cuarzo



Figura 9. Mineral de bornita con azurita y cuarzo.

### Flotación de minerales.

Uno de los métodos hidrometalúrgicos de recuperación de metales es la flotación de minerales que es un proceso fisicoquímico en el cual los minerales sulfurados sometidos a molienda hasta malla 200 se tratan con pequeñas dosis de reactivos que tienen funciones específicas como los colectores, espumantes, modificadores de pH, inhibidores, etc haciendo posible que las partículas hidrofóbicas se adhieran fuertemente a las burbujas de aire que ascienden a la parte superior de la celda de flotación donde se aglomeran formando una espuma cargada de sulfuros metálicos, que es separada y luego se destruye dejando la parte sólida libre, que constituye el concentrado.

El mineral por flotar antes debe ser tratado físicamente, chancándolo previamente y luego a moliéndolo hasta malla # 200. Con este mineral se prepara la pulpa agregándole agua y los reactivos requeridos en pequeñas dosis para luego proceder a la flotación en una celda a la cual se le inyecta aire para generar las burbujas de aire que serán las encargadas de flotar las partículas minerales hidrofóbicas, que en la superficie de la celda forman la espuma que es separada y destruida para dar paso al concentrado.

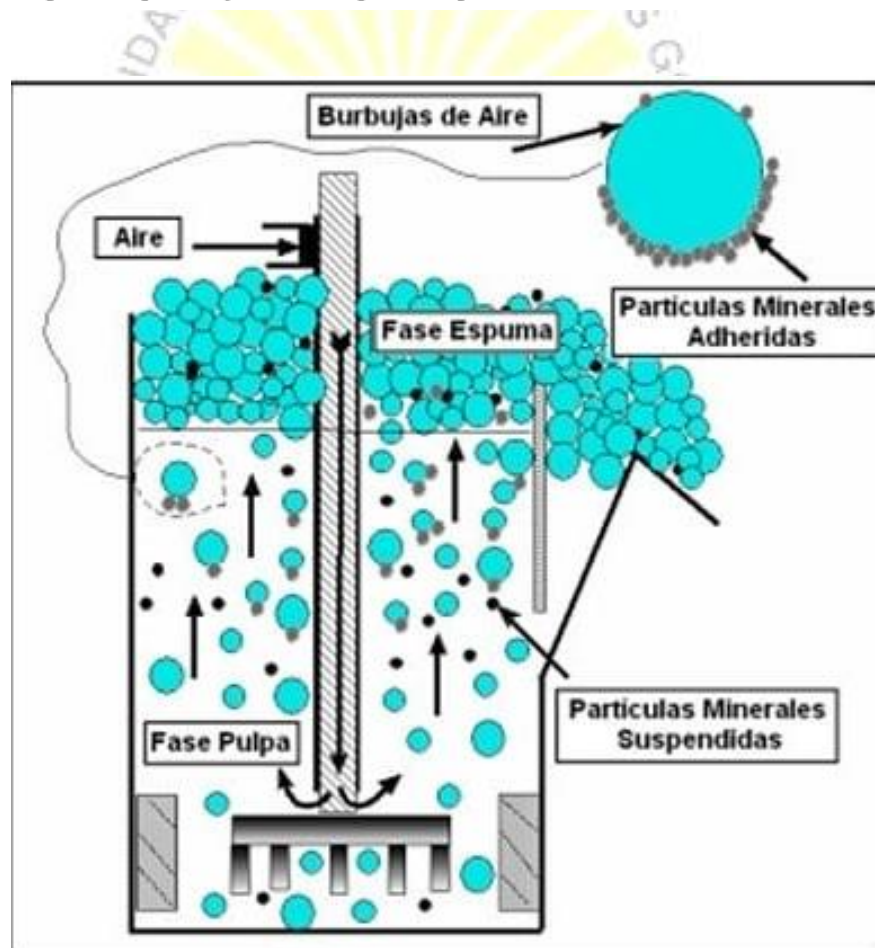


Figura 10. Esquema de principio de una celda de flotación de minerales.

El principal objetivo de la flotación es separar los sulfuros que se encuentran en la pulpa mezclados con otras especies mineralógicas de manera selectiva, en forma de concentrado. La eficiente separación del concentrado exige que la pulpa tenga una densidad adecuada que se consigue agregando una cantidad adecuada de agua en la cual se disolverán los reactivos colectores y espumantes entre otros.



Figura 11. Espuma mineralizada en la parte superior de la celda de flotación.

#### **Flotación del sulfuro de cobre**

En los yacimientos los sulfuros de cobre siempre están asociados a sulfuros de otros metales como el sulfuro de zinc, de hierro, de plomo, de plata, esto implica que inicialmente hay que hacer separaciones secuenciales mediante el uso de reactivos depresores para poder separar el sulfuro o los sulfuros elegidos en el proceso, como por ejemplo los sulfuros Cu-Pb.

Existen poquísimos depresores aplicados a los sulfuros de cobre, generalmente se usa el cianuro de sodio, para poder deprimirlo. En ciertos casos para lograr mejores resultados el cianuro de sodio se mezcla con otros reactivos como el sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) o el óxido de Zinc ( $ZnOx$ ) y cuando el mineral a tratar a parte de los sulfuros nombrados contiene pirita entonces hay que usar como depresor el óxido de calcio ( $CaO$ ) o el sulfato de amonio  $(NH_4)_2SO_4$ . En ocasiones como depresor también se puede dosificar a la pulpa permanganatos y la tiourea. En la parte experimental de esta tesis se empleará como depresor el cianuro de sodio como depresor del sulfuro de cobre mezclado con óxido de calcio llamado cal ( $CaO$ ) que tiene la capacidad de deprimir los sulfuros de hierro. Se emplean estos depresores ya que tienen la propiedad de no interferir con el colector Z-6.

A los espumantes básicos pertenecen los Frother, designados comercialmente con la letra **F**, entre ellos el **F-210** y el **F-210D**

**El frother F-210** es un alcohol terpénico que posee excelentes propiedades selectivas cuando se usa en concentraciones adecuadas, se emplea en flotación diferencial de minerales complejos de plomo-plata-zinc y polimetálicos como cobre- plomo-plata-zinc, con gangas de piritita y sílice. Su consumo varía entre 10 y 70 gramos por tonelada, se ha establecido que cantidades superiores a esta actúa de manera negativa.

