



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>



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METARLURGIA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD



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

"EVALUACIÓN A NIVEL EXPERIMENTAL DEL USO DEL ESPUMANTE FROTHER 210 EN LA RECUPERACIÓN DE LA PLATA POR FLOTACIÓN DE MINERALES REFRACTARIOS - NASCA - 2022"

Presentado por:

HUAMANI PAREDES DALITH MELINA

Estudiante del nivel PREGRADO de la **Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia**. El resultado obtenido es 2% por el cual se otorga el calificativo de:

(APROBADO, Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad)

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

APROBADO OBTUVO EL 2% (MENOR O IGUAL AL 20% REQUERIDO)

Ica, 26 de junio de 2023

.....
DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA

“UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia



Tesis:

**Evaluación a nivel experimental del uso del espumante frother 210
en la recuperación de la plata por flotación de minerales
refractarios – Nasca - 2022**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Línea de investigación: Metalurgia extractiva de metales.

Autora. HUAMANÍ PAREDES, DALITH MELINA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**NASCA – PERÚ
2023**

DEDICATORIA

La presente tesis esta dedicada a dios, ya que a el e logrado concluir mi carrera, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanos por sus palabras y compañía, a mi hijo que aunque no este físicamente conmigo se que desde el cielo siempre me cuida y me guía para que todo salga bien, gracias por su amor y comprensión por el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, a mis compañeras de universidad que de una u otra manera han contribuido para poder lograr mis objetivos.

La finalización de este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo profesional de mi asesor, el Ing. Alberto Peña Quijandria, quien con paciencia y conocimiento guio mi trabajo para lograr el desarrollo de mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a mi universidad por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, así también agradezco a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación.

Agradezco a mis padres por haberme apoyado durante todo este proceso de mi educación ya que sin ellos no sería la persona que soy hoy en día, gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mi y gracias a dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes. A su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos les agradezco y de igual manera hago presente mi mayor afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

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.	16
2.2.1. Espuma y espumantes para flotación.	16
2.2.2. Plata y flotación de mineral de plata.	25
2.3. Marco conceptual.	29
2.4. Estrategia metodológica	30
2.5. Procedimiento experimental	31
III. RESULTADOS.	41
IV. DISCUSIÓN.	53
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES.	55
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.	56
VIII. ANEXOS.	57

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1. Análisis químico del mineral.	41
Tabla 3.2. Análisis mineralógico cualitativo del mineral.	42
Tabla 3.3. Resultado de la moliendabilidad del mineral.	43
Tabla 3.4. Condiciones de flotación del mineral para establecer la concentración adecuada del colector Z-11.	44
Tabla 3.5. Determinación de la concentración del colector xantato Z – 11.	45
Tabla 3.6. Condiciones para la flotación del mineral empleando los espumantes F-210.	46
Tabla 3.7. Flotación de la plata con el espumante F-210 (20 mg/L)	47
Tabla 3.8. Flotación de la plata con el espumante F-210 (30 mg/L)	48
Tabla 3.9. Flotación de la plata con el espumante F-210 (40 mg/L)	49
Tabla 3.10. Flotación de la plata con el espumante F-210 (50 mg/L)	50
Tabla 3.11. Flotación de la plata con el espumante F-210 (60 mg/L)	51
Tabla 3.12. Plata recuperada en la flotación por espuma empleando diversas concentraciones de espumante F-210	52

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Imagen de la espuma generada.	17
Figura 2. Imagen de la espuma líquida formada con un detergente	17
Figura 3. Mecanismo de acción del espumante	19
Figura 4. Estructura de la molécula de espumante y su disposición en la burbuja.	19
Figura 5. Adhesión selectiva del mineral a la superficie de la burbuja.	20
Figura 6. Película de líquido alrededor de la burbuja.	21
Figura 7. Mecanismo de ascenso de la burbuja y el arrastre del agua.	23
Figura 8. Mecanismos de arrastre de partículas.	24
Figura 9. Proceso de la flotación por espuma.	27
Figura 10. Espuma en la parte superior de la celda de flotación.	27
Figura 11. Pellets de xantato isopropílico de sodio.	29
Figura 12. Horno de mufla.	35
Figura 13. Balanza analítica.	36
Figura 14. Chancadora de quijadas de laboratorio.	37
Figura 15. Molino de bolas de laboratorio.	38
Figura 16. Celda de flotación Denver.	39

RESUMEN

La presente investigación titulada “**Evaluación a nivel experimental del uso del espumante frother 210 en la recuperación de la plata por flotación de minerales refractarios – Nasca - 2022**” es una investigación teórico experimental de diseño experimental y de tipo aplicada en la cual se ha hecho un estudio sobre el empleo de un espumante muy poco usado en la flotación de plata el cual es el frother 210, el estudio mediante diversos ensayos ha establecido que dicho espumante puede ser empleado para la recuperación de plata bajo un pH alcalino no menor de 10,5 y con concentraciones un tanto elevadas que debe superar los 60 mg/L. La flotación que se ha desarrollado es selectiva y se requirió de depresores como el óxido de calcio, el cianuro de sodio y el sulfato de zinc para liberar la plata y poder recuperarla, como reactivo modificador se empleó el mismo óxido de calcio, que además de modificador de pH es un depresor de la pirita y su capacidad selectiva en este aspecto es alta. Las pruebas experimentales han demostrado la posibilidad de uso del F-210 como espumante en la recuperación de la plata, bajo las condiciones operativas ya mencionadas.

PALABRAS CLAVES: Espumante, flotación por espuma, colector.

ABSTRACT

The present investigation entitled "Experimental evaluation of the use of the foaming agent frother 210 in the recovery of silver by flotation of refractory minerals - Nasca - 2022" is an experimental theoretical investigation of experimental design and applied type in which a study on the use of a foaming agent that is rarely used in silver flotation, which is frother 210, the study through various tests has established that said foaming agent can be used for the recovery of silver under an alkaline pH of not less than 10.5 and with somewhat high concentrations that must exceed 60 mg/L. The flotation that has been developed is selective and depressants such as calcium oxide, sodium cyanide and zinc sulfate were required to release the silver and be able to recover it. The same calcium oxide was used as a modifier reagent, which in addition to pH modifier is a pyrite depressant and its selective capacity in this regard is high. Experimental tests have shown the possibility of using F-210 as a foaming agent in silver recovery, under the aforementioned operating conditions.

KEY WORDS: Frother, froth flotation, collector.

I. INTRODUCCIÓN

La plata generalmente no se encuentra aislada en los minerales, se encuentra con el oro constituyendo minerales que contienen sulfuros de otros metales, su recuperación en este tipo de minerales ofrece cierta dificultad que hace que los procesos de flotación sean cada vez más complejos en lo que se refiere a la selección de los reactivos a utilizar, entre ellos los espumantes. Durante la flotación, los espumantes intervienen en la creación de las condiciones hidrodinámicas ideales en las que participan las dimensiones de las burbujas y el atrapamiento por estas del gas en la pulpa de mineral que en ese momento se está procesando en la celda de flotación. Los espumantes generan una espuma lo suficientemente estable para retener los minerales colectados en la superficie de la pulpa con una densidad adecuada para que tenga la fluidez necesaria para romper la emulsión eliminando el aire para facilitar las operaciones posteriores. Estas propiedades juegan un papel importante en la factibilidad cinética del proceso de flotación y el grado de integridad y recuperación que se puede lograr en una celda o circuito de flotación. Uno de estos reactivos es el Frother 210 el cual experimentalmente se estudia en esta tesis.

Planteamiento del problema.

La recuperación de la plata a partir de minerales sulfurosos o también llamados refractarios, mediante el proceso hidrometalúrgico de la flotación es muy difícil por lo que como un producto secundario es tratado en la recuperación del oro, sin embargo, se requiere de métodos propios para los minerales que solo contienen plata la cual se encuentra encapsulada en sulfuros y en donde la mayor dificultad es la separación del metal precioso de la pirita. A fin de poder contribuir con los estudios sobre este problema en la presente investigación se propone hacer un estudio experimental que permita lograr la recuperación de la plata sin mayores inconvenientes, por lo que se está planteando el uso de espumante frother 210, que en múltiples investigaciones ha demostrado ser muy selectivo para la plata y depresor de piritas cuando se trabaja con colectores como el el xantato Z-11 o con colectores del tipo ditiofosfato, los cuales tienen en nuestro país muy poca aplicación industrial pero que sin embargo gozan de propiedades muy beneficiosas para flotación de la plata.

Problema general:

¿Cómo influye el uso a nivel experimental del espumante frother 210 en la recuperación de la plata por flotación de minerales refractarios – Nasca - 2022?

Problemas específicos:

- ¿Bajo qué parámetros el espumante frother 210 permitirá una máxima recuperación de plata a partir de minerales refractarios – Nasca - 2022?
- ¿Cuál es la concentración promedio de plata en los minerales refractarios de plata que se extraen de yacimientos del sur del país?

Objetivo General.

Determinar cómo influye el uso a nivel experimental del espumante frother 210 en la recuperación de la plata por flotación de minerales refractarios – Nasca - 2022.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros bajo los cuales el espumante frother 210 permitirá una máxima recuperación de plata a partir de minerales refractarios – Nasca - 2022.
- Determinar la concentración promedio de plata en los minerales refractarios de plata que se extraen de yacimientos del sur del país.

Hipótesis general.

El uso a nivel experimental del espumante frother 210 influye significativamente en la recuperación de la plata por flotación de minerales refractarios – Nasca - 2022.

Hipótesis específicas.

- Los parámetros bajo los cuales el espumante frother 210 permitirá una máxima recuperación de plata a partir de minerales refractarios son la concentración y el tiempo de residencia.
- La concentración promedio de plata en los minerales refractarios de plata que se extraen de yacimientos del sur del país es baja.

Variables:

Variable independiente:

Uso del espumante frother 210

Variable dependiente.

Recuperación de la plata por flotación

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación teórica:

Teóricamente la presente investigación se justifica porque aborda el estudio de nuevos reactivos en la flotación de la plata con el fin de obtener un mayor rendimiento en el concentrado. Se estudia también el efecto del espumante frother 210, su comportamiento frente a los diferentes sulfuros que conforman el mineral.

Justificación metodológica:

Desde el punto de vista metodológico, el estudio aplicará el método científico para desarrollar una investigación de diseño experimental, en la que se llevarán a cabo ensayos experimentales a partir de los cuales se establecerá las cantidades óptimas del espumante y cada uno de los colectores que deben ser usados en las prácticas industriales de flotación de minerales sulfurados de plata.

Justificación social:

Desde el punto de vista social, el hecho de mejorar la eficiencia en la recuperación de la plata influye en la rentabilidad de la empresa, que en definitiva servirá para mejorar el estándar de vida de los dueños de la empresa y de los trabajadores que en ella laboran.

Justificación práctica ó ambiental:

Desde el punto de vista práctico, el estudio plantea el uso del espumante frother con el fin de optimizar el proceso en la recuperación de la plata. Este espumante es selectivo y depresor de las piritas por lo tanto permitirá una buena recuperación de la plata.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

N. Hidalgo y colaboradores [1] realizó un estudio sobre la recuperación de oro y plata mediante flotación a partir de las escorias de la fundición, para lo cual primeramente se concentró en centrífuga la escoria y luego mediante flotación bajo diversos parámetros se concentró el oro y la plata. Las variables utilizadas fueron: tamaño de partícula, uso de colectores del tipo xantatos y también di-monotiofosfatos y tiempos diferentes de flotación. Los investigadores llegaron a la conclusión que la recuperación del oro y la plata mediante concentración por gravedad en una centrífuga Knelson es de 42.0 % y 13.7 % respectivamente. La recuperación de Au se mejora en un 87.7% a través de la flotación del estéril de la separación centrífuga y en un 47.4 % para la Ag. Siendo las condiciones óptimas: granulometría a malla número 200, colectores: PAX (15.8 g/t); F-C5439 (18.75 g/t), espumante MIBC (12.5 g/t) y un tiempo de flotación de 8.5 minutos.

