



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

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



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

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

SELECCIÓN DEL REACTIVO DEPRESOR PARA FLOTAR COBRE A PARTIR DE MINERALES POLIMETÁLICOS CON ALTA CARGA DE PIRITAS.

Presentado por:

CARLOS EDILBERTO RAMIREZ CHALCO

Autor del Proyecto de Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 18% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo 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:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 18 de setiembre del 2023

.....
Dra. ROSA LUZ GALINDO PASACHE
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUÍS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería de Química y Petroquímica



Título:

**Selección del reactivo depresor para flotar cobre a partir de
minerales polimetálicos con alta carga de piritas**

Línea de investigación:
Ciencias Naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Autor: RAMIREZ CHALCO CARLOS EDILBERTO

Asesor: DR. CUSI PALOMINO ROSALIO

ICA – PERÚ
2023

DEDICATORIA

A mi familia, con gran alegría y gratitud, presento mi tesis, un logro que no habría sido posible sin su amor, apoyo y constante aliento. Quiero aprovechar este momento para expresar mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí a lo largo de este viaje académico.

Desde el comienzo, ustedes han sido mi fuente inagotable de inspiración. Han sido testigos de mis momentos de dedicación intensa, mis noches de estudio y mis esfuerzos constantes por alcanzar mis metas. Su apoyo incondicional y su fe en mis habilidades me han impulsado a superar los desafíos y obstáculos que encontré en el camino.

Su amor y paciencia infinitos han sido un bálsamo en los momentos de agotamiento y dudas. Siempre han estado ahí para escucharme, brindarme palabras de aliento y recordarme que soy capaz de lograr cualquier cosa a la que me proponga. Su confianza en mí ha sido un motor que me ha impulsado hacia adelante.

Agradezco especialmente por entender los sacrificios que he tenido que hacer para completar esta tesis. Han sido comprensivos durante las noches de estudio y los momentos en los que he tenido que aislarme para concentrarme en mi investigación. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para mi éxito y estoy infinitamente agradecido/a por ello.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad San Luis Gonzaga de Ica por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios y completar mi tesis en esta prestigiosa institución académica. Desde el primer día que ingresé a esta universidad, fui recibido/a con calidez y apoyo por parte de todo el personal docente y administrativo. A lo largo de mi trayecto académico, he tenido la oportunidad de aprender de profesores altamente calificados, quienes han compartido su conocimiento y experiencia de manera excepcional. Cada clase, cada conferencia y cada interacción con el cuerpo docente me ha enriquecido como estudiante y como persona.

Agradezco especialmente a mi asesor, quien ha sido una guía invaluable en el proceso de realización de mi tesis. Su dedicación, paciencia y experiencia han sido fundamentales para el éxito de mi proyecto. Gracias a su orientación experta, he podido enfocar mi investigación, desarrollar mis habilidades académicas y superar obstáculos que se me presentaron en el camino. Siempre estuvo dispuesto/a a escucharme, brindarme consejos valiosos y motivarme a dar lo mejor de mí.

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.	14
2.3. Marco conceptual.	21
2.4. Estrategia metodológica.	22
2.3. Desarrollo experimental.	23
III. RESULTADOS.	35
IV. DISCUSIÓN.	56
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES.	59
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	60
VIII. ANEXOS.	62

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1. Análisis químico del mineral.	35
Tabla 3.2. Análisis mineralógico cualitativo del mineral.	36
Tabla 3.3. Resultado de la moliendabilidad del mineral.	37
Tabla 3.4. Condiciones de flotación del mineral para establecer la concentración adecuada del depresor.	38
Tabla 3.5. Determinación de la concentración del colector Z-11	39
Tabla 3.6. Determinación de la cantidad óptima de la cal (modificador de pH)	40
Tabla 3.7. Determinación de la cantidad óptima del espumante MIBC	41
Tabla 3.8. Condiciones para la flotación del mineral sulfuro de cobre.	42
Tabla 3.9. Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 1.	43
Tabla 3.10. Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 2.	44
Tabla 3.11. Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 3.	45
Tabla 3.12. Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 4.	46
Tabla 3.13. Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 5.	47
Tabla 3.14. Concentración del depresor 1 y la recuperación de cobre.	48
Tabla 3.15. Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 1.	49
Tabla 3.16. Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 2.	50
Tabla 3.17. Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 3.	51
Tabla 3.18. Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 4.	52
Tabla 3.19. Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 5.	53
Tabla 3.20. Concentración del depresor 2 y la recuperación de cobre.	54
Tabla 3.21. Condiciones para la flotación del mineral sulfuro de cobre.	55