**El frother F-210D**, es mucho más selectivo que el F-210 no posee acción colectora y también es efectivo en pequeñas concentraciones. Es efectivo para minerales sulfurados de plata-plomo-zinc-cobre-oro. Produce espumas estables y muy frágiles lo que permite removerlas de la celda de flotación con rapidez.

### **MIBC**

El metil isobutil carbinol (MIBC) es un espumante versátil y de acción rápida utilizado en la flotación de minerales, especialmente para sulfuros de cobre y molibdeno, carbón, oro y plata. Funciona reduciendo la tensión superficial del agua para crear una espuma fina y estable que recoge las partículas de mineral valiosas, mejorando la recuperación y el grado del concentrado.

Este espumante al igual que otros reactivos de su mismo tipo cumple varias funciones entre las cuales sobresalen: la reducción de la tensión superficial. El MIBC es una molécula orgánica con un grupo polar que se disuelve en el agua y un grupo no polar que repele el agua. Esta propiedad le permite absorberse en la interfase agua-aire. Al reducir la tensión superficial del agua, el MIBC promueve la formación de burbujas pequeñas y uniformes. Estas burbujas cuando se agrupan forman la espuma la cual es semi-estable, lo que significa que las burbujas cargadas con las partículas de mineral son lo suficientemente estables como para ser transportadas a la superficie de la celda de flotación sin colapsar prematuramente.

El MIBC posee un amplio espectro espumante por lo que se le utiliza en la flotación de una variedad de minerales, incluyendo cobre, molibdeno, oro y plata. Este reactivo forma una espuma fina y selectiva, seca y de buena sustentación, lo que ayuda a mejorar la selectividad y el grado del concentrado, es además compatible con la mayoría de los colectores de sulfuros metálicos, como los xantatos y los ditiofosfatos. El uso de este reactivo espumante genera una espuma estable y selectiva aumenta los niveles de recuperación del mineral valioso.

La dosificación de este reactivo (cantidad de MIBC) y el pH del sistema pueden afectar la calidad de la espuma; un exceso de MIBC o un pH alto puede generar espumas viscosas

y problemas. Por otra parte, hay que tener en cuenta que la cantidad de aire inyectada en la celda de flotación también debe regularse para mantener la estabilidad de la espuma.

### **2.3. Marco conceptual.**

#### **Espumante**

Sustancia química utilizada en la flotación para promover la formación de espuma estable, permitiendo que las burbujas transporten las partículas hidrofóbicas de cobre hacia la superficie.

#### **Flotación**

Proceso fisicoquímico de concentración de minerales en el que se aprovechan las diferencias de hidrofobicidad entre partículas para separarlas mediante burbujas de aire.

#### **Burbuja**

Bolsa de gas (generalmente aire) introducida en la celda de flotación. Las partículas de mineral se adhieren a ellas y flotan hacia la superficie.

#### **Celda de flotación**

Equipo donde ocurre el proceso de flotación. En ella se mezclan pulpa mineral, reactivos (colectores, espumantes, modificadores) y aire.

#### **Colector**

Reactivo que se adhiere a las partículas de mineral para hacerlas hidrofóbicas y permitir su adhesión a las burbujas de aire.

#### **Estabilidad de la espuma**

Capacidad de la espuma generada por los espumantes para resistir la ruptura. Una espuma demasiado estable puede arrastrar ganga (material no valioso); una espuma inestable pierde recuperación.

#### **Selectividad**

Capacidad del espumante (y del sistema de flotación) para recuperar preferentemente minerales valiosos como el cobre, sin arrastrar minerales no deseados.

#### **Corte de espuma (froth depth)**

Altura entre la superficie de la pulpa y la superficie de la espuma. Afecta directamente la recuperación y la ley del concentrado.

#### **Capacidad espumante**

Propiedad de un reactivo que mide cuán bien puede generar espuma. Depende de factores como la tensión superficial, viscosidad y química del medio.

#### **Alcoholes poliglicólicos**

Tipo común de espumantes usados en flotación. Ejemplo: MIBC (Metil Isobutil Carbinol), uno de los espumantes más utilizados.

### **Arrastre**

Fenómeno por el cual partículas de ganga o lodo son transportadas a la espuma sin haber sido realmente flotadas, debido a la estabilidad excesiva de la espuma.

### **Hidrodinámica**

Comportamiento del flujo del aire, pulpa y espuma dentro de la celda, influenciado por el tipo y cantidad de espumante, así como por las características del equipo.

### **Dosificación del espumante**

Cantidad de espumante agregada al sistema. Una dosificación incorrecta puede afectar la recuperación, la ley del concentrado o la estabilidad operativa.

### **Ley del concentrado**

Porcentaje de cobre (u otro mineral valioso) contenido en el concentrado final. Un espumante adecuado puede ayudar a mejorar esta ley al reducir el arrastre de ganga.

### **Reactividad superficial**

Capacidad de las partículas para interactuar con los reactivos y el aire. Un buen espumante mejora el contacto entre partículas y burbujas.

## **2.4. Estrategia metodológica.**

Esta investigación es de tipo aplicada ya que se busca que optimizar el rendimiento de la flotación empleando en el proceso una mezcla de reactivos espumantes. Por su nivel es explicativa y por su diseño es experimental ya que se manipula la variable independiente: mezcla de reactivos espumantes. La población estuvo conformada por mineral polimetálico sulfuroso de cobre que será recolectado en las canchas de minerales de las plantas de beneficio de Nasca; mientras que la muestra estuvo conformada por 20 kg de mineral sulfuroso con alto contenido de sulfuro de cobre que será sometida a ensayo en el laboratorio. La muestra seleccionada será chancada y pulverizada en la chancadora de quijadas y en el molino de bolas de laboratorio, una pequeña porción será analizada y el resto del material servirá para llevar a cabo los ensayos de flotación con la mezcla de reactivos espumantes y los otros reactivos de cobre que se emplean en el proceso.

Las técnicas empleadas son las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente, para ello los datos obtenidos fueron clasificados, tabulados, interpretados y discutidos.

## **2.5. Procedimiento experimental.**

### **RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.**

En la cancha de minerales de la planta de flotación de sulfuros de cobre “Mercurio”, se recolectaron las muestras de minerales sulfuro de cobre para realizar el estudio experimental de la presente tesis. Las muestras aparte de sulfuro de cobre, hay sulfuros y óxidos de otros metales como plomo, zinc, hierro, aluminio y níquel. De este mineral se

tomó una muestra de 40 kg que fue envasada en sacos de rafia de 10 Kg cada uno y se sellaron para luego transportarlo a la Facultad de Minas y Metalurgia donde el mineral se sometió a conminución.