Y. Mendoza y colaboradores [2] estudiaron la extracción de la plata con solventes basada en la tecnología de membranas líquidas (ML), que permite recuperar iones metálicos mediante un funcionamiento continuo, bajo consumo de energía, facilidad de integración con otros procesos de separación, condiciones de operación moderadas, fácil escalamiento y gran flexibilidad en el diseño de nuevas membranas para aplicaciones particulares. Este proceso de membrana líquida son de tres tipos membranas líquidas de volumen (MLV), membranas líquidas de emulsión (MLE) y membranas líquidas soportadas (MLS). El proceso de recuperación de la plata por medio de las membranas líquidas se lleva a cabo así: los desechos acuosos que contienen Ag se ponen en contacto con la membrana líquida, la cual es una disolución orgánica inmisible con el agua y que contiene un compuesto químico hacia el cual la plata tiene cierta afinidad (agente extractante o acarreador). La plata se extrae por tanto hacia esa disolución orgánica, separándola de sus contaminantes y transfiriéndola a otra solución de donde se puede aislar fácilmente.

J. Chique [3] en su investigación analiza el efecto espumante de tres diferentes lignosulfonatos (polímeros de alto peso molecular, que poseen lignina y sulfonato de características espumantes) utilizando técnicas de generación de espuma, entre las cuales están la medición de la tensión superficial, índice dinámico de espumabilidad, distribuciones de tamaño de burbuja y recuperación de agua. Los lignosulfonatos estudiados fueron los de sodio azucarado (NaLS), de calcio (CaLS) y lignina Kraft (KLS). Los ensayos realizados reportaron que estas sustancias tenían actividad espumante, es decir actividad superficial que variaba de acuerdo con el pH seleccionado, a pH alcalino funcionan con mayor eficacia y estaba relacionada con la polaridad y el peso molecular. El lignosulfonato de sodio tuvo el valor de Índice Dinámico de Espumabilidad (DFI) más elevado, a diferencia de los otros lignosulfonatos. Estas sustancias ensayadas mostraron capacidad para modificar el tamaño de las burbujas. Las pruebas de flotación indicaron que los lignosulfonatos de lignina Kraft y el lignosulfonato de sodio fueron

los que tenían una mayor capacidad espumante, mayor fuerza de tensión superficial, espumabilidad y tamaño de burbuja.

W. Kracht [4] estudió el efecto que poseen los espumantes sobre la relación entre recuperación de agua y recuperación por arrastre de partículas hidrofílicas en una celda de flotación a escala laboratorio, para ello se llevaron a cabo ensayos con espumantes diversos: alcoholes y polietilenglicoles, en primer lugar, sin partículas, para establecer las características del sistema, y luego con partículas hidrofílicas de cuarzo. Se reportaron diferencias de comportamiento entre alcoholes y polietilenglicoles. Se comprobó que los polietilenglicoles retenían más agua en el concentrado que los alcoholes. En la recuperación por arrastre, los alcoholes captaban más partículas sólidas en el concentrado. Al evaluar los factores de arrastre se estableció que los alcoholes tenían mayor capacidad que los polietilenglicoles. Para verificar la existencia de alguna relación con la selectividad del proceso de flotación, se ensayó con polietilenglicol (PEG300) y octanol con un mineral que contenía cuarzo y calcopirita mezclados, reportándose una mayor recuperación de cobre empleando PEG300.

M. Allendes [5] realizó experimentalmente la evaluación de diecinueve espumantes para flotación, pertenecientes a 4 familias de reactivos tensoactivos. Los ensayos se llevaron a cabo en condiciones de presencia de sólidos y sin sólidos, para hacer mediciones espumante-líquido, es decir, para establecer mediciones de tensión superficial e índice dinámico de espumación; también, se llevaron a cabo mediciones en un sistema líquido-espumante-sólido. Los resultados hallados en la investigación apuntan que la presencia de sólidos es indispensable para la estabilidad de la espuma, y que los reactivos que actuaron en las celdas de flotación tiene mejores propiedades espumantes. En la flotación Rougher se demostró que los reactivos ensayados dieron resultados muy similares a los obtenidos con reactivos tradicionales usados en la flotación de minerales en plantas industriales. El estudio también demuestra que el índice dinámico de espumación es un parámetro que no es suficiente para evaluar las propiedades de un espumante. Finalmente, la autora concluye que para la selección de un espumante se debe de evaluar mínimo la tensión superficial, en celdas de flotación.

I. Molina [6] en su tesis establece parámetros adecuados para la flotación de minerales compuestos por óxidos y sulfuros (mixtos), especialmente controlando la actividad del reactivo espumante y para ello ha trabajado con el DF400, un reactivo tensoactivo de alto poder espumante y muy selectivo. Para evaluar la efectividad de este espumante se llevaron a cabo ensayos de espumabilidad y de distribución de diámetro de las burbujas en celdas columnas similares a las empleadas en la industria metalúrgica. Se demostró que la variable que más influye en la espumabilidad es la salinidad que alcanza los 93%, la cual en presencia de sólidos disminuye en un 20%. El autor concluye que entre la ley del metal y la altura de la espuma existe una relación lineal cuando se trabaja con una mezcla DF400-MIBC en agua de mar, pudiéndose recuperar hasta un 6,8% del cobre presente en el mineral.

J. De La Rosa [7] en su tesis analiza las condiciones de la flotación de un mineral complejo compuesto por sulfuro de plata, sulfuro de zinc y cuarzo, el cual requiere de depresores para poder eliminar secuencialmente los componentes que están en el mineral como impurezas o ganga, que en este caso es el cuarzo para luego poder separar los sulfuros de plomo y zinc juntos, en su investigación el autor empleo como reactivo depresor el quebracho, que según ensayos realizados se pudo comprobar actúa tan igual como los depresores comerciales con un alto comportamiento depresor, separando el cuarzo, con la misma eficiencia con la que lo hace el dióxido de calcio o el cianuro de sodio. Com resultado de las investigaciones experimentales el autor concluye que el quebracho que es una sustancia natural, no tóxica y no contaminante, permite una recuperación de plomo del 20,82% y de zinc del 80,84%, empleando una concentración de quebracho de 20 mg/L en el circuito de flotación.

Antecedentes nacionales.

A. Castro [8] en su tesis sobre recuperación de plata y oro a partir de relaves de flotación, plantea recuperar oro y plata mediante la segregación para separarlos de los minerales refractarios especialmente pirita que representa un gran porcentaje. Esta segregación requiere primeramente mezclar el mineral y luego peletizar en partículas de 1 cm de diámetro aproximado, seguidamente se lleva a cabo la segregación y finalmente se recupera por flotación tanto el oro como la plata. La tesis de diseño experimental, se desarrolló utilizando 30 muestras mezcladas con coque a 450 y 650°C en tiempos que van desde 25 a 75 minutos. Se empleó para los ensayos un reactor de acero inoxidable. La recuperación de oro fue de 73,8% y de la plata de 64,0%. Los resultados óptimos se encontraron al trabajar con temperaturas de 710°C, mezclando el mineral con coque y sal en una relación de 1,3:1% y agregado cobre en una proporción menor a 0,12%.

R. Feria [9] empleando como muestra relave de flotación de un mineral polimetálico que contenía 1,99 g/TM de oro y 7,20 g/Tm de plata, a nivel experimental recuperó estos metales plata mediante flotación Para ello primeramente el relave se sometió a remolienda para separar las partículas de metales preciosos que estaban encapsuladas en sulfuro de hierro y en cuarzo, esto permitió lograr una máxima recuperación de oro y plata en el proceso. La remolienda permitió reducir el diámetro de las partículas a la vez que se liberaba de manera más eficiente el oro y la plata que normalmente se encuentren encapsulados en los minerales refractarios y en el cuarzo, lo que impide una buena recuperación. De esta forma la recuperación del oro que inicialmente fue del 61% paso a ser de 72,8 por ciento y de la plata del 70,6%

F. Barnachea [10] desarrollo un estudio experimental con el fin de recuperar plata de un mineral polimetálico, el cual fue sometido a preparación física y análisis en el laboratorio de la planta minera Pargsha. La muestra tomada fue chancada, posteriormente molida en un molino de bolas de laboratorio, la molienda fue húmeda y en ella se dosificaron los reactivos necesarios para lograr una recuperación máxima de ambos metales en una flotación bulk. en el circuito rougher

y scavenger. Como resultado obtenido se tiene un concentrado bulk para una ley de cabeza de 1.46% de Pb, 0.65% Zn, 18.15% Fe, 156 g/t Ag, 0.04% PbOx, 0.02% ZnOx,

C. Ramos [11] evalúa la capacidad espumante de los reactivos para flotación F501, AF68 y H508, en el tratamiento de un mineral polimetálico que contiene calcopirita, (CuFeS₂), calcocita (Cu₂S), covelita (CuS), bornita (Cu₅FeS₄), teniendo como ganga silicatos, carbonatos, cuarzo, etc. Las pruebas de flotación llevadas a cabo fueron flotación cinética y flotación en la etapa rougher. Reportándose como resultado más saltante una recuperación del 94,96% empleando el espumante F501 el cual fue dosificado en un peso de 42.323 g/TM, en un tiempo de residencia de 10.054 (min). A las mismas pruebas y a las mismas condiciones se sometieron a ensayo de flotación los otros reactivos seleccionados como espumantes, con los cuales los resultados no fueron óptimos es más se les pueden considerar muy pobres por lo que el autor no los tomó en cuenta en sus reportes. En una de sus conclusiones el autor sostiene que la recuperación en la planta en ese momento era de 88%, lo que significaba que con el espumante F501 la recuperación se podría incrementar hasta en un 6 %, lo que significa una mayor productividad para la empresa y por ende mayores ganancias en la comercialización del concentrado.

W. Noreña [12] con el fin de buscar un colector reemplazante del AEROPHINE 3418, el cual, en el circuito de flotación Bulk, tiene un rendimiento muy bajo, por debajo de los estándares en la recuperación de concentrados de plomo y cobre. En el estudio se hicieron diversos ensayos para establecer la dosificación adecuada del colector para lograr una recuperación del metal en porcentajes rentables para la empresa, pero el reporte de dichos ensayos indica que el AEROPHINE 3418 no es un colector adecuado para la recuperación del plomo y cobre. Como resultado de ello la investigación desarrollada se ensayó con el colector FLOTTEC 8020, con el que se llevó a cabo ensayos para establecer los parámetros óptimo para el empleo de dicho reactivo en el circuito de flotación Bulk y poder reemplazar el A-3418. Las pruebas experimentales realizada indicaron que el flottec 8020, tiene un mayor rendimiento en la recuperación de plomo y cobre en concentraciones por encima de los estándares.

N. Farfán y C. Huaracallo [13] con el fin de optimizar el proceso de flotación en la recuperación del plomo realizaron ensayos teniendo en cuenta los principales parámetros de trabajo como la densidad de la pulpa, concentración del colector y concentración del espumante. Las pruebas preliminares permitieron recuperar un 87.93% de plomo bajo las siguientes condiciones: densidad de pulpa 1250g/L, 0,1g/TM de colector AR242 y 0,029 mL de espumante MIBC. El Mineral empleado en las pruebas contiene principalmente sulfuros y óxidos de plomo, malaquita; mientras que el material no metálico (gangas) contiene cuarzo, piritita, magnetita, limonita y arcillas componentes de los sulfuros, es decir, flotables con una ley de Pb de 5.94%. Durante los ensayos se establecieron parámetros como: tiempo de molienda que fue de 12 minutos, tamaño de partícula de 65% -200 malla, tiempo de flotación 8 minutos, densidad de Pulpa 1250 g/mL, Cantidad de colector AR242 de 0,1g/TM y pH 8, 5.