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la flotación de minerales.	14
Figura 2. Esquema de la flotación por espuma de minerales.	15
Figura 3. Espuma de concentrado acumulado en la parte superior de la celda.	16
Figura 4. Mecanismo de la flotación.	18
Figura 5. Phchímetro de mesa.	30
Figura 6. Balanza analítica.	30
Figura 7. Chancadora de quijadas de laboratorio.	32
Figura 8. Molino de bolas de laboratorio.	32
Figura 9. Celda de flotación Denver.	33

RESUMEN

La presente investigación titulada **Selección del reactivo depresor para flotar cobre a partir de minerales polimetálicos con alta carga de piritas**, es un estudio teórico experimental de tipo aplicado y de nivel explicativo, con dos partes fundamentales en su desarrollo, una teórica y otra experimental, en la parte teórica se aborda los fundamentos de la investigación que comprende la introducción y la estrategia metodológica; la parte experimental considera los materiales y procedimientos incluyendo los resultados y la discusión de resultados. La investigación es de tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental. Para demostrar la hipótesis se realizaron ensayos con dos depresores: uno que es una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc y el otro es el bicromato de sodio, los resultados experimentales indican que la mezcla depresora es más eficiente para deprimir plomo y zinc y con el óxido de calcio se logra deprimir las piritas. El depresor mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc se empleó en una concentración de 60 mg/L, junto con el colector Z-11 (50 mg/L) y espumante MIBC (40 mg/L) además de cal en una cantidad de 2 g para lograr un pH de 10, condiciones que permiten un trabajo eficiente del depresor recuperándose los 63,5 g de cobre que corresponde al 100%.

PALABRAS CLAVES: Xantato, depresor, flotación selectiva.

ABSTRACT

The present investigation entitled Selection of the depressant reagent to float copper from polymetallic minerals with a high load of pyrites, is a theoretical-experimental study of an applied type and of an explanatory level, with two fundamental parts in its development, one theoretical and the other experimental, in The theoretical part deals with the fundamentals of the research that includes the introduction and the methodological strategy; the experimental part considers the materials and procedures including the results and the discussion of the results. The research is of an applied type, explanatory level and experimental design. To demonstrate the hypothesis, tests were carried out with two depressants: one that is a mixture of sodium bisulfite and zinc sulfate and the other is sodium bichromate. The experimental results indicate that the depressant mixture is more efficient to depress lead and zinc and with calcium oxide it is possible to depress the pyrites. The depressant mixture of sodium bisulfite and zinc sulfate was used in a concentration of 60 mg/L, together with the Z-11 collector (50 mg/L) and MIBC foaming agent (40 mg/L) in addition to lime in an amount of 2 g to achieve a pH of 10, conditions that allow an efficient work of the depressant recovering the 63.5 g of copper that corresponds to 100%.

KEY WORDS: Xanthate, depressant, selective flotation.

I. INTRODUCCIÓN

Los minerales polimetálicos sulfurosos son conglomerados de especies mineralógicas inorgánicas que contienen sales de diversos metales muchas de ellas conformando sulfuros, los cuales para la hidrometalurgia son sustancias químicas que para poder recuperar el metal que los componen es necesario someterlos a flotación, basándose en las propiedades hidrofóbicas muy acentuadas que poseen estos compuestos. La flotación de minerales se basa en la propiedad de superficie que tienen ciertas partículas para rechazar el agua evitando de esta manera mojarse, lo que se denomina propiedad hidrofóbica; de esta manera las partículas que permanecen secas en la pulpa mineral contenida en la celda de flotación al formarse las burbujas por inyección del aire, se pegan a su superficie pudiendo ser llevadas a la parte superior de la celda donde se acumula formando una espuma estable que luego es retirada con ayuda de un raspador y dirigiéndose hacia las cochas para su deshidratación y posterior secado. Debido a que todos los sulfuros metálicos en mayor o menor medida poseen esta característica, es difícil separar los sulfuros de un metal de los demás sulfuros y es preciso entonces utilizar ciertos reactivos que permiten incrementar la selectividad del proceso de flotación haciendo que los sulfuros que no son de interés en dicho mineral se conviertan en partículas hidrofílicas, es decir, que tengan la capacidad de mojarse y junto con la ganga se decante hacia el fondeo de la calda de flotación. Estos reactivos se denominan depresores y en concentraciones mínimas son adicionadas a la pulpa para que actúen sobre los sulfuros indeseables logrando la separación del que se quiere concentrar.