#### TRATAMIENTO FÍSICO DE LA MUESTRA.

Una vez en el laboratorio el mineral fue tamizado para separar finos y luego se chanca hasta un diámetro de  $\frac{1}{2}$ ", seguidamente se muele hasta malla -200 de todo el mineral pulverizado mediante el cuarteo se toma una muestra representativa para el análisis y el resto se utilizó en los ensayos.

#### ANÁLISIS DEL MINERAL.

Para caracterizar el mineral se hicieron las siguientes determinaciones analíticas:

- Determinación de Cobre
- Determinación de hierro,
- Determinación de plomo,
- Determinación del zinc,
- Determinación de níquel,
- Determinación de Aluminio,
- Determinación de azufre
- Determinación de oro y
- Determinación de plata.

Los métodos de ensayo desarrollado en las pruebas experimentales están descritas en el anexo uno de la presente tesis.

#### FLOTACIÓN DE SULFURO DE COBRE

1. Objetivo:

Verificar la eficiencia de los reactivos espumantes mediante ensayos de laboratorio lo cual se medirá con la cantidad de plomo recuperado.

2. Equipo y material:

- Balanza granataria
- Balanza semi macroquímica
- Molino de bolas de laboratorio
- Celda de flotación Denver.
- Plato para plateos
- Filtro y horno de secado
- PHchímetro
- Agitador mecánico
- Material común de laboratorio.

3. Reactivos de flotación:
- Oxido de calcio
  - Colector Z-6
  - NaCN
  - F-210 y F210D (Espumantes)
  - MIBC (Espumante)
  - Mineral.

4. Procedimiento:

4.1. Preparación de reactivos.

Se prepara soluciones del colector en la cantidad adecuada:

Xantato Z-6                    0,30mg/L

El reactivo espumante F-210 y el espumante F-210D y MIBC se dosifican en pequeñas proporciones de mg/L. Las pruebas con cada uno de los espumantes se llevan a cabo por separado.

La cal se agrega directamente, previamente se pesa la cantidad requerida.

4.2. Molienda del mineral

1 kilogramo de mineral molido hasta malla #200.

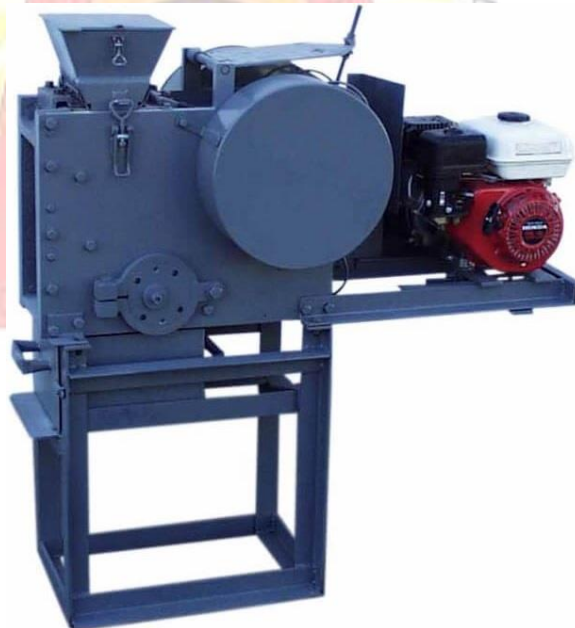


Figura 12. Chancadora Blake de laboratorio.



Figura 13. Molino de bolas de laboratorio.

Al molino se agrega 600mL de agua para formar la pulpa y luego la cal en una proporción de 2 g. Mantener el funcionamiento del molino durante 10 minutos o hasta que el 60% del mineral pases por la malla #200

5.1. Flotación

El mineral molido se agrega a la celda de flotación para acondicionarlo y luego poner a funcionar el impulsor para iniciar la flotación. Se gradúa la velocidad de rotación a 1300 rpm. Primeramente, se pone a funcionar la máquina con la válvula de aire cerrada, durante un minuto, después se mide el pH de la pulpa y se ajusta este empleando el óxido de calcio que se va agregando poco a poco hasta alcanzar el pH adecuado.



Figura 14. Celda de flotación Denver para uso en laboratorio.

Una vez que se inicia la flotación se van agregando los reactivos necesarios en la cantidad adecuada que se mezclan por aproximadamente dos minutos, luego se agrega el espumante y se agita 2 minutos más sin abrir la válvula del aire. Una vez terminado el acondicionamiento se abre la válvula del aire y se deja pasar este iniciándose de esta manera la flotación por espuma. La espuma que se va formando se separa y se va depositando en un recipiente y es lo que constituye el concentrado. A este concentrado se le somete a las pruebas reglamentarias para determinar cobre, y otros metales o compuestos. Es necesario controlar el tiempo de duración del proceso, separando el tiempo de acondicionamiento, del tiempo de flotación propiamente dicho.

5.2. Filtrado y secado de productos

Terminada la flotación, el concentrado resultante tiene tres fracciones, el concentrado es la primera, luego están los medios y finalmente las colas, aquí se produce la decantación del agua al romperse las burbujas y separare el líquido, es necesario filtrar haciendo uso de un filtro prensa o un filtro rotatorio los cuales trabajan con vacío. Cuando en esta separación el líquido no se separa rápidamente de los sólidos entonces se debe de emplear alguna sustancia floculante como el sulfato de aluminio. El peso de cada una de las fracciones se determina por diferencia de pesos.

5.3 Secado, pesado y preparación para el análisis.

Una vez filtrado el producto de la flotación, las fracciones por separado se llevan a un horno de secado para eliminar la humedad a una temperatura entre 90 y 100°C. Luego Los productos secos se colocan en bolsas que se cierran herméticamente, para ello previamente se debe enfriar el producto secado.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados obtenidos.

Tabla 1

Análisis químico cuantitativo del mineral

Componente	Concentración, %
Cobre, Cu	8,46
Hierro, Fe	3,10
Níquel, Ni	0,24
Plomo, Pb	0,13
Zinc, Zn	0,15
Aluminio, Al	0,26
Azufre (S)	11,42
Oro, Au	145g/tn
Plata, Ag	28g/tn

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 1 muestra los resultados del análisis químico cuantitativo de la muestra de mineral empleado en los estudios experimentales, como se observa el mineral analizado tiene 8,46% de cobre; 3,10% de hierro; 0,24% de níquel, 0,13% de plomo, 0,15% de zinc, 0,26% de aluminio, 11,42% de azufre y 145g/tn de oro y 28g/tn de plata.