C. Alvarado y O. Plasencia [14] en su tesis hicieron un estudio sobre la influencia de la dosificación de los colectores AP-3418 y AR-404 en la recuperación de plomo y zinc mediante el proceso de flotación selectiva de un mineral polimetálico. Los ensayos se llevaron a cabo en una celda de flotación, modelo Denver D-12. El mineral empleado como muestra con una granulometría 60% -200 mallas con una ley de 4.48% de plomo y 14.82% de Zinc. Se estableció que sin colector se recupera solo 32,29% de plomo pero cuando se agrega la cantidad requerida de colectores se recupera un 50, 29% de plomo. Para el caso del zinc sin colector se recupera 49.38 % y con los colectores 56,50%. Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%.

A nivel local.

En las universidades de la ciudad de Ica, no se ha encontrado repositorios sobre el tema propuesto en esta investigación.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Espuma y espumantes para flotación.

2.2.1.1. Espuma.

Se define la espuma como una sustancia conformada por burbujas de aire o gas retenidas en un sólido o en un líquido, siendo una de sus características que el volumen de gas es mucho mayor que volumen del líquido o del sólido, estos últimos forman finas películas que separan las burbujas. En la espuma existe un conjunto de burbujas agrupadas de manera compacta, en contacto íntimo, formando estructuras exclusivas de geometrías definidas por las uniones de burbujas que replican su arreglo y forma en diferentes direcciones y dimensiones, unidas gracias a las paredes de las películas delgadas de líquido por donde circula la solución que las forma cuando se inyecta un gas.

Existen tres requisitos para que se forme la espuma: primeramente, un trabajo mecánico para crear el movimiento caótico, turbulento del líquido, lo cual se genera por agitación, dispersando un gran volumen de gas en un líquido, o inyectando a presión el gas en el volumen de líquido. En segundo lugar, la existencia de tensioactivos o componentes activos en la superficie para bajar la tensión superficial del líquido. En tercer lugar, la espuma debe formarse con mayor rapidez y descomponerse lentamente.



Fig. 1. Imagen de la espuma generada [6]



Fig.2. Imagen de la espuma líquida formada con un detergente [4]

Las espumas son sistemas que se encuentran fuera del equilibrio termodinámico, y una vez que se forman están destinadas a desaparecer debido a la total desaparición de las fases. Su evolución en el tiempo se lleva a cabo mediante tres procesos básicos: el drenaje, el coarsening y la coalescencia o colapso.

Drenaje

Debido a la gravedad inmediatamente después de formada la espuma, el líquido inicia su drenaje iniciando este proceso desde la parte superior de la espuma, hasta convertirse en espuma seca, sin embargo, allí donde hay contacto con el líquido (parte inferior de la espuma), esta permanece húmeda. De esta manera se desarrolla un perfil vertical de líquido lo que permite que, en el estado metaestable, la fuerza de gravedad esté equilibrada por el gradiente de presión vertical.

Coarsening

Este proceso también es llamado desproporción, y abarca el periodo en el que se produce el cambio sucesivo de las burbujas en la espuma. Aquí la diferencia en las presiones internas de gas entre burbujas adyacentes de distinto tamaño conduce al paso de gas desde las burbujas más pequeñas que poseen presiones altas, a las más grandes que tienen una presión baja. Esta transferencia o paso se produce a través de la fina película de líquido que las separa. De esta manera el tamaño medio de burbuja en una espuma crece continuamente, por lo que las espumas no se pueden considerar sistemas en estado metaestable.

Coalescencia y Colapso.

La espuma líquida generalmente no tiene mucha duración ya que las películas que constituyen las paredes de las burbujas van rompiéndose progresivamente y las burbujas que quedan van cambiando de tamaño reduciéndolo, lo que equivale a la destrucción de la espuma y la separación de las dos fases en forma total. Las causas del colapso de la espuma, se debe a múltiples factores internos y externos como la ruptura la película, el drenaje del líquido, los cambios térmicos, la presencia de polvo, la evaporación también contribuye al adelgazamiento de la película las cuales se vuelven más inestables rompiéndose con mayor facilidad.

2.2.1.2. Espumantes.

Dentro de los reactivos empleados en la flotación de minerales se encuentran los espumantes, los mismos que se agregan a la pulpa para retener el aire o el gas empleado formando burbujas sobre cuya superficie se adhieren los minerales hidrofóbicos y son arrastrados hacia la superficie de la pulpa donde se acumulan con el material valioso para luego ser separados como concentrados en los cuales la espuma colapsa totalmente separándose la fase gaseosa de la líquida y de la sólida.

Los espumantes son sustancias orgánicas tensoactivas, es decir que poseen superficies activas y carácter heteropolar que como consecuencia de su empleo en las soluciones generan una espuma estable y burbujas de las dimensiones adecuadas para captar y transportar al mineral hacia el concentrado. Gracias a su característica heteropolar, los espumantes se adsorben en la interface aire-agua, disminuyendo la tensión superficial del agua. Este efecto permite que en el líquido se puedan formar pequeñas burbujas y se vayan aglutinando en todo el volumen del líquido formando la espuma estable en la parte superior de la celda de flotación, donde se acumula la espuma que constituye el concentrado. De lo dicho anteriormente se deduce que una de las principales funciones de los reactivos espumantes es darle estabilidad a la espuma que se acumula en la parte superior de la pulpa, para que el concentrado sea retirado de allí antes de que la espuma se extinga. Sin embargo, después de esta etapa es necesario que la espuma se extinga totalmente para seguir con el proceso, es decir la separación del agua por drenaje con la consiguiente liberación del material sólido que es el concentrado que posee el material rico, como sulfuro de metales.

La estabilidad que le da a la burbuja el espumante es en realidad una adecuada resistencia mecánica, que las mantiene dispersas, evitando de que choquen entre si y se extingan (coalescencia). Esto hace que durante el proceso de flotación exista una mayor superficie de adsorción del metal hidrofóbico y por tanto mayor recuperación de los sulfuros metálicos. Para lograr la estabilidad de la burbuja, la estructura polar de la molécula del espumante se adsorbe en la película líquida conformada por el agua (interface agua – aire) con su parte no polar orientada hacia el gas (aire).

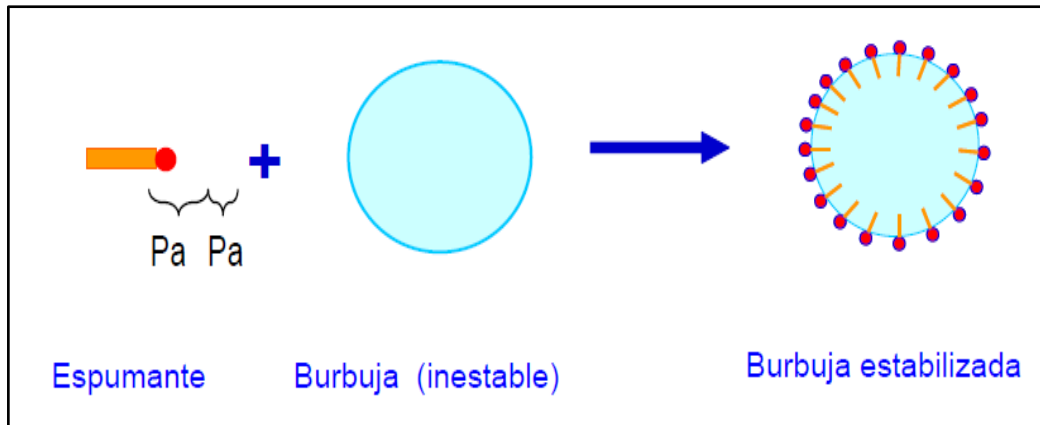


Fig. 3. Mecanismo de acción del espumante [4]

Como ya se dijo la molécula de un espumante posee dos partes: una no polar formada por el radical orgánico y la otra polar compuesta por grupos polares tales como hidroxil OHC, carbonil COOH, carbonil =C=O, amino -H₂ y sulfo -CHO₂OH ó SO₂OH.

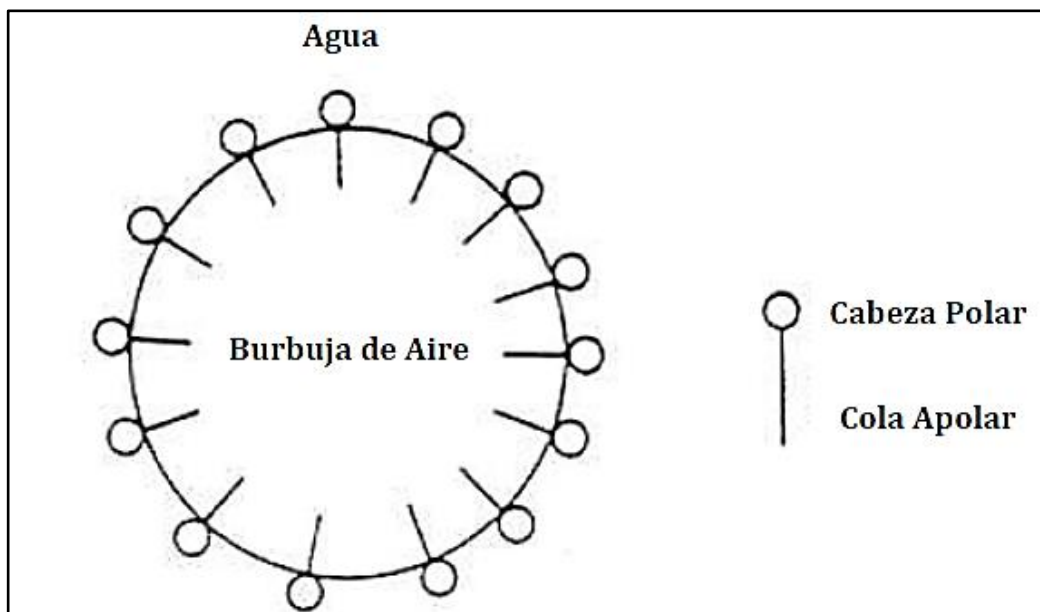


Fig. 4. Estructura de la molécula de espumante y su disposición en la burbuja [4]

En la industria se emplean dosificaciones que van desde 5 gramos por tonelada hasta 25 gramos por tonelada, esto dependiendo de la naturaleza del mineral. Las razones por las que se agregan estos reactivos a la pulpa de mineral sulfurado se deben, a los siguientes motivos:

- a. Para lograr la estabilización de la espuma.
- b. Para hacer descender la tensión superficial del líquido.
- c. Optimizar la cinética de interacción burbuja-partícula.
- d. Disminuir el choque entre burbujas, es decir la coalescencia.
- e. Para lograr burbujas de menor tamaño, debido a la dispersión uniforme del aire en el volumen de la pulpa.
- f. Regula la velocidad de ascenso de las burbujas.
- g. Afecta la actividad del reactivo colector.
- h. Aumenta la resistencia de la película de la burbuja mineralizada de la espuma formada.

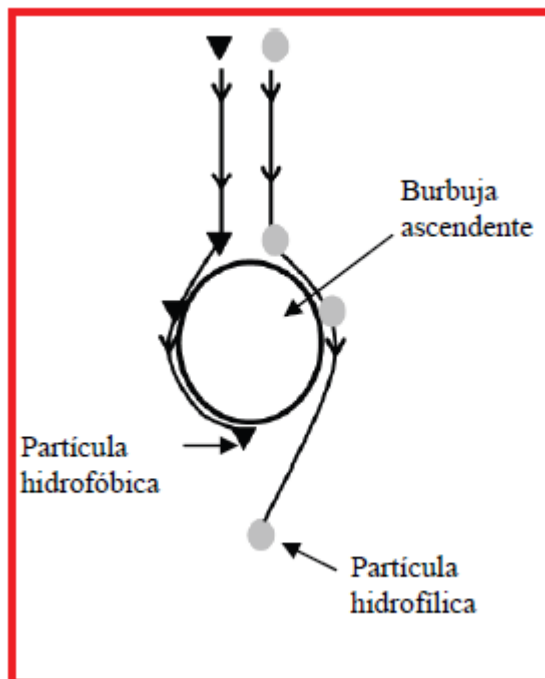


Fig. 5. Adhesión selectiva del mineral a la superficie de la burbuja [6]

Uno de los efectos inmediatos que producen los espumantes en la burbuja es la reducción de su tamaño a fin de evitar la choque entre ellas una vez formadas en el interior de la pulpa y la consecuente ruptura de una o de ambas provocando la coalescencia. Este efecto es el que da estabilidad a la burbuja y permite que ella forme una espuma capaz de retener en su superficie al mineral concentrado.