Planteamiento del problema.

Los minerales que contienen sulfuros se consideran minerales complejos y para separarlos se recurre al método hidrometalúrgico denominado flotación, el cual permite hacer separaciones específicas en función a las propiedades fisicoquímicas y superficiales de cada tipo de mineral, de este modo se pueden separar los sulfuros de cobre, hierro, plomo y zinc. La flotación se basa en la adsorción selectiva de los minerales hidrófobos a la superficie de las burbujas de aire que se forman en el interior de la celda de flotación, en la pulpa formada por el mineral sulfuroso, el agua y los reactivos agregados para optimizar la adsorción.

Entre los reactivos que se adicionan a la pulpa mineral están los depresores, cuya función durante la flotación es la de menguar la capacidad de flotar de un mineral ya que convierte su superficie hidrofóbica en una superficie hidrofílica, es decir aumenta su capacidad

para mojarse y evitar la flotabilidad, de esta manera se impide la adsorción del colector, esto puede ser posible siguiendo los siguientes procedimientos:

1. Agregando a la pulpa un ion que llegue a la superficie del mineral antes que el colector.
2. Neutralización química y eliminación del colector
3. Añadiendo sustancias que generan grupos hidrofílicos que una vez que alcanzan la superficie mineral orientan la parte polar hacia el agua.

Los minerales sulfurosos polimetálicos en los cuales predominan el cobre, generalmente contienen sulfuros de plomo y sulfuro de zinc además de piritas, minerales que deben ser separados de los sulfuros de cobre para poder recuperarlo, para ello es preciso emplear los reactivos depresores, estos pueden ser uno o varios, para determinar cual o cuales son los que se deben de emplear para lograr una máxima recuperación se deben de realizar una serie de ensayos, que comprende el análisis químico, el análisis mineralógico del mineral y las pruebas de flotación en las cuales se deberán ir agregando reactivos depresores que por su propiedades serán seleccionados, este es el objetivo del presente proyecto.

Problema general:

¿Cómo seleccionar el reactivo depresor más eficiente para flotar cobre a partir de minerales polimetálicos con alta carga de piritas?

Problemas específicos

- ¿Qué reactivos depresores funcionan mejor para separar el plomo presente en el mineral tratado?
- ¿Qué reactivos depresores funcionan mejor para separar el zinc presente en el mineral tratado?

Objetivo General.

Seleccionar el reactivo depresor más eficiente para flotar cobre a partir de minerales polimetálicos con alta carga de piritas.

Objetivos específicos

- Determinar los reactivos depresores que funcionan mejor para separar el plomo presente en el mineral tratado
- Determinar los reactivos depresores que funcionan mejor para separar el zinc presente en el mineral tratado

Hipótesis general.

El reactivo depresor más eficiente para flotar cobre a partir de minerales polimetálicos con alta carga de piritas, se determinará experimentalmente.

Hipótesis específicas

- Los reactivos depresores que funcionan mejor para separar el plomo presente en el mineral tratado, son los tiocianatos.
- Los reactivos depresores que funcionan mejor para separar el zinc presente en el mineral tratado es el cianuro de sodio.

Variable independiente:

Reactivo depresor

Variable dependiente.

Flotación del cobre

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación teórica:

Teóricamente la presente investigación se justifica porque aborda el estudio de los reactivos depresores empleados en la industria hidrometalúrgica para la flotación de minerales sulfurosos que contienen cobre-plomo-zinc buscando que explique la relación entre sus propiedades superficiales del mineral y las propiedades de los reactivos usados.

Justificación metodológica:

Esta investigación se justifica metodológicamente porque aborda el estudio desde una perspectiva experimental para buscar los datos que permitirán demostrar la hipótesis planteada.

Justificación social:

Se justifica porque busca que mejore las técnicas de separación del cobre mediante flotación buscando los reactivos adecuados para disminuir costos y hacer más eficiente el proceso lo que favorecerá a los trabajadores y dueños de las empresas.

Justificación práctica:

Desde el punto de vista práctico esta investigación se justifica porque permitirá un trabajo metódico, planificado de las muestras con el fin de lograr mejores resultados.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

A nivel internacional.