Tabla 2

Análisis mineralógico cualitativo del mineral

Especie mineralógica	Observación
Calcopirita	+++
Pirita	++
Bornita	+
Galena	+
Covelina	++
Magnetita	+
Blenda	+
Azurita	+
Hematita	+
Malaquita	+

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 2 muestra los resultados del análisis cualitativo del mineral empleado en los estudios experimentales, los resultados indican que el mineral hay predominantemente: calcopirita en mayor proporción, seguido de pirita y la covelina en menor proporción pirita, galena y blenda, aparte de minerales oxidados como azurita, hematita, malaquita.



Tabla 3

Resultado de la moliendabilidad del mineral

Tiempo, min	% pasante malla #200
5	37,36
7	42,55
9	48,13
10	52,57
11	57,62
12	62,49
13	68,84
14	75,39

Fuente: Datos experimentales.

Condiciones de molienda:

Peso del mineral: 1000 gramos

Agua: 600mL

Malla Tyler: #- 200

Llenado del molino 40%

Velocidad Crítica: 70%.

Porcentaje de Poros en el Lecho de Bolas: 40%

Tamaño de Bolas: 1", 1 ¼", 1 ½".

La tabla 3 reporta los datos de muestra los resultados de la capacidad de molienda del molino para reducir en el mínimo tiempo un 60% del peso del mineral, como se observa en 12 minutos se reduce el 60% del mineral a malla #-200.

Tabla 4

Parámetros para la flotación del mineral con el colector Z-6

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 300
Granulometría del mineral, mm	0,074
Agua, L	1,800
Velocidad de agitación en el acondicionamiento, rpm	1 400
Velocidad de agitación en la flotación, rpm	1350
Porcentaje de sólidos, %	30,6
pH	10,5
Cal (CaO), g	6
Frother 210, mg/L	30, 40, 50, 60
Frother 210D, mg/L	30, 40, 50, 60
Colector Z-6, mg/L	30, 40, 50, 60, 70
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se muestran los parámetros bajo los cuales se llevará a cabo la flotación con la mezcla de espumantes y el colector Z-6. En la tabla se indica que los espumantes y el colector xantato amílico de potasio serán determinados mediante pruebas experimentales.

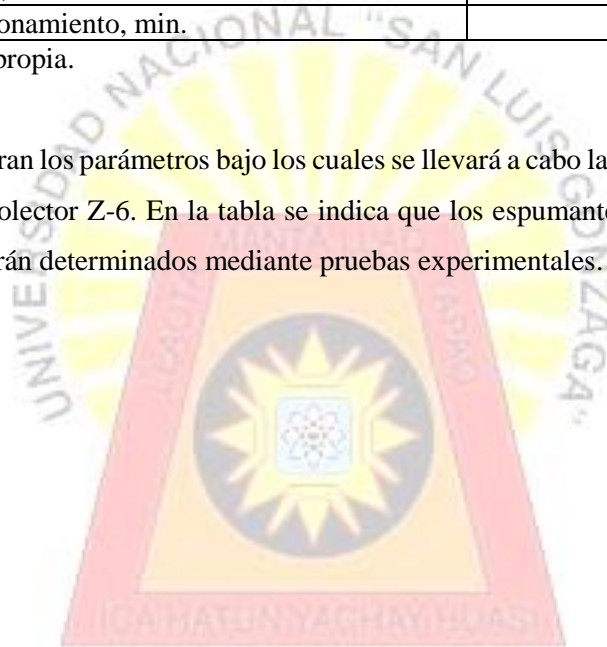


Tabla 5

Determinación de la concentración del colector xantato Z - 6

N° de ensayo	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	30	41,5
02	40	52,4
03	50	66,3
04	60	76,2
05	70	76,2

Fuente: Datos experimentales.

Cobre insoluble en la muestra: 84,6 g

Espumante empleado: 50 mg/L de MIBC

La tabla 5 muestra los resultados de los ensayos de flotación realizados para establecer la dosis de colector Z-6 que se debe de emplear para recuperar una cantidad máxima de cobre de la muestra, esto empleando como espumante el MIBC. Los resultados indican que se requiere de una concentración igual a 60mg/L del colector Z-6 para recuperar 81,2 g de cobre que equivale al 90,07% del total del cobre que hay en la muestra.



Tabla 6

Flotación del cobre con 30mg/L de espumante F-210

Prueba N°	Espumante F-210, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	30	60	21,7
02	30	60	21,3
03	30	60	21,9
04	30	60	21,4
05	30	60	21,1
Promedio, g			21,5

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 6 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 30mg/L del espumante F-210 y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210 solo se recupera 21,5g de cobre o sea el 25,41% del total de cobre presente en la muestra.

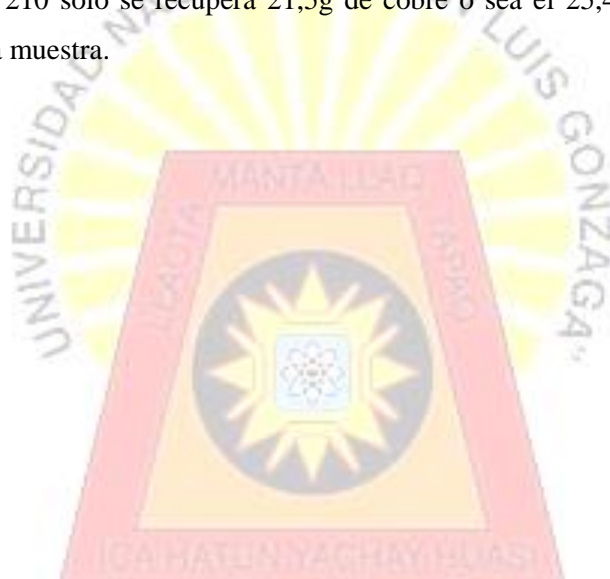


Tabla 7

Flotación del cobre con 40mg/L de espumante F-210

Prueba N°	Espumante F-210, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	40	60	29,2
02	40	60	29,5
03	40	60	29,3
04	40	60	29,7
05	40	60	29,2
Promedio, g			29,4

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 7 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 40mg/L del espumante F-210 y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210 solo se recupera 29,4g de cobre o sea el 34,75% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 8

Flotación del cobre con 50mg/L de espumante F-210

Prueba N°	Espumante F-210, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	50	60	36,2
02	50	60	36,5
03	50	60	36,3
04	50	60	36,7
05	50	60	36,2
Promedio, g			36,4

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 8 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 50mg/L del espumante F-210 y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210 solo se recupera 36,4g de cobre o sea el 43,03% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 9

Flotación del cobre con 60mg/L de espumante F-210

Prueba N°	Espumante F-210, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	60	60	44,7
02	60	60	44,2
03	60	60	44,5
04	60	60	44,1
05	60	60	44,6
Promedio, g			44,4

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 9 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 60mg/L del espumante F-210 y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210 solo se recupera 44,4g de cobre o sea el 52,48% del total de cobre presente en la muestra.