En la estabilidad de la espuma no solo ejerce acción el espumante, sino también el equipo generador de burbujas, el cual debe de estar diseñado para proporcionar burbujas de pequeño diámetro y distribuidas de manera regular con una distribución uniforme, lo cual se va a ver fortalecido por la acción del espumante, el mismo que va a generar una serie de fenómenos fisicoquímicos en la película superficial de la burbuja, como el retardo del adelgazamiento de

la película líquida impidiendo un drenaje rápido del agua, el cual es generado por la formación de puentes de hidrógeno con las moléculas de agua circundantes a la burbuja.

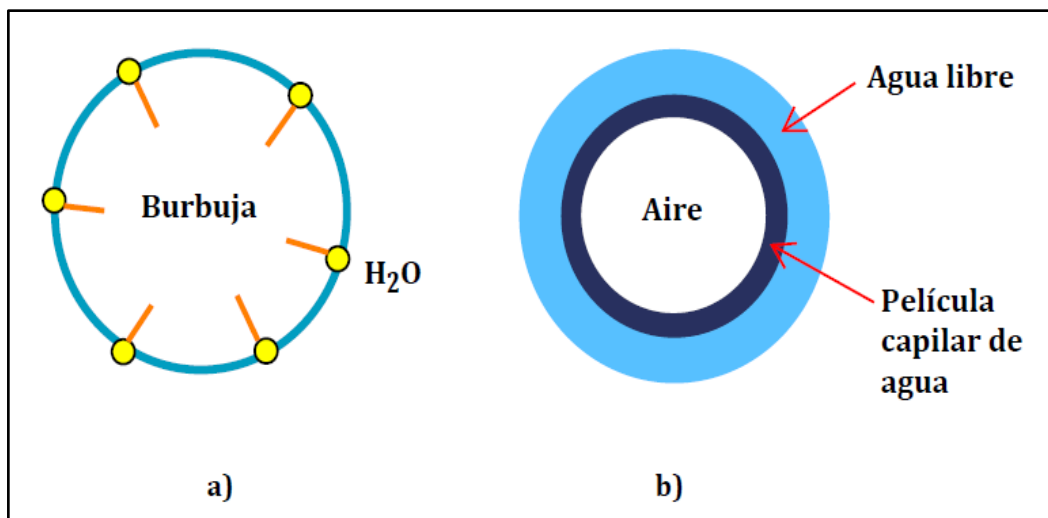


Fig. 6. Película de líquido alrededor de la burbuja (a) Puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua circundante y las moléculas de espumante adsorbidas (b) capa de agua sobre la burbuja. [6]

El adelgazamiento de la película líquida alrededor de la burbuja se debe a los siguientes tres mecanismos:

- Elasticidad de Gibbs: Según este mecanismo al expandirse la película líquida, la concentración local de espumante adsorbido disminuye al aumentar la superficie, aumentando de esta manera también la tensión superficial local, lo que dificulta la deformación de la película.
- Viscosidad dilacional: cuando se producen las deformaciones superficiales de la película y el espumante se diluye, se establece un desequilibrio en la concentración, por lo que el espumante se difunde desde el seno del líquido y son adsorbidas, restableciendo de esta manera la tensión superficial local.
- Efecto Marangoni: la deformación de la película de líquido y la generación de gradientes de concentración local, el fluido responde generando contracorrientes que restablecen las condiciones iniciales.

Clasificación de espumantes

En la práctica industrial para los procesos de flotación de minerales para elegir los reactivos espumantes se tienen en cuenta ciertas características que estos deben de tener para lograr una flotación eficiente, entre estas características las siguientes son las más saltantes:

- Deben de generar una espuma que logre una buena separación del mineral que se quiere recuperar de la ganga.

- La espuma que genere debe ser muy estable para soportar el peso del mineral y muy ligera para transportarlo hasta la superficie de la pulpa.
- Debe formar una espuma persistente en la cual las burbujas que se rompan se vuelvan a restituir permitiendo que el agua y la ganga drenen completamente.
- Durante el proceso el espumante no se debe agotar, sino que debe estar en capacidad para formar espuma en otro momento de la flotación.
- No deben ser afectados por las variaciones de pH, por los colectores y las sales que se encuentran en la pulpa.
- Deben ser de bajo costo y no contaminantes del medio ambiente.
- Deben tener una gran dispersión en el agua, no necesariamente deben ser totalmente solubles.
- No debe ser colector.
- Tener la capacidad de producir burbujas de un diámetro mínimo de 1 a 2 mm.

Los espumantes que mayor empleo tienen en la flotación de minerales a nivel industrial son los que conforman las familias de los alcoholes, poliglicoles y mezclas con alcoholes, aldehídos y ésteres. Los principales son los alcoholes y los poliglicoles, los cuales se describen a continuación.

Alcoholes:

Los alcoholes son espumantes débiles ya que poseen una actividad superficial débil. Sus cinéticas son rápidas y la espuma es menos estable, retienen con dificultad el agua, tienen una alta selectividad, retienen con dificultad el agua y por tanto baja persistencia. La actividad superficial de estos espumantes aumenta cuando aumenta el largo de la cadena, con un máximo alrededor de seis a siete carbonos

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

Poliglicoles:

Este tipo de espumante está conformado por una gran cantidad de sustancias con diferentes estructuras y pesos moleculares. Cuando el peso molecular del espumante aumenta también se incrementa la recuperación de agua. La espuma que se forma es más profunda y estable en comparación con las espumas que son generadas por alcoholes. Presentan una baja sensibilidad a los cambios de pH y una alta retención de agua por lo que produce una espuma que tiene mayor arrastre de agua, y por lo tanto son más húmedas.

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

De acuerdo al espesor de la película de líquido que constituye las paredes de la burbuja, las espumas pueden ser de dos tipos:

1. Espumas de burbuja de película delgada. Tales espumante tienden a llevar menos agua (son secas), a arrastrar menos ganga (son selectivas), y son relativamente menos estables y persistentes.

2. Espumas de burbuja de película gruesa. Tales espumantes tienden a llevar más agua al concentrado (son húmedos), a arrastrar más ganga y a ser relativamente estables y persistentes.

Las burbujas y la flotación de minerales.

La flotación es un proceso en el cual se recuperan partículas hidrofóbicas atrapadas por burbujas de aire. En realidad, existen dos mecanismos mediante los cuales las partículas de mineral pueden llegar a la zona de espuma, estas son: la “flotación verdadera” y la flotación por arrastre. La flotación verdadera es el proceso selectivo, en el cual las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas de aire en la pulpa agitada y aireada y comienzan a ascender hacia las zonas superiores de la pulpa hasta llegar a su superficie donde se van acumulando hasta que se separan pasando a conformar el concentrado donde la espuma desaparece, debido al drenaje del agua separándose del gas y del mineral.

La flotación por arrastre, o Entrainment, es un proceso no selectivo que puede arrastrar tanto partículas hidrofílicas como hidrofóbicas gracias a ciertos fenómenos fluidodinámicos, donde las partículas son arrastradas por los flujos ascendentes de agua. Esta agua arrastrada corresponde a la película líquida que rodea a las burbujas, y al agua transportada por el ascenso de la burbuja o al conjunto de burbujas.

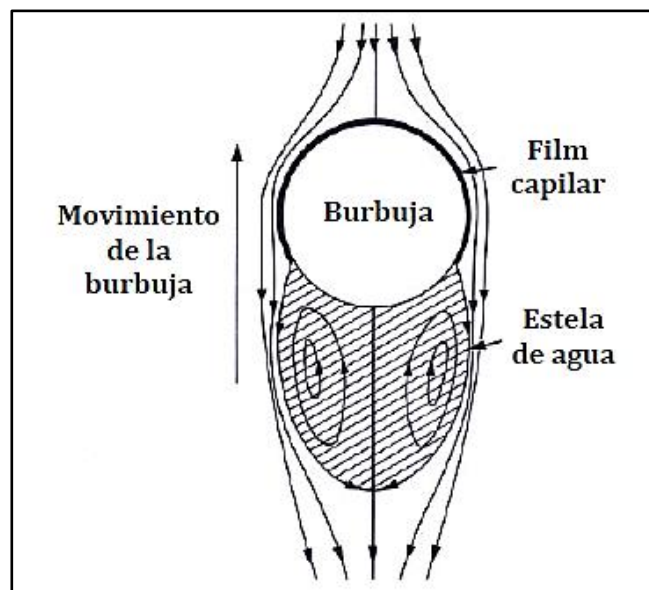


Fig.7. Mecanismo de ascenso de la burbuja y el arrastre del agua [6]

El fenómeno de arrastre, debido a que es un efecto fluidodinámico, depende principalmente del tamaño y la forma de las partículas que se está arrastrando. Las partículas más adecuadas para ser arrastradas a la espuma son las partículas finas, siempre y cuando su tamaño no supere la malla #100, tamaños más pequeños constituyen los finos o las lamas las cuales rápidamente se separan de la burbuja y se decantan hacia el fondo de la celda de flotación.

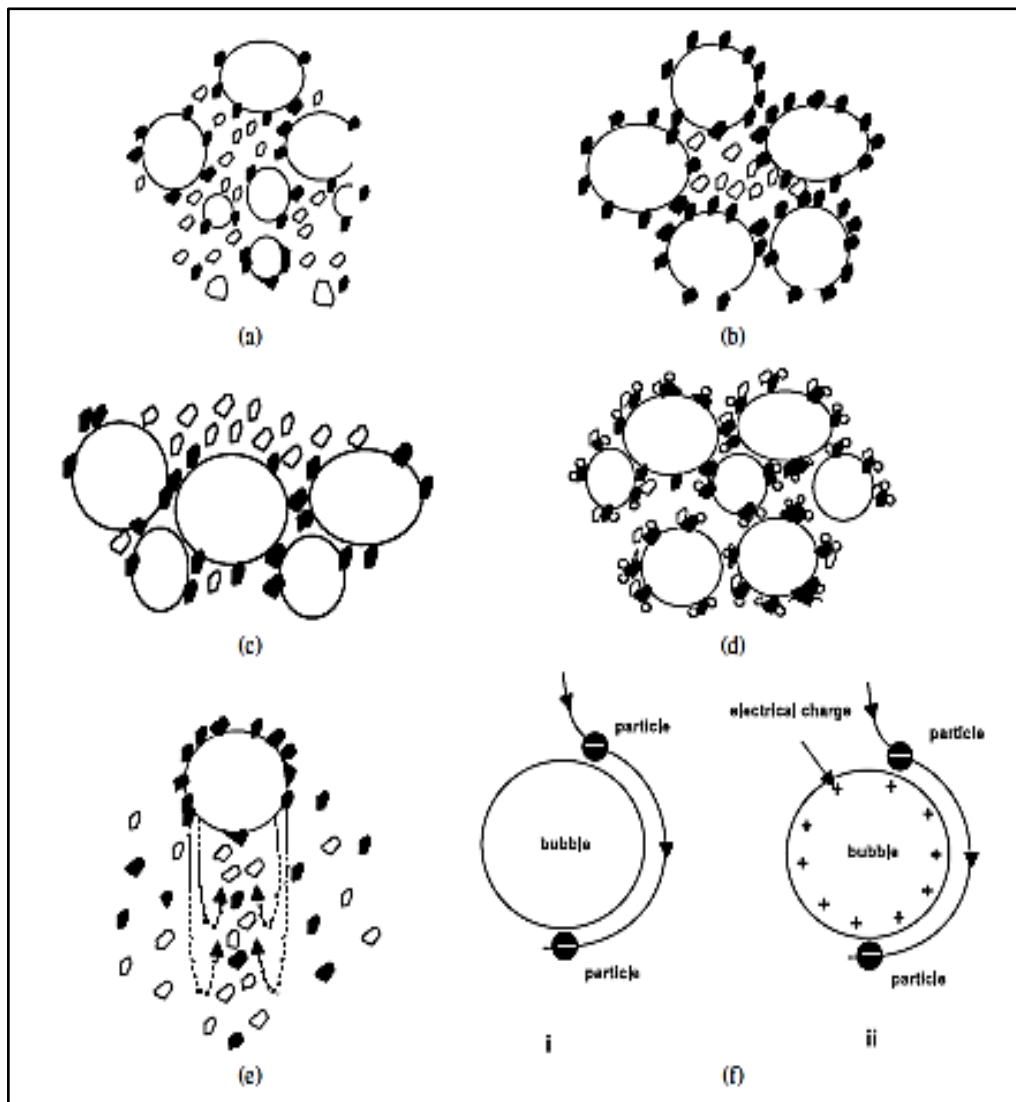


Fig. 8. Mecanismos de arrastre de partículas. (a) Arrastre en Plateau Borders (b) Atrapamiento o Entrainment (c) Soporte (d) Slime coating (e) Arrastre en la estela (f) Flotación sin contacto por fuerzas dispersivas y polares [6]