P. Sandoval [1] en su tesis sobre flotación de minerales polimetálicos sostiene que los reactivos que se usan en el proceso deben de ser convenientemente seleccionados a fin de que las propiedades químicas de uno no interfieran con los de otro o en su defecto no perjudiquen su interacción, ya que la flotación es un proceso muy complejo y la finalidad en el es obtener el máximo posible de metal. La investigación es experimental, de tipo aplicada y de nivel explicativa. Las pruebas experimentales realizadas tuvieron como objetivo seleccionar los reactivos más adecuados para la flotación por espuma y los parámetros idóneos para llevar a cabo con la máxima eficiencia la recuperación del cobre, empleando diversos reactivos depresores. Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio reportaron datos que permitieron concluir que la flotación bulk de Cu-Pb es el método procedimental más adecuado para este tipo de mineral, separando primeramente la esfalerita y procediendo luego con la separación del Cu-Pb empleando para ello el cianuro. Este procedimiento se llevó a cabo ya que se determinó previamente mediante análisis que la cantidad en la muestra de sulfuros de cobre era mayor a la del sulfuro de plomo. El autor propone en la tesis emplear la lixiviación del mineral de plomo con ácido nítrico en un reactor para evitar la contaminación por gases de nitrógeno.

P. Merino [2] en su tesis plantea sulfidización del mineral oxidado de cobre para luego realizar una flotación Rougher con la finalidad de recuperar todo el cobre presente en el mineral, tanto el sulfuroso como el oxidado. Para desarrollar este proceso experimentalmente se procedió a agregar los reactivos sulfidizantes, los cuales fueron el sulfhidrato de sodio (NaSH) y metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅), junto con otros reactivos como los espumantes, depresores y modificadores de pH. Como resultado de los ensayos de laboratorio se determinó una recuperación de cobre oxidado de 21,43% empleando el sulfuro ácido de sodio y la recuperación de cobre total en 3,86%, con el metabisulfito de sodio aumentó la cantidad recuperada de cobre procedente de los sulfuros a un 5,61% y el cobre total hasta un 4,4%, Se reporta también que cuando se emplean estos reactivos, no solo el cobre es recuperado de los minerales oxidados - sulfurosos, sino además otros metales presentes en el mineral tratado. El autor concluye

que mediante la sulfidización se incrementa la recuperación del cobre que se encuentra como componente de los minerales oxidados.

A nivel nacional:

A. Canchanya y N. Yance [3] presentaron su tesis sobre flotación de polimetálicos, donde la problemática fue recuperar el cobre separándolo del plomo mediante el uso de depresores que permitan una máxima recuperación del cobre. La tesis de diseño experimental, para demostrar la hipótesis planteada realizó diversos ensayos que comprendieron el análisis de la muestra la cual contenía una concentración elevada de cobre, plomo, zinc, plata y oro, con presencia de especies mineralógicas como calcopirita, galena, marmatita, piritita y silicatos, se determinó una concentración de 3,41% de cobre. Se ensayaron varios reactivos depresores para la galena, seleccionando finalmente el bicromato de sodio y del bisulfito de sodio, entre los cuales se seleccionó el primero. En el estudio se concluye que el reactivo depresor empleado fue el bisulfito de sodio en combinación con el CMC y carbón activado, lo cual les permitió lograr una adecuada separación del cobre, liberándolo del plomo. Los datos indican que en el concentrado de cobre se obtuvo 25.47 %Cu y 6.03 %Pb mientras que el concentrado de plomo se logró un 61.52 %Pb y 0.36 %Cu.

V. Gonzales [4] en su tesis sobre “el impacto de los reactivos depresores utilizados en la flotación de minerales sulfurosos”, señala en su estudio sobre la acción depresora de los reactivos en la flotación de sulfuros que, en el caso de los sulfuros de cobre, se requieren reactivos depresores específicos para la piritita. Estos agentes deben evitar afectar tanto a los sulfuros de cobre como a los de molibdeno, ya que un pH elevado, incluso al agregar cal para superar el valor de 11, no siempre es efectivo. En este escenario, se emplean reactivos como el cianuro de sodio, así como otros oxidantes y depresores. Algunos de estos presentan inconvenientes debido a su toxicidad, mientras que otros pueden afectar a los minerales valiosos. Tras analizar los resultados de las pruebas de flotación, el estudio concluye que el tiempo de flotación tiene una influencia significativa, ya que a mayor duración de la flotación, se logra una mayor recuperación de cobre. Experimentalmente, se obtuvieron los mejores resultados después de 21 minutos de proceso.