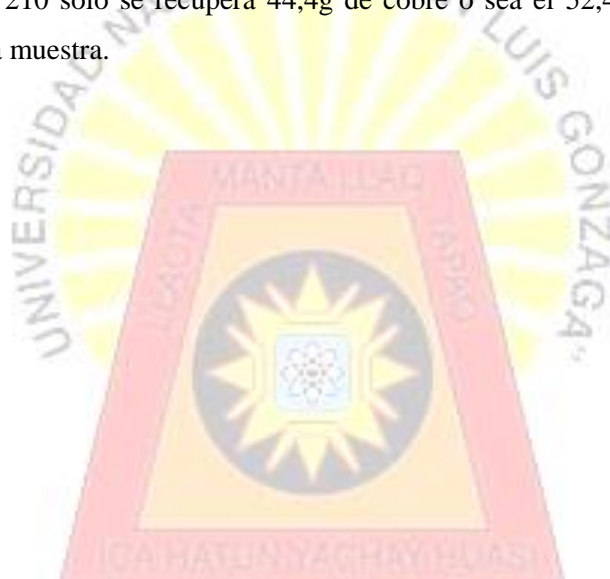


Tabla 10

Flotación del cobre con 30mg/L de espumante F-210D

Prueba N°	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	30	60	23,5
02	30	60	23,6
03	30	60	23,4
04	30	60	23,2
05	30	60	23,5
Promedio, g			23,4

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 10 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 30mg/L del espumante F-210D y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210D solo se recupera 23,4g de cobre o sea el 27,66% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 11

Flotación del cobre con 40mg/L de espumante F-210D

Prueba N°	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	40	60	31,1
02	40	60	31,4
03	40	60	31,8
04	40	60	31,5
05	40	60	31,6
Promedio, g			31,5

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 11 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 40mg/L del espumante F-210D y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210D solo se recupera 31,5g de cobre o sea el 37,23% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 12

Flotación del cobre con 50mg/L de espumante F-210D

Prueba N°	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	50	60	40,9
02	50	60	40,4
03	50	60	40,7
04	50	60	40,8
05	50	60	40,6
Promedio, g			40,7

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 12 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 50mg/L del espumante F-210D y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210D solo se recupera 40,7g de cobre o sea el 48,10% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 13

Flotación del cobre con 60mg/L de espumante F-210

Prueba N°	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
01	60	60	48,4
02	60	60	48,6
03	60	60	48,5
04	60	60	48,4
05	60	60	48,5
Promedio, g			48,5

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 13 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 60mg/L del espumante F-210D y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumante F 210D solo se recupera 48,5g de cobre o sea el 57,32% del total de cobre presente en la muestra.

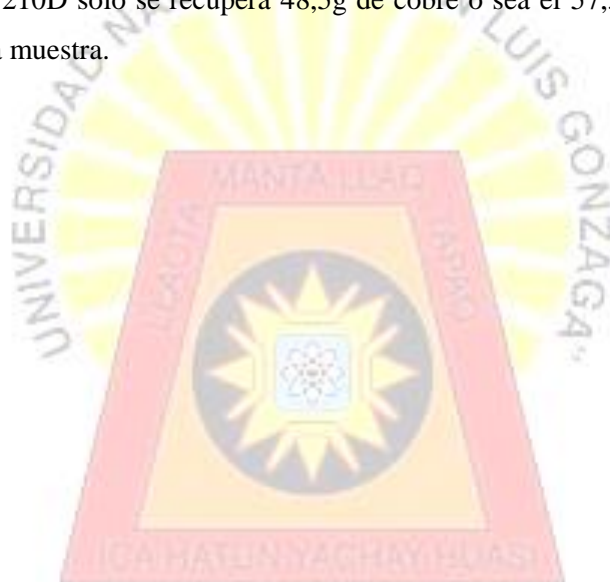


Tabla 14

Datos comparativos de la recuperación de Cu con F-210 y F-210D

Concentración Del espumante, mg/L	Cobre recuperado			
	F-210		F-210D	
	Gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje
30	21,5	25,41	23,4	27,66
40	29,4	34,75	31,5	37,23
50	36,4	43,03	40,7	48,10
60	44,4	52,48	48,5	57,32

Fuente: Datos de las tablas 6 – 13

En la tabla 14 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de flotación utilizando ambos espumantes: F-210 y f-210D por separado, como se observa el F-210D tiene una mayor fuerza espumante que el F-210, con este último se recupera un 52,48% de cobre y con el F-210D se recupera 57,32%.



Tabla 15

Flotación del cobre con mezcla de espumantes (30mg/L)

Espumante F-210, mg/L	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
15	15	60	24,7
15	15	60	24,6
15	15	60	24,7
15	15	60	24,8
15	15	60	24,8
Promedio, g			24,7

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 15 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 30mg/L de una mezcla espumante (15mg/L de F-210 y 15 mg/L de F-210D) y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumantes F-210 y F-210D se recupera 24,7g de cobre o sea el 29,19% del total de cobre presente en la muestra.