Aunque como se ha dicho anteriormente que un buen espumante no debe ser afectado por el pH de la pulpa, sin embargo, este parámetro juega un papel importante en su aplicación y en gran medida la eficiencia de su actividad depende del pH, debido a ello una de las clasificaciones de los espumantes se basa en su capacidad para formar espuma bajo ciertos pH, según esto existen espumantes básicos, ácidos y neutros.

Los básicos son aquellos espumantes que producen una mayor cantidad de espuma y muy estable cuando el pH de la pulpa está en un rango entre 8 y 14, tal es el caso de las piridinas de alto peso molecular.

Los ácidos son aquellos que poseen una mejor propiedad espumante a pH ácidos, tales como los fenoles o sustancias fenólicas (cresol, xilenol, aceite fenólico, etc.) y los alquilarilsulfonatos (detergentes y sulfonatos)

Los neutros, son aquellos espumantes que no dependen del pH de la pulpa, a este grupo pertenecen la mayoría de los espumantes empleados en la industria metalúrgica. Ellos, se clasifican en tres grupos:

- a. Los que contienen alcoholes aromáticos y alicíclicos, básicamente contienen terpineol.
- b. Los que contienen alcoholes alifáticos, que son sustancias individuales o mezclas de alcoholes.
- c. Reactivos que contienen sustancias con enlaces ésteres, monoéteres de polipropilenglicoles entre otras sustancias.

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

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 pirita y sílice. Su consumo varía entre 10 y 70 gramos por tonelada, se ha establecido que cantidades superiores a esta actúa de manera negativa.

2.2.2. Plata y flotación de sulfuro de plata

2.2.2.1. Plata.

La plata es el elemento de la tabla periódica cuyo símbolo químico es Ag y su número atómico es 47, la masa atómica equivale a 107.870. Físicamente es un metal lustroso de color blanco-grisáceo. Químicamente es un metal pesado y por ser un metal inactivo (no desplaza el hidrógeno de los ácidos) se le considera al igual que el oro como un metal noble; comercialmente se le califica como un metal precioso. Hay 25 isótopos de la plata. Sus masas atómicas fluctúan entre 102 y 117.

En la mayor parte de sus aplicaciones, la plata forma aleaciones con uno o más metales especialmente con el oro y el plomo. La plata, que posee las más altas conductividades térmica y eléctrica de todos los metales, se utiliza en puntos de contacto eléctricos y electrónicos. También se emplea mucho en joyería y piezas diversas. Entre las aleaciones en que es un componente están las amalgamas dentales y metales para cojinetes y pistones de motores.

La plata es un elemento bastante escaso. Algunas veces se encuentra en la naturaleza como elemento libre (plata nativa) o mezclada con otros metales. Sin embargo, la mayor parte de las veces se encuentra en minerales que contienen compuestos de plata. Los principales minerales de plata son la argentita, la cerargirita o cuerno de plata y varios minerales en los cuales el sulfuro de plata está combinado con los sulfuros de otros metales. Aproximadamente tres cuartas partes de la plata producida son un subproducto de la extracción de otros minerales, sobre todo de cobre y de plomo.

La plata pura es un metal maleable, tiene una dureza de 2,5 a 3 según la escala de Mohs), es de color blanco, relativamente más duro que el oro. Cuando se pule adquiere un lustre brillante y refleja el 95% de la luz que incide sobre ella. Su densidad es 10,5 g/mL. La calidad de la plata,

su pureza, se expresa como partes de plata pura por cada 1000 partes del metal total. La plata comercial tiene una pureza del 999 (ley 0.999).

La plata es el metal noble con poca actividad, se oxida con mucha dificultad reacciona con el azufre o el sulfuro de hidrógeno para formar la conocida plata deslustrada. El galvanizado de la plata con rodio puede prevenir esta decoloración. La plata no reacciona con ácidos diluidos no oxidantes (ácidos clorhídrico o sulfúrico) ni con bases fuertes (hidróxido de sodio). Sin embargo, los ácidos oxidantes (ácido nítrico o ácido sulfúrico concentrado) la disuelven al reaccionar para formar el ion positivo de la plata, Ag^+ . Este ion, que está presente en todas las soluciones simples de compuestos de plata solubles, se reduce fácilmente a metal libre, como sucede en la deposición de espejos de plata por agentes reductores orgánicos. La plata casi siempre es monovalente en sus compuestos, pero se conocen óxidos, fluoruro y sulfuro divalentes. Algunos compuestos de coordinación de la plata contienen plata divalente y trivalente. Aunque la plata no se oxida cuando se calienta, puede ser oxidada química o electrolíticamente para formar óxido o peróxido de plata, un agente oxidante poderoso. Por esta actividad, se utiliza mucho como catalizador oxidante en la producción de ciertos materiales orgánicos.

Flotación de minerales.

La flotación de minerales es un proceso de concentración de minerales que se basa en la interacción fisicoquímica entre minerales que previamente se someten a molienda hasta una granulometría adecuada (malla # -200)) con ciertos reactivos que ejercen acción química y física que hacen posible que las partículas del mineral se adhieran a las burbujas y asciendan hasta la parte superior de la pulpa formando una espuma cargada con el mineral que se desea separar.

El mineral que va a ser sometido a flotación por espuma previamente debe ser preparado físicamente, sometido primero a chancado y luego a molienda hasta que un 60% del mineral sea reducido hasta malla -200. Este mineral finamente pulverizado se acondiciona agregando el agua y los reactivos necesarios para llevar a cabo la flotación. Cada uno de los reactivos agregados cumple una función específica lo que permite mejorar la recuperación del metal, mediante la adhesión de las partículas del mineral a la película de la burbuja y poder ser arrastrada hacia la espuma que se forma con el concentrado.

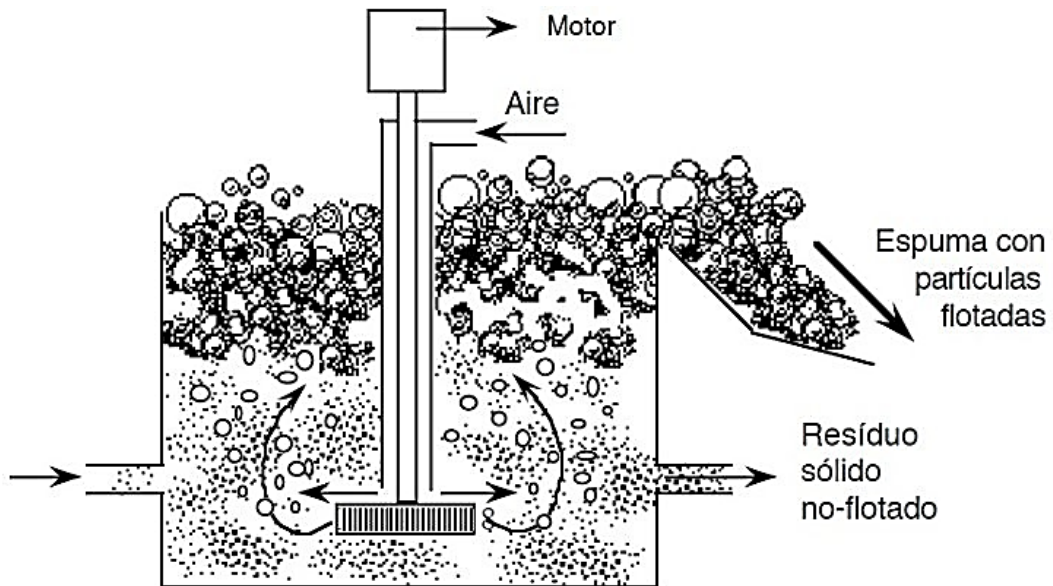


Fig 9. Proceso de la flotación por espuma [7]

La finalidad de la flotación es la separación de especies minerales pulverizadas que se encuentran mezcladas con una cierta cantidad de agua, que le da una cierta densidad que permite en el seno de la pulpa una movilidad adecuada a cada partícula de mineral las mismas que son o hidrofílicas o hidrofóbicas. Las partículas hidrofílicas tienen afinidad por el agua y permanecen en la pulpa suspendida hasta que por fin decantan mientras que las partículas hidrofóbicas, se adhieren a la burbuja debido a la falta de afinidad con el agua. Las especies mineralógicas con valor económico y por tanto útiles a para la industria constituyen una fracción menor del mineral, mientras que las especies no valiosas o estériles constituyen la mayor parte (ganga)

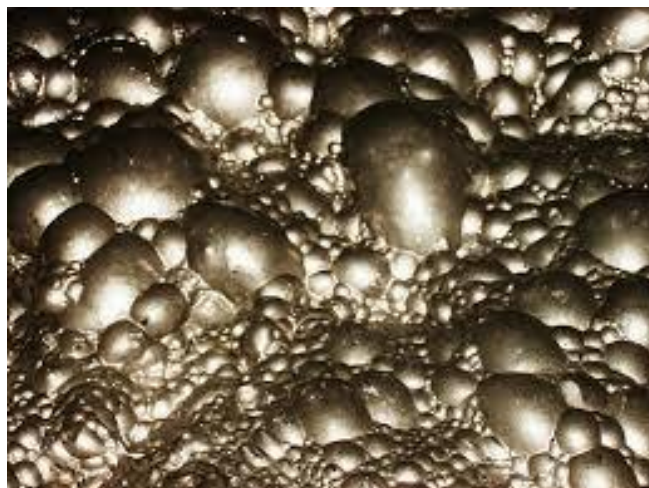


Fig. 10. Espuma en la parte superior de la celda de flotación [8]

Flotación de sulfuros que incluyen plata

La plata como mineral nativo se encuentra en yacimientos junto con el oro nativo en pequeñas cantidades conformando minerales refractarios de plomo, zinc, cobre y hierro. También la plata

se encuentra como sulfuro entre los cuales los principales son: la galena argentífera, plata nativa, argentita (Ag_2S) y tetraedrita ($\text{Cu,Fe,AgSb}_4\text{S}_3$), a partir de los cuales puede ser recuperada por flotación. A menudo estos minerales flotan con el metal base tal como sulfuros de cobre y plomo. Como ya se dijo anteriormente el sulfuro de plomo siempre está asociado a otros sulfuros metálicos como el sulfuro de zinc, de hierro, de cobre, de plata, por lo que previamente hay que hacer las respectivas separaciones empleando reactivos depresores. En este caso trataremos la separación de Cu-Ag por flotación.