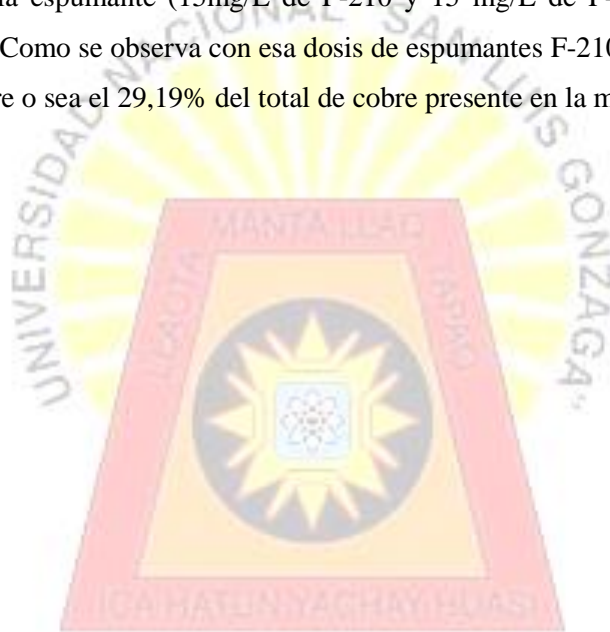


Tabla 16

Flotación del cobre con mezcla de espumantes (40mg/L)

Espumante F-210, mg/L	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
20	20	60	34,3
20	20	60	34,5
20	20	60	34,2
20	20	60	34,4
20	20	60	34,6
Promedio, g			34,4

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 16 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 40mg/L de una mezcla espumante (20mg/L de F-210 y 20mg/L de F-210D) y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumantes F-210 y F-210D se recupera 34,4g de cobre o sea el 40,66% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 17

Flotación del cobre con mezcla de espumantes (50mg/L)

Espumante F-210, mg/L	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
25	25	60	45,8
25	25	60	45,7
25	25	60	45,8
25	25	60	45,6
25	25	60	45,9
Promedio, g			45,7

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 17 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 50mg/L de una mezcla espumante (25mg/L de F-210 y 25mg/L de F-210D) y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumantes F-210 y F-210D se recupera 45,7g de cobre o sea el 54,01% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 18

Flotación del cobre con mezcla de espumantes (60mg/L)

Espumante F-210, mg/L	Espumante F-210D, mg/L	Colector Z-6, mg/L	Cu recuperado, g
30	30	60	54,2
30	30	60	54,5
30	30	60	54,3
30	30	60	54,2
30	30	60	54,4
Promedio, g			54,3

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 84,6 g

En la tabla 18 se muestran los resultados de los ensayos de flotación empleando 60mg/L de una mezcla espumante (30mg/L de F-210 y 30mg/L de F-210D) y 60 mg/L del colector Z-6. Como se observa con esa dosis de espumantes F-210 y F-210D se recupera 54,3g de cobre o sea el 64,64% del total de cobre presente en la muestra.



Tabla 19

Rendimiento de los espumantes empleados en distintas concentraciones

Concentración, mg/L	F-210	F-210D	Mezcla: F210 - F210D
	Porcentaje de cobre recuperado		
30	25,41	27,66	29,19
40	34,75	37,23	40,66
50	43,53	48,10	54,01
60	52,48	57,32	64,64

Fuente: Datos de las tablas: 6- 18.

La tabla 19 muestra en resumen el rendimiento alcanzado en la flotación del cobre empleando los espumantes: F-210, F210D y la mezcla de ambos, como se observa la mezcla de mbos espumantes es la que mejor rendimiento ofrece, dando un total de 64,64% que equivale a 54,3 g de cobre de los 84,6g que contenía la muestra.



#### IV. DISCUSIÓN

Las pruebas experimentales realizadas para evaluar el comportamiento de los espumantes empleados en la flotación del sulfuro de cobre, han permitido determinar que los espumantes básicos Frother 210 (F-210) y Frother 210D (F-210D) son compatibles con el reactivo colector xantato amílico de potasio (Z-6) comprobándose además, e base a los resultados obtenidos que el F-210D tiene mayor fuerza y es más selectivo por lo que se logran mayores porcentaje de rendimiento que el F-210 cuando se emplean solos, así tenemos que el F-210 tiene un rendimiento de 52,48% cuando se usa una concentración de 60mg/L, mientras que con esa misma concentración el F-210D tiene un rendimiento de 57,32%. Las condiciones o parámetros bajo los cuales se desarrollaron los ensayos de flotación empleando ambos espumantes fueron los mismos permaneciendo invariables al igual que la composición química del mineral que se empleó. La mezcla de estos dos espumantes tienen un mejor comportamiento durante el proceso de flotación lográndose un mejor rendimiento, el cual llega a un 64,64% cuando se emplea 60 mg/L de esta mezcla conformada por 30mg/L de F-210 y 30mg/L de F-210D.



## V. CONCLUSIONES

1. Mediante pruebas experimentales se ha podido demostrar que la mezcla de reactivos espumantes en presencia del reactivo colector el xantato amílico de potasio puede optimizar la flotación de sulfuros de cobre, elevando su rendimiento.
2. En el caso de la presente tesis se ha promovido la mezcla de dos reactivos espumantes de la misma clase (espumantes básicos) como el Frother 210 y Frother 210D lo cual nos ha permitido elevar el rendimiento de recuperación del cobre hasta un 64,64%.
3. Experimentalmente se ha considerado un máximo de 60 mg/L de reactivo espumante porque un exceso de este en la flotación de sulfuros de cobre causa espumas inestables y excesivas, lo que puede llevar a la pérdida de mineral valioso, ensuciamiento del concentrado, rebasamiento de los canales, y en casos extremos, a la depresión de la flotación. Además, puede causar la formación de una espuma demasiado viscosa y pesada, que se asienta en las celdas y dificulta la separación adecuada.



## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer ensayos con espumantes de diferente tipo a fin de estudiar su compatibilidad durante el proceso de flotación de minerales con los otros reactivos como por ejemplo el colector y con el mineral con el cual interactúa, así mismo la concentración requerida.
2. Realizar ensayos similares a los propuestos en la tesis pero cambiando el colector xantato por un ditiofosfato para comparar los resultados, buscando la eficiencia de la flotación lo que se debe de reflejar en la mayor recuperación del metal con un mínimo de reactivos.



## VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] J. Chique, “Estudio de efecto espumante de lignosulfonatos en flotación”, Tesis, Chile, Universidad de Concepción, Escuela de Posgrado, 2020.
- [2] W. Kraccht, “Estudio del efecto del tipo y concentración de espumante en la selectividad del proceso de flotación a escala laboratorio”, Tesis, Chile, Universidad de Chile, 2012.
- [3] M. Allendes, “Implementación de una metodología para selección de espumantes de flotación”, Tesis, Chile, Universidad de Magallanes, Facultad de Ingeniería, 2009.
- [4] I. Molina, “Estudio del efecto de la aplicación de espumantes en el proceso de flotación de mineral mixto de cobre” Tesis, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. 2017.
- [5] J. De La Rosa, “Flotación selectiva de minerales sulfuros de plomo-zinc en presencia de reactivos naturales del tipo quebracho”, Tesis, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [6] F. Barnachea, “Liberación de minerales sulfurados para la concentración por flotación de menas polimetálicos a nivel experimental en la empresa minera Paragsha”, Tesis, Perú, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de Huacho. 2019.
- [7] C. Ramos, “Estudio comparativo de espumantes F501, AF68, H508 aplicados al proceso de flotación de minerales sulfurados, para la optimización de la recuperación de cobre, en la planta concentradora Antapaccay”, Tesis, Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2020.
- [8] W. Noreña, “Influencia del Colector Flottec 8020 para mejorar la calidad del Concentrado de la Flotación Bulk en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. - Unidad El Porvenir – Pasco 2018”, Tesis, Perú, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2018
- [9] N. Farfan y C. Huaracallo, “Optimización del proceso de concentración por flotación de sulfuros de plomo con presencia de óxidos de plomo, utilizando la sulfurización en la concentradora de la minera Bateas”, Tesis, Perú, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2019.
- [10] C. Alvarado y O. Plasencia, “Influencia de la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 sobre la recuperación de plomo y zinc por flotación selectiva de un mineral polimetálico de la empresa minera Occidental 2 de Cajamarca S.R.L.”

## VIII. ANEXOS

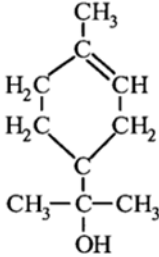
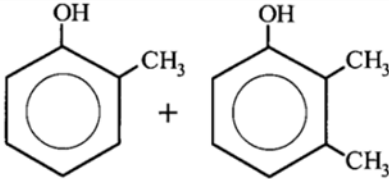
### Anexo 1: Tipos de espumantes.

#### TIPOS DE ESPUMANTES.

Existen diferentes tipos de espumantes, estos son:

(Laskowski,2001 como se citó en CHO, 2001)

1. Espumantes tipo Alcohol.Su estructura consta de un grupo alquilo unido a un grupo hidroxilo (R-OH).(a) Alcoholes alifáticos. Se usan cadenas de hidrocarburos de cadena lineal (C6 a C9) y ramificada (C6 a C16). Estos espumantes producen espuma de textura fina y bastante selectiva que son frágiles y, por lo tanto, No tienen problemas con el arrastre de agua o la estabilidad excesiva de la espuma. Generalmente tienen una solubilidad limitada en agua, pero se pueden dispersar fácilmente. Esta categoría de espumantes incluye alcohol iso-amílico, hexanol, ciclohexanol, heptanol, MIBC (metil-iso-butilo carinol) y 2 - etil hexanol.(b) Alcoholes cíclicos. Los tipos principales son compuestos contenidos en los aceites de pino y eucalipto. Ellos exhiben algunas propiedades de recolección y son muy populares para los concentradores de cobre.(c) Alcoholes aromáticos. El ácido cresílico es el espumante aromático más común. Se obtiene por destilación de alquitrán y contiene esencialmente una mezcla de cresoles y xilenoles. Su uso es limitado por su toxicidad.
2. Espumantes de tipo alcoxi.Su estructura consta de un grupo alquilo unido a un átomo de oxígeno (R-O-).Estos espumantes tienden a ser algo más poderosos y selectivos que los de tipo alcohol. Encuentran una amplia gama de aplicaciones en la flotación de sulfuros en Sudáfrica.
3. Espumantes tipo poliglicol.Su estructura consta de un grupo alquilo o un átomo de hidrogeno unido a una cadena de óxidos de etileno, óxido de propileno u óxido de butileno y a un grupo hidroxilo (R-(X)m-OH, R=H o C(n)H(2n+1), X=EO, PO o BO, m= número de cadenas de óxidos).La tercera clase principal de espumantes incluye compuestos fabricados por condensación de óxidos de alileno (por ejemplo, óxido de etileno, óxido de propileno u óxido de butileno) con o sin alcoholes alifáticos de bajo peso molecular. Van desde completamente miscible en agua a parcialmente soluble. Producen espumas finas y frágiles que generalmente son muy selectivas y no tienen acción de colectores. El grado de selectividad tiende a ser inversamente relacionado con el peso molecular.

	Name	Formula	Solubility in H <sub>2</sub> O
(1)	<p align="center"><b>Aliphatic alcohols</b></p> <p>Methyl isobutyl carbinol (MIBC)</p> <p>2-ethyl hexanol</p> <p>diacetone alcohol</p> <p>2,2,4-trimethylpentanediol 1,3-monoisobutyrate (TEXANOL)</p>	<p><b>R-OH</b></p> $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{OH} \end{array}$ $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2-\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{OH}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_3 \\   \quad \quad    \\ \text{OH} \quad \quad \text{O} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \quad \text{CH}_3 \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}-\text{CH} \\   \quad \quad   \quad \quad    \quad \quad   \\ \text{OH} \quad \quad \text{CH}_3 \quad \quad \text{O} \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad   \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{CH}_3 \end{array}$	<p>Low</p> <p>Low</p> <p>Very good</p> <p>Insoluble</p>
(2)	<p align="center"><b>Cyclic alcohols</b></p> <p><math>\alpha</math>-terpineol (Active constituent of pine oil)</p> <p>Cyclohexanol</p>	 $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{OH}$	<p>Low</p> <p>Low</p>
(3)	<p align="center"><b>Aromatic alcohols</b></p> <p>creylic acid (Mixture of cresols and xylenols)</p>		<p>Low</p>
(4)	<p align="center"><b>Alkoxy-type frothers</b></p> <p>1,1,3-triethoxybutane (TEB)</p>	$\begin{array}{c} \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \quad \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH} \\   \quad \quad   \\ \quad \quad \quad \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$	<p>Low</p>
(5)	<p align="center"><b>Polyglycol-type frothers</b></p> <p>DF 250</p> <p>DF1012</p> <p>Aerofroth 65 DF 400</p> <p>DF-1263</p>	<p><b>R(X)<sub>n</sub>OH, R=H or C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>, X=EO, PO or BO</b></p> $\text{CH}_3(\text{PO})_4\text{OH}$ $\text{CH}_3(\text{PO})_{6.3}\text{OH}$ $\text{H}(\text{PO})_{6.5}\text{OH}$ $\text{CH}_3(\text{PO})_4(\text{BO})\text{OH}$	<p>Very good or total</p> <p>Total</p> <p>32%</p> <p>Total</p> <p>Very good</p>

## Anexo 2: Ficha técnica Z-6



"Líderes en Calidad Cumplimiento y Servicio"

DISTRIBUIDORA DE QUÍMICOS INDUSTRIALES S.A

[www.dqisa.com](http://www.dqisa.com)

### FICHA TÉCNICA XANTATO AMILICO DE POTASIO (Z-6)

#### 1. NOMBRE DEL PRODUCTO: Xantato Amilico de Potasio

Fórmula Química: C6H11OS2 K  
Sinónimos: Amil Ditiocarbonato de Potasio  
Peso Molecular: 202.37

#### 2. ESPECIFICACIONES

Concentración: Mínimo 90%  
Densidad aparente: 0.47  
PH (Solución al 5%): 10.8  
Solubilidad en agua: Completa.