Considerando que son escasos los depresores de minerales de cobre y que la mayoría de ellos se basa en el uso del cianuro de sodio (NaCN) ya sea puro o formando mezclas con otros reactivos como el sulfato de zinc (ZnSO_4) o con óxidos de Zinc (ZnOx) e incluso en ciertas ocasiones cuando el mineral a tratar tiene una cierta concentración de piritas se emplea mezclas con óxido de calcio (CaO) ya que esta sustancia tiene la capacidad de deprimir las piritas, también se puede emplear el sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Existen otros métodos en los cuales se emplean los permanganatos y la tiourea. En el proceso desarrollado en la presente tesis se empleará el cianuro de sodio como depresor del sulfuro de cobre mezclado con óxido de calcio o cal (CaO) el cual es un fuerte depresor de la pirita. Ambos depresores no interfieren con la actividad del colector Z-11 (xantato isopropílico de sodio), el cual tiene una gran afinidad por la plata y el cobre.

Xantato isopropílico de sodio (Z-11)

Este colector es una sustancia orgánica, una sal del ácido xantogénico cuya fórmula molecular es $(\text{CH}_3)_2\text{CHOCSNa}$ y su fórmula química: $\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2\text{S}_2\text{Na}$, comercialmente se le conoce con el nombre de Z-11. Es un polvo de color amarillento o verde amarillento, es soluble en agua y posee un olor acre, es higroscópico, es decir, absorbe agua del medio ambiente, pero se descompone cuando está en contacto con ella reacciona formando disulfuro de carbono, la misma que es una sustancia combustible que fácilmente se inflama ante la presencia de una llama. Como colector es muy enérgico, comparado con otros xantatos. Se emplea en la flotación del zinc permitiendo una recuperación óptima y resulta ser no selectivo para el hierro siempre y cuando el pH de la pulpa no supere el valor de 10. También es una gran alternativa para la flotación de minerales que contienen piritas y pirrotitas, que son auríferas. Asimismo, se recomienda para la flotación de minerales con zinc como plomo-zinc, cobre-zinc y minerales refractarios de baja ley de oro. La dosificación más común del Z-11 fluctúa entre 10 y 100 gramos por cada tonelada del mineral a tratar, y se recomienda una dilución de un 5% a un 25% como máximo.



Fig. 11. Pellets de xantato isopropílico de sodio (Z-11) [7]

2.3. Marco conceptual.

Mineral de cabeza:

Mineral que inicialmente ingresa a un proceso metalúrgico.

Celda de flotación:

Equipo donde se lleva a cabo el proceso de flotación de minerales el cual consta de un tanque y un agitador, este último está montado en un eje hueco que permite el ingreso del aire necesario para producir las burbujas que conformarán la espuma.

Cleaner:

Etapa donde se elimina la mayor cantidad de impurezas contenidas en las espumas de las rougher para dar como resultado el concentrado.

Concentrado:

Es el producto del proceso de flotación que contiene un alto contenido del mineral enriquecido.

Concentradora.

Es la planta o instalación donde se concentra o recupera los metales o minerales con un valor económico.

Dosificación.

Es la acción de agregar al proceso una determinada cantidad de reactivo, mediante un dispositivo que agrega una cantidad precisa en cada unidad de tiempo.

Flowsheet:

(Diagrama de flujo). Es una representación gráfica de la secuencia de operaciones realizadas durante el procesamiento de un mineral.

Galena:

Mineral de sulfuro de plomo, cristaliza en forma de cubos.

Humedad.

Porcentaje en peso del agua contenido en el mineral.

Ley.

Es el porcentaje de metal que hay en el mineral. Normalmente la ley se expresa en porcentajes cuando se trata de metales básicos y onzas por tonelada corta (onz./TC) u onzas por tonelada métrica (onz./TM) o g/TM cuando se trata de oro, plata u otro metal precioso.

Mineral.

Sustancia inorgánica que se halla en la superficie o en las diversas capas de la corteza terrestre, y que tiene un valor económico.

Muestra.

Una Porción pequeña de roca o de un depósito de mineral, que tiene la misma composición química que el mineral almacenado en el yacimiento.

pH.

Manera de expresar la concentración del ion hidrógeno con términos de potencias, el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno.

Relave:

Material resultante del proceso de concentración de minerales, que no contiene material valioso, se denomina también ganga y se desecha.

Rougher:

En esta etapa de la flotación se recibe la pulpa de cabeza procedente de los acondicionadores o del overflow de los ciclones de remolienda. Aquí flota la mayor parte de los sulfuros valiosos. Pero en estas celdas sólo obtendremos concentrados y relaves “provisionales”

Scavenger:

En esta etapa de la flotación se recibe como el relave del rougher y tratan de hacer flotar el resto de los sulfuros que no han podido flotar en las celdas de cabeza, ya sea por falta de tiempo, deficiente cantidad de reactivos, o por efectos mecánicos.

Bulk:

Flotación en masa.

2.4. Estrategia metodológica.

La presente investigación es aplicada porque trata de dar solución a un problema en la flotación de minerales refractarios de plata utilizando un espumante poco común como es el frother 210 que con el xantato Z-11 permite una recuperación máxima de plata. Por su nivel es explicativa y por su diseño es experimental ya que se manipula la variable independiente: Uso del

espumante frother 210. La población incluye a todos los minerales sulfurados polimetálicos que contienen plata que se flotan en las plantas hidrometalúrgicas; mientras que la muestra está representada por 50 Kg de mineral polimetálico que contiene plata que en el laboratorio, se trató físicamente para obtener una granulometría adecuada para la flotación, proceso que se llevó a cabo en diferentes ensayos con cantidades diferentes del colector Z-11 y el espumante frother 210, así mismo se hizo los ensayos correspondientes al mineral y al concentrado, para establecer las concentraciones de plata en cada uno de los ensayos.

Las técnicas empleadas fueron las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos serán tratados estadísticamente.

2.5. Procedimiento experimental.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.

La recolección de muestras se llevó a cabo en la cancha de minerales de la planta Mercurio, situada en la zona sur de la ciudad de Nasca, esta es una planta hidrometalúrgica que procesa sulfuros de cobre y polimetálicos. El mineral que se deposita en la cancha es mineral polimetálico conteniendo cobre, plomo, zinc, pirita oro y plata, por lo que fue necesario hacer una selección de minerales que tienen sulfuro de cobre en concentraciones predominantes y que, por supuesto también contiene oro y plata, los mismos que están encapsulados en los sulfuros de otros metales. La muestra tomada fue de 50 kg. Se tomaron las muestras 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 tratamiento físico para reducir su tamaño y poder realizar los ensayos correspondientes.

TRATAMIENTO FÍSICO DE LA MUESTRA.

La granulometría de la muestra tomada es muy variada, desde trozos grandes hasta polvo fino, por lo que, después de un tamizado para retirar el mineral pulverizado, se procedió al chancado del mineral en una chancadora de quijadas de laboratorio, y posteriormente, se llevó a cabo la molienda húmeda en un molino de bolas de ensayos del laboratorio de metalurgia. De esta manera se obtuvo una pulpa de granulometría correspondiente para las corridas de flotación a nivel laboratorio que corresponde a un 60% del mineral a malla - 200. Una parte de la muestra se sometió a secado y luego a tamizado, para separar una muestra representativa para el análisis del mineral y su correspondiente caracterización.

ANÁLISIS DEL MINERAL.

Del mineral acondicionado se tomaron muestras representativas para realizar los diversos análisis que permitieron caracterizar el mineral a tratar. Los ensayos realizados fueron:

Determinación de cobre en el mineral.

Cobre insoluble (sulfuros de cobre) Método del cianuro de potasio.

Aplicación.

Permite determinar cuantitativamente los sulfuros de cobre presentes en el mineral.

Reactivos:

Ácido clorhídrico

Ácido nítrico

Clorato de potasio

Hidróxido de amonio

Agua destilada.

Procedimiento.

- Pesar 1 g de muestra cuando es cabeza y relave y 0,5 g cuando es concentrado.
- Atacar con 10 mL de ácido clorhídrico, llevar a ebullición en la plancha hasta desprendimiento de humos blancos de vapor de agua; agregar 10 mL de ácido nítrico y una pizca de clorato de potasio para lograr una oxidación rápida.
- Evaporar el líquido hasta conseguir una masa pastosa, enfriar totalmente y agregar 50 mL de agua destilada e hidróxido de amonio hasta lograr la precipitación del hierro.
- Colocar en la plancha durante 5 minutos, bajar y filtrar lavando el precipitado 2 ó 3 veces, para luego dejar enfriar y titular con cianuro de potasio.
- La ley (%) de cobre insoluble se calcula con la misma fórmula empleada para el cálculo del cobre soluble.

Preparación de la solución estándar de KCN

- Para preparar la solución estándar de cianuro de potasio, pesar 21 g de esta sal químicamente pura (Q.P.) y disolver con agua destilada hasta completar un litro de solución.

Determinación del Factor (F).

- Para determinar F (el factor) se pesa 0,5 mg de cobre metálico puro, en tres vasos y se ataca con 10 mL de ácido nítrico Q.P. y llevar a calentamiento hasta eliminación total de vapores nitrosos.
- Bajar de la plancha y dejar enfriar para luego agregar 50 mL de agua destilada con 10 mL de hidróxido de amonio, llevando nuevamente a calentamiento hasta ebullición.
- Retirar de la plancha, dejar enfriar y titular con cianuro de potasio.

Calcular el factor (F) con la siguiente fórmula:

$$F = (\text{Peso del cobre}) / (\text{Gasto de KCN, en mL})$$

Determinación de oro y plata. Método mufla eléctrica.

ANÁLISIS DEL MINERAL.

Pesar la cantidad requerida en la balanza, colocarla sobre una placa de acero o concreto perfectamente limpia y mezclar con una pala, asegurar que se encuentre homogéneo el material. Ya preparado el fundente colocarlo en un frasco y almacenar para su uso.

De este frasco tomar 100 gramos de fundente con una cuchara o taza previamente calibrada y vaciar a un crisol de arcilla, estos deben estar colocados de manera ordenada en la placa correspondiente. Llevar al área de balanzas granatarias.

Pesar la muestra en la balanza Ohaus, previamente tarar un platillo de aluminio, auxiliados por una espátula, homogeneizar la muestra dentro del sobre, tomar muestra e ir adicionando poco a poco hasta alcanzar el peso requerido, registrar en la hoja de trabajo.

Tomar el platillo y vaciar al crisol correspondiente.

Realizar esta operación con la misma muestra ya que se analiza por duplicado en Sólidos de Planta. y se analiza un estándar de concentración conocida dentro de esta corrida Cabeza, Plomo, Zinc y Cola, o bien se meten las muestras de Precisión que se tomaron del ensaye del día anterior y así verificar la repetitibilidad.

Llevar las placas al área de fusión y homogeneizar con el mezclador manual.

Se inicia el análisis de oro y plata mediante tres procesos diferentes: fundición en crisoles, copelación y ataque químico o apartado, los cuales se describen a continuación.

Fundición:

Consiste en introducir los crisoles que contienen el mineral y el fundente a oxidación y/o reducción, para obtener un botón de plomo en donde se encuentra el oro y la plata aleados con el plomo. Esta fusión se realiza por una hora a $1000\text{ }^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$, en la mufla Assay. Dependiendo de la matriz del mineral se utilizarán reductores y/o oxidantes que se adicionaran al crisol antes de entrar a fusión y se homogenizará perfectamente con el mezclador.

Ejemplo:

Mineral oxidado, utilizamos un reductor: Harina o Azúcar.

Mineral sulfuroso, utilizamos un oxidante: Nitrato de potasio.