#### 3. OTRAS PROPIEDADES

Estado físico: Sólido.  
Color y olor: Blanquecino a amarillo, olor a azufre.  
Punto de fusión: 124 °C  
Peso molecular: 202.37  
Fórmula química: C6H11OS2K  
Los xantatos tienden a descomponerse en soluciones con un pH inferior a 6.0.

#### 4. APLICACIONES

En la industria minera EL XANTATO es usado como agente colector en la flotación de minerales de sulfuro, elementos metálicos tales como cobre, plata y oro y bastantes minerales oxidados de plomo y cobre.

Los xantatos son sustancialmente no espumantes y por lo tanto pueden emplearse en cualquier cantidad necesaria, sin peligro de producir espumación excesiva. Esto hace

FECHA REALIZACION	REALIZO	ACTUALIZO	I.Q. Iván Darío Ospina
2010/05/03	I.Q. Iván Darío Ospina	Mayo 05- 2020	

Carrera 50C No. 10 Sur - 18 PBX: 361 07 11 Ext 109 [iospina@dqisa.com](mailto:iospina@dqisa.com) Medellín Colombia



"Líderes en Calidad Cumplimiento y Servicio"

DISTRIBUIDORA DE QUÍMICOS INDUSTRIALES S.A

[www.dqisa.com](http://www.dqisa.com)

posible que mediante el uso de agentes espumantes no colectores en combinación con los xantatos, se logre un control altamente flexible y separado de la acción colectora y espumante, lo cual es una gran ventaja para mantener las condiciones adecuadas de flotación durante los cambios de mineral.

Los xantatos, debido a su elevado poder colector son empleados en la flotación de minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro en los cuales los principales minerales sulfurados son calcopirita, calcocita, energita, galena, escalerita, marmatita, pirita y pirrotita. Otra de sus aplicaciones incluye la concentración de cobre nativo, plata, oro y los sulfuros de hierro que contienen cobalto o níquel, así como la recuperación de piritas de hierro.

### Información Adicional

Los datos proporcionados en esta hoja, son tomados de fuentes confiables y representan la mejor información conocida actualmente sobre la materia, este documento debe utilizarse solo como guía para la manipulación del producto con la precaución adecuada, **DISTRIBUIDORA DE QUÍMICOS INDUSTRIALES** no asume responsabilidad alguna por reclamos, pérdidas o daños que resulten del uso inapropiado de la mercancía y/o de un uso distinto para el que fue concebida. El usuario debe hacer sus propias investigaciones para determinar la aplicabilidad de la información consignada en la presente hoja según sus propósitos particulares

FECHA REALIZACION	REALIZO	ACTUALIZO
2010/05/03	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Iván Darío Ospina Mayo 05- 2020

Carrera 50C No. 10 Sur - 18 PBX: 361 07 11 Ext 109 [iospina@dqisa.com](mailto:iospina@dqisa.com) Medellín Colombia

### Anexo 3: Matriz de consistencia

Título		Optimización de la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amilico de potasio							
Línea de investigación		Metalurgia extractiva de metales							
Autor (a)		ORMEÑO VELÁSQUEZ ALDO ANDRÉ							
					Metodología				
Problema principal	Hipótesis principal	Objetivo principal	Variable independiente.	Indicadores	Método de investigación	Población	Tipo de investigación	Técnicas de recolección de datos	Técnica estadística para tratamiento de datos
¿Es posible optimizar la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amilico de potasio?	Experimentalmente es posible optimizar la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amilico de potasio.	Optimizar la flotación de cobre mediante el uso de una mezcla de reactivos espumantes, teniendo como colector el xantato amilico de potasio.	Mezcla de reactivos espumantes	Tipo de espumantes	El método empleado en la presente investigación es el método científico, ya que para su desarrollo se ha planteado el problema, la hipótesis que se tiene que validar mediante la comprobación experimental	La población estará conformada por mineral sulfuro de cobre que se encuentran en las canchas de minerales de las plantas hidrometalúrgicas de Nasca	Aplicada	Técnicas analíticas	Los datos obtenidos se seleccionarán, se tabularán, interpretarán y discutirán.
Problemas específicos	Hipótesis específicas	Objetivos específicos	Variable dependiente	Indicadores		Muestra	Diseño de investigación	Instrumentos de recolección de datos	
<p>c. ¿Qué tipo de reactivos espumantes se pueden mezclar para aplicarlos en la flotación de minerales de cobre?</p> <p>d. ¿Cuál sería la dosificación adecuada de reactivos espumantes que se considerarían en la mezcla para flotar minerales sulfurados de cobre?</p>	<p>c. Los reactivos espumantes que se pueden mezclar para aplicarlos en la flotación de minerales de cobre son los espumantes básicos.</p> <p>d. La dosificación adecuada de reactivos espumantes que se considerarían en la mezcla para flotar minerales sulfurados de cobre, en pequeñas cantidades</p>	<p>c. Determinar el tipo de reactivos espumantes que se pueden mezclar para aplicarlos en la flotación de minerales de cobre.</p> <p>d. Determinar la dosificación adecuada de reactivos espumantes que se considerarían en la mezcla para flotar minerales sulfurados de cobre.</p>	Optimización de la flotación.	Gramos de cobre recuperado		40 kilogramos de mineral cuprífero sulfurado.	<p>El diseño de la investigación es experimental puro con dos grupos pre y post test, con el siguiente esquema:</p> <p>E A O1 x O2</p> <p>C A O3 O4</p> <p>Donde:</p> <p>A Sujetos</p> <p>X Experimento</p> <p>O1 y O3 Pre Test</p> <p>O2 y O4 Post Test</p> <p>E Grupo experimental</p> <p>C Grupo control</p>	Pruebas experimentales	