Concluido el tiempo de fusión, y con el equipo de seguridad puesto, que consiste en, careta, guantes aluminizados y mandil aluminizado, tomar las tenazas para crisol abrir la puerta de la mufla y sacar el primer crisol, vaciarlo a la lingotera.

Repetir la operación, las lingoteras deben de estar ordenadas de tal forma que no haya duda en la numeración.

Si hay muestras por fundir, introducir los crisoles para iniciar el proceso.

Realizada esta actividad, quitarse el equipo de protección (careta, guantes y mandil aluminizados), portar las gafas de protección lateral y guantes de carnaza e iniciar el martilleo de la muestra ya fría para eliminar la escoria y obtener el regulo (cubo de plomo).

Previamente se precalientan las copelas en otra mufla, por 20 minutos a 960°C .

Concluido esta actividad, colocar un regulo (cubo de plomo) en una copela.

Copelación:

Esta operación se basa en las propiedades que tienen los metales preciosos de ser inoxidables a una alta temperatura. Consiste en separar oro y plata metálicos del plomo. En este método, el plomo empieza a oxidarse y al mismo tiempo se absorbe en la copela a medida que transcurre el tiempo mientras la temperatura se mantiene constante.

La oxidación y absorción del plomo ocurren hasta el punto en el cual el oro y la plata forman un botón libre de plomo, en este momento pasa del estado líquido al estado metálico, hay un

estado especial en el que se produce un relámpago, el cuál si la temperatura es muy alta y la cantidad de plata muy grande, habrá pérdidas por proyección, terminando este paso de la copelación.

Utilizando las tenazas, colocar las copelas en el interior de la mufla. Precalear la copela a 960 °C durante 20 min.

Concluida esta actividad y utilizando las tenazas, colocar el cubo de plomo (30 –40 gramos de peso) en la copela respectiva.

Cerrar la mufla e iniciar el proceso de copelación.

Encender el extractor, mantener la temperatura de la mufla entre 830 y 840 °C durante una hora aproximadamente, dependiendo del tamaño del regulo y/o el término de la eliminación de humos.

Una vez formado el botón de doré, sacar la copela y dejar enfriar.

Con unas pinzas, desprender el botón de doré y limpiar con una brocha de cerdas duras. Si el botón es muy pequeño, golpear con un martillo también pequeño.

Colocar el doré en la lingotera de doré.

Pesar el doré en la balanza analítica de 0.0001 mg y registrar en la hoja de trabajo correspondiente, pasar el doré a una cápsula de porcelana.

Apartado

Tiene como objeto separar el oro y la plata por medio de ácido nítrico. La plata se transforma en nitrato de plata, que conforma la solución.

Se coloca el botón de doré en un crisol de porcelana de 15 ml.

Colocar el crisol, en la placa porta crisoles de porcelana.

Agregar una solución de ácido nítrico al 12.5 % en volumen.

Poner a calor suave sobre una parrilla Cimarec hasta disolver la plata.

Separar por decantación la solución de nitrato de plata obtenida y guardarla en el recipiente designado para ello, en el caso de Embarques se guarda la solución de las cinco muestras en un matraz aforado de 100 ml, en los precipitados se guarda cada muestra en un matraz, se aforan y agitan para leer en el aparato de Absorción Atómica Pb y Bi.

Lavar el residuo con agua destilada.

Lavar el residuo con solución de hidróxido de amonio al 10 %.

Secar la cápsula a calor bajo sobre una parrilla.

Calcinar colocando el crisol de porcelana directamente sobre la a parrilla.

Enfriar a temperatura ambiente y pesar el oro obtenido en la balanza micro analítica, en el caso del oro del precipitado se disuelve cada uno con agua regia (3ml de Clorhídrico y 1 de Nítrico), se afora en un matraz de 100 ml, se agita y se lee en el aparato de Absorción Atómica.

Reportar los resultados en la hoja de trabajo.

Ordenar y limpiar el área de trabajo.

CALCULOS.

Para obtener la ley de oro se aplica la ecuación siguiente:

$$Au = (\text{LECTURA DE LA BALANZA}) (1,000) / (\text{PESO DE LA MUESTRA}) \text{ g/ton} =$$

Para obtener la ley de plata la siguiente:

$$Ag = (\text{PESO DORE} - \text{PESO ORO})(1,000) / (\text{PESO DE LA MUESTRA}) = \text{g/ton}$$

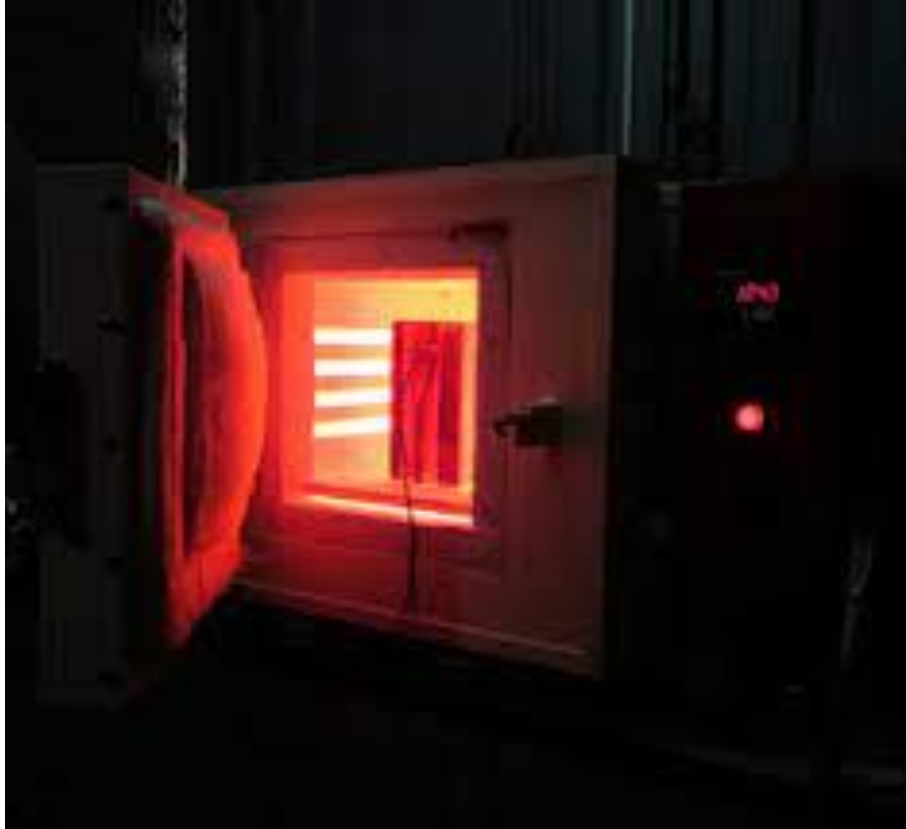


Fig. 12. Horno de mufla [5]

FLOTACIÓN DE SULFURO DE PLATA Y COBRE

1. Objetivo:

Realizar pruebas experimentales para establecer la eficiencia de los reactivos espumantes en la concentración de plomo presente en minerales que contienen también sulfuro de cobre y piritas.

2. Equipo y material que se utiliza:

- Balanza tecnoquímica
- Balanza analítica
- Molino de bolas de laboratorio con las siguientes dimensiones: tamaño 8 pulgadas de diámetro y 7,5 pulgadas de longitud
- Celda de flotación de laboratorio marca Denver tipo sub-A modelo D-12
- Plato de tentaduras
- Filtro de vacío y estufa de secado
- Potenciómetro o papel medidor de pH.

- Agitador magnético
- Otros materiales: charolas, cubetas, probetas, alimentadores de reactivos.



Fig. 13. Balanza analítica [5]

3. Reactivos de flotación:

- Cal (Modificador de pH y depresor de pirita)
- Xantato isopropílico de sodio Z-11 (Colector)
- Cianuro de sodio NaCN y sulfato de zinc 0,020 (Depresor)
- Frother -210 (Espumante)
- Mineral pulverizado a malla -200.

4. Procedimiento:

4.1. Preparación de reactivos.

Se prepara soluciones del colector en la cantidad adecuada:

Xantato Z-11 0,030 g/L

El reactivo espumante F-210 se dosifica con gotero (1 gota igual a 20 mg).

4.2. Molienda del mineral

Se pesa 1 kilo de mineral chancado hasta una granulometría malla – 8 y echarlo al molino de bolas de laboratorio.



Fig. 14. Chancadora de quijadas de laboratorio [5]



Fig. 15. Molino de bolas de laboratorio [5]

Agregar 600 mL de agua que equivale aproximadamente a 62 – 65% de sólidos en la pulpa

Agregar 2 g de cal para que se vaya mezclando con el mineral y modifique el pH de la pulpa y para que luego durante el proceso de flotación actúe como depresor de las piritas
Poner en funcionamiento el molino y mantener la molienda por 10 minutos para conseguir una molienda de mineral a 60% - 200 mallas.

5.1. Flotación

Terminada la molienda, descargar la pulpa del mineral molido directamente a la celda de flotación con un volumen útil de 4,3 L (con lo que se consigue un porcentaje de sólidos del 20% en la flotación)

Montar la celda en la máquina de flotación

Graduar la velocidad del impulsor a 1300 rpm que equivale a 1275 pies por minuto de velocidad periférica

Accionar la máquina con la válvula del aire cerrada y agitar por un minuto y luego medir el pH, el cual debe estar entre 10 y 10.5 si es necesario ajustar agregando cal.



Fig. 16. Celda de flotación Denver [5]

Adicionar a la celda la cantidad seleccionada del colector y agitar por lo menos durante 2 minutos

Luego agregar 1 gota de espumante F-210 del frasco – gotero y agitar por 2 minutos más, manteniendo la válvula de aire sin abrir.

Seguidamente abrir la válvula del aire para iniciar el proceso de flotación, generándose en el interior de la pulpa la formación de burbujas de aire que se elevan hacia la superficie formando una capa de espuma que contiene los compuestos de cobre, constituyendo lo que se denomina concentrado.

Este concentrado se recibe en una charola, del cual se toma una pequeña muestra en un plato para verificar la calidad del producto obtenido (del concentrado).

Durante la flotación se debe de controlar el tiempo desde el inicio hasta el final del proceso.

5.2. Filtrado y secado de productos

De la flotación se obtienen tres fracciones de concentrado: concentrado, medios y colas, los cuales deben de ser decantados, y luego filtrados en un filtro de vacío. Si los productos no se decantan con facilidad entonces es necesario emplear un floculante para ayudar a su precipitación más rápida.

Cuando las colas o sea el producto más pesado no se asiente con rapidez, se puede tomar una muestra de 50 ó 100 g de sólido para hacer las pruebas químicas correspondientes. El peso de las colas se obtiene por diferencia con el peso del concentrado.

5.3 Secado, pesado y preparación para el análisis.

Después de la filtración las fracciones se colocan en charolas y se llevan a secado en una estufa a una temperatura de 90 – 100°C, para luego disgregarlos y pesarlos y colocarlos en bolsas de papel debidamente rotuladas y cerradas herméticamente.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados obtenidos.

Tabla 3.1
Análisis químico del mineral

Componente	Concentración, %
Cobre (Cu)	3,56
Plomo (Pb)	1,33
Zinc (Zn)	0,55
Hierro (Fe)	4,84
Oro (Au)	33 g/t
Plata (Ag)	127 g/t
Azufre (S)	15,76

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.1 muestra los resultados del análisis químico de la muestra de mineral polimetálico que contiene 1,33% de sulfuros de plomo (galena); 3,56% de cobre; 0,55% de zinc y 4,84% de hierro; así como un elevado contenido de azufre que alcanza el 15,76%. El reporte indica que el mineral tratado contiene 127 g/t de plata y 33 g/t de oro.

Tabla 3.2.

Análisis mineralógico cualitativo del mineral

Especie mineralógica	Observación
Calcopirita	++
Galena	+
Covelina	++
Pirita	+++
Blenda	+
Oro nativo	+
Plata nativa	+

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3,2 muestra los resultados del análisis mineralógico cualitativo del mineral empleado en los estudios experimentales sobre la aplicación de espumantes en la flotación de la plata, los resultados indican que en este mineral hay predominantemente: pirita en mayor proporción, seguido de covelina y calcopirita, blenda.

Tabla 3.3

Resultado de la moliendabilidad del mineral

Tiempo, min	% pasante malla #200
4	39,10
6	46,25
8	57,39
10	60,53
12	65,90
14	69,44

Fuente: Datos experimentales.

Condiciones de molienda:

Peso del mineral: 1000 gramos

Agua: 500 mL

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 3.3 muestra los resultados de la moliendabilidad del mineral empleado en los estudios experimentales, según los datos reportados en 10 minutos de molienda pasan a través de la malla #200, el 60% del mineral molido.

Tabla 3.4
Condiciones de flotación del mineral
para establecer la concentración adecuada del colector Z-11

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 350
Granulometría del mineral, μm	200
Agua, L	1,800
Velocidad de agitación en el acondicionamiento, rpm	1 500
Velocidad de agitación en la flotación, rpm	1350
Porcentaje de sólidos, %	30,6
pH	10,5
Cal (CaO), g	0,6
Espumante MIBC, mg/L	35
Colector Z-11, mg/L	20, 30, 40, 50, 60, 70, 80
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla tres se dan a conocer los parámetros que permanecerán fijos en todos los ensayos a realizarse para establecer la concentración adecuada del colector Z-11 a emplearse en los ensayos de flotación de la plata, por tanto, la única concentración a manipular será la del colector, la cual variará desde 20 hasta 80 mg/L, para este caso se empleó como espumante el MIBC.

Tabla 3.5

Determinación de la concentración del colector xantato Z - 11

N° de ensayo	Colector Z-11, mg/L	Ag recuperada, g
01	15	0,062
02	20	0,086
03	25	0,102
04	30	0,127
05	35	0,127
06	40	0,127
07	45	0,127

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.5 se muestra los resultados de las pruebas realizadas con el colector xantato Z-11, para seleccionar su concentración adecuada, según el reporte de laboratorio la concentración adecuada de este colector es de 30 mg/L, empleando como espumante el MIBC, en una concentración de 35 mg/L, que es la concentración que habitualmente se emplea en planta, la cantidad de plata en el concentrado es de 127 g/t

Tabla 3.6

Condiciones para la flotación del mineral empleando el espumante F-210

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 340
Granulometría del mineral, malla #	200
Agua, L	1,800
Velocidad de agitación en el acondicionamiento, rpm	1 500
Velocidad de agitación en la flotación, rpm	1350
Porcentaje de sólidos, %	30,5
pH	10,5
Cal (CaO), g	0,6
Cianuro de sodio NaCN y sulfato de zinc 0,020	0,020
Espumante F-210, mg/L	20, 30, 40, 50, 60
Colector Z-11, mg/L	30
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7

Flotación de la plata con el espumante F-210

N° ensayo	F-210, mg/L	Z-11, mg/L	Ag recuperada, g
01	20	30	0,053
02	20	30	0,054
03	20	30	0,054
04	20	30	0,055
05	20	30	0,054
Promedio, g			0,054

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de plata en la muestra: 0,127 g

En la tabla 3.7 se muestra los resultados de ensayos de flotación de la plata realizados con el espumante F-210 en una concentración de 20 mg/L, según el reporte la cantidad de plata en el concentrado es de 0,054 g como promedio.

Tabla 3.8

Flotación de la plata con el espumante F-210

N° ensayo	F-210, mg/L	Z-11, mg/L	Ag recuperada, g
01	30	30	0,069
02	30	30	0,067
03	30	30	0,067
04	30	30	0,068
05	30	30	0,067
Promedio, g			0,067

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de plata en la muestra: 0,127 g

En la tabla 3.8 se muestra los resultados de ensayos de flotación de la plata realizados con el espumante F-210 en una concentración de 30 mg/L, según el reporte la cantidad de plata en el concentrado es de 0,067 g como promedio.

Tabla 3.9

Flotación de la plata con el espumante F-210

N° ensayo	F-210, mg/L	Z-11, mg/L	Ag recuperada, g
01	40	30	0,083
02	40	30	0,084
03	40	30	0,085
04	40	30	0,085
05	40	30	0,084
Promedio, g			0,084

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de plata en la muestra: 0,127 g

En la tabla 3.9 se muestra los resultados de ensayos de flotación de la plata realizados con el espumante F-210 en una concentración de 40 mg/L, según el reporte la cantidad de plata en el concentrado es de 0,084 g como promedio.

Tabla 3.10

Flotación de la plata con el espumante F-210

N° ensayo	F-210, mg/L	Z-11, mg/L	Ag recuperada, g
01	50	30	0,104
02	50	30	0,104
03	50	30	0,105
04	50	30	0,103
05	50	30	0,104
Promedio, g			0,104

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de plata en la muestra: 0,127 g

En la tabla 3.9 se muestra los resultados de ensayos de flotación de la plata realizados con el espumante F-210 en una concentración de 50 mg/L, según el reporte la cantidad de plata en el concentrado es de 0,104 g como promedio.

Tabla 3.11

Flotación de la plata con el espumante F-210

N° ensayo	F-210, mg/L	Z-11, mg/L	Ag recuperada, g
01	60	30	0,126
02	60	30	0,126
03	60	30	0,125
04	60	30	0,126
05	60	30	0,127
Promedio, g			0,126

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de plata en la muestra: 0,127g

En la tabla 3.11 se muestra los resultados de ensayos de flotación de la plata realizados con el espumante F-210 en una concentración de 60 mg/L, según el reporte la cantidad de plata en el concentrado es de 0,126 g como promedio.

Tabla 3.12

Plata recuperada en la flotación por espuma
empleando diversas concentraciones de espumante F-210

Concentración del F-210, mg/L	Plata recuperada, g
20	0,054
30	0,067
40	0,084
50	0,104
60	0,126

Fuente: Datos de las tablas 3.7 -3.11

La tabla 3.12 muestra la variación de la concentración de la plata recuperada en el concentrado, empleando diversas dosificaciones de espumante F-210, en el reporte se observa que conforme aumenta la cantidad del espumante aumenta la recuperación de la plata; con 20 mg/L se recupera 0,054 g de plata y con 60 mg/L es decir, se recupera la totalidad de la plata en la muestra o sea 0,216 gramos

IV. DISCUSIÓN

Los yacimientos que contienen plata en nuestro país son muy pocos y la mayoría de ellos corresponden a yacimientos polimetálicos donde la plata junto con otros metales como el cobre, plomo, zinc, hierro y oro se encuentra en forma de sulfuro o encapsulada al igual que el oro en los sulfuros de esos metales constituyendo lo que se denomina minerales refractarios, que ofrecen ciertas dificultades para poder recuperarla. En tanto la concentración de la plata es pequeña como en la muestrera analizada (127 g/t) se ha convenido en desarrollar la investigación haciendo una flotación selectiva y en el diseño experimental, específicamente en la selección de reactivos depresores y modificadores se ha utilizado cal (óxido de calcio) que sirvió como modificador para llevar el pH de la pulpa a 10,5, lo suficientemente alcalina para permitir que el colector xantato isopropílico de sodio (Z-11) sea más eficiente y a la vez la cal sirvió simultáneamente como depresor de la pirita; otros reactivos empleados como depresores son el cianuro de sodio (NaCN) y el sulfato de zinc ($ZnSO_4$) de la mezcla de ambos se empleó 0,020 g/L. Estos depresores permitieron liberar la plata y recuperarla en el concentrado.

Inicialmente se hicieron pruebas con el colector Z-11 empleando para ello las mismas condiciones de flotación que para el reactivo que se va a emplear como espumante, pero en este caso se usó el MIBC, para comprobar la eficiencia de la recuperación de plata con este colector. Después de ello se empleó el Z-11 con el frother 210 en varias concentraciones de 20, 30, 40, 50 y 60 mg/L, tomando como muestra 1000g de mineral polimetálico con un contenido de plata de 0,127 g. Las pruebas experimentales indican que el empleo de este espumante en la recuperación de la plata exige una significativa concentración, (una cantidad mayor del espumante), pero si permitió la recuperación total de la plata con una concentración de 60 mg/L, lo que indica que este reactivo requiere de una alta concentración para lograr la total recuperación del metal; y sobre todo un pH alcalino superior a 10 para tener una actividad adecuada.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado experimentalmente que la concentración del espumante F-210 influye en la flotación de sulfuros de plata empleando con él, el colector Z-11, dichas concentraciones están en función con la selectividad del espumante y la capacidad para generar burbujas de tamaño adecuado y muy resistentes.
2. Se ha establecido que la concentración óptima del colector xantato isopropílico de potasio Z-11 para lograr el máximo rendimiento en la flotación de sulfuros de plomo es de 30 mg/L.
3. El espumante F-210 durante la flotación de mineral de plata en presencia del colector xantato Z-11, influyen con su selectividad y capacidad para formar espuma estable y frágil, que se requiere para poder recuperar la plata y para luego separar las fases y obtener el concentrado libre de espuma y de agua.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer pruebas experimentales con muestras de mayor tamaño empleando el F-210 y el colector Z-11, para comprobar la eficiencia del método y poder así aplicarlo a nivel industrial, ya que el uso de este espumante ofrece grandes ventajas para la flotación por espuma entre ellas un reducido costo en reactivos.
2. Estudiar la posibilidad del empleo de carbonato de sodio como modificador en el proceso de flotación por espuma de un mineral con características similares al empleado en la presente tesis, la finalidad sería mantener el pH en el rango de alcalinidad para que el espumante F-210 funcione de manera adecuada, ya que su carácter es básico.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] N. Hidalgo y colaboradores, “Avances en la recuperación de oro y plata mediante flotación en escorias de procesamiento de menas de oro”, Tesis, Argentina, Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, 2015
- [2] Y. Mendoza y col. “Avances recientes en técnicas de recuperación de plata”, Artículo, México, Revista Científica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2020.
- [3] J. Chique, “Estudio de efecto espumante de lignosulfonatos en flotación”, Tesis, Chile, Universidad de Concepción, Escuela de Posgrado, 2020.
- [4] 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.
- [5] M. Allendes, “Implementación de una metodología para selección de espumantes de flotación”, Tesis, Chile, Universidad de Magallanes, Facultad de Ingeniería, 2009.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] A. Castro, “Recuperación de metales preciosos, oro y plata, de los relaves de flotación por el método de segregación”, Tesis, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2008.
- [9] R. Feria, “Estudio de investigación para recuperar oro y plata de los relaves de la flotación polimetálica”, Tesis, Perú, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 2021.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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
- [13] 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.
- [14] 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



"Líderes en Calidad Cumplimiento y Servicio"

DISTRIBUIDORA DE QUÍMICOS INDUSTRIALES S.A

www.dqisa.com

FICHA TÉCNICA XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Xantato isopropílico de sodio
Fórmula Molecular	$R-O-C \begin{matrix} S \\ X \end{matrix}$
Sinónimos	Sipx – isopropilxantato sódico

2. DESCRIPCIÓN

Producto sólido que se obtiene por la reacción del alcohol isopropílico con el bisulfuro de carbono e hidróxido de sodio. Este xantato ha llegado a ser el más ampliamente usado de todos los xantatos debido a su bajo costo y su elevado poder colector. Los xantatos tienden a descomponerse en soluciones con un pH inferior a 6.0.

3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Solubilidad	37.1 g/100g de solución
Pureza	85% mínimo
Color	amarillo pálido

4. PROPIEDADES

Gravedad específica	1.3501
Densidad aparente	0.718 g/ml
Olor	picante

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 Medellín Colombia

5. APLICACIONES

En la industria minera como agentes colectores 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 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. Este xantato debido a su elevado poder colector es empleado 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, piritita 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 pirritas 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 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 Medellín Colombia