A nivel local.

En las Universidades locales no existe información virtual sobre tesis que aborden este tema.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Flotación de minerales.

El proceso de flotación es un método hidrometalúrgico empleado para separar las partículas de mineral pulverizadas hasta una granulometría adecuada, del material que está presente en el mineral y que no tiene valor económico denominado comúnmente ganga o relave, empleando para ello reactivos que permiten hacer más eficiente este proceso. Estos reactivos se mezclan con la pulpa de mineral para hacer más resistentes a las burbujas que se forman al ingresar el aire con cierta presión a la celda de flotación, para hacer más hidrofóbicas los sulfuros a concentrar y que se adhieran con facilidad a la superficie de las burbujas, para acondicionar la pulpa a un pH adecuado, es decir, que sea más susceptible a los otros reactivos durante el proceso lográndose así mejores resultados y mayor rendimiento.

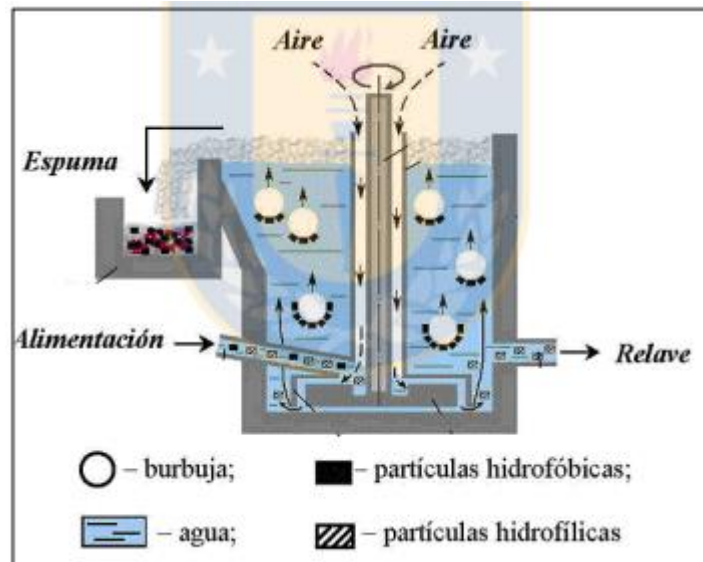


Fig. 1. Esquema de la flotación de minerales [4]

Debido a la forma como se lleva a cabo el proceso de flotación por espuma, esta recibe sus nombres:

1. Flotación colectiva o flotación Bulk, cuando la separación de los componentes en dos grupos;
2. Flotación selectiva o diferencial que está diseñada para recuperar un solo componente a partir de minerales complejos.

La flotación de minerales está basada en las propiedades fisicoquímicas de los minerales relacionadas con las características de superficie en las cuales el sólido tiene afinidad por el agua o rechazo por esta. El carácter hidrofílico o su afinidad con el agua permite

que las partículas sólidas se mojen, se mantengan suspendidas en la pulpa y luego se decanten hacia el fondo de la celda de flotación.

El carácter hidrofóbico o de repulsión hacia el agua mantiene seca a la partícula mineral lo que le permite adherirse a la superficie de la burbuja y flotar moviéndose hacia la parte superior de la celda de flotación almacenándose allí como una espuma amarillenta cargada de sulfuro que luego se retira y es lo que constituye el concentrado. La característica hidrofóbica es natural de los sulfuros y de los metales nativos, debido a ello son fáciles de flotar, más aún si el proceso se lleva a cabo en presencia de reactivos espumantes y colectores, entre estos últimos los xantatos, ditiofosfatos o cualquier otro compuesto sulfhídrico, los cuales en pequeñas dosis se agregan a la pulpa.

Flotación por espuma.

El proceso descrito anteriormente es la flotación por espuma, en la cual se emplean reactivos de acción específica las cuales permiten reforzar las propiedades físicas de las burbujas como son: la resistencia, las vuelven más estables, resistentes a la ruptura, de tamaño adecuado, reúnen a los sulfuros del metal que se quiere extraer y evitando las pérdidas en la recuperación del metal que se quiere recuperar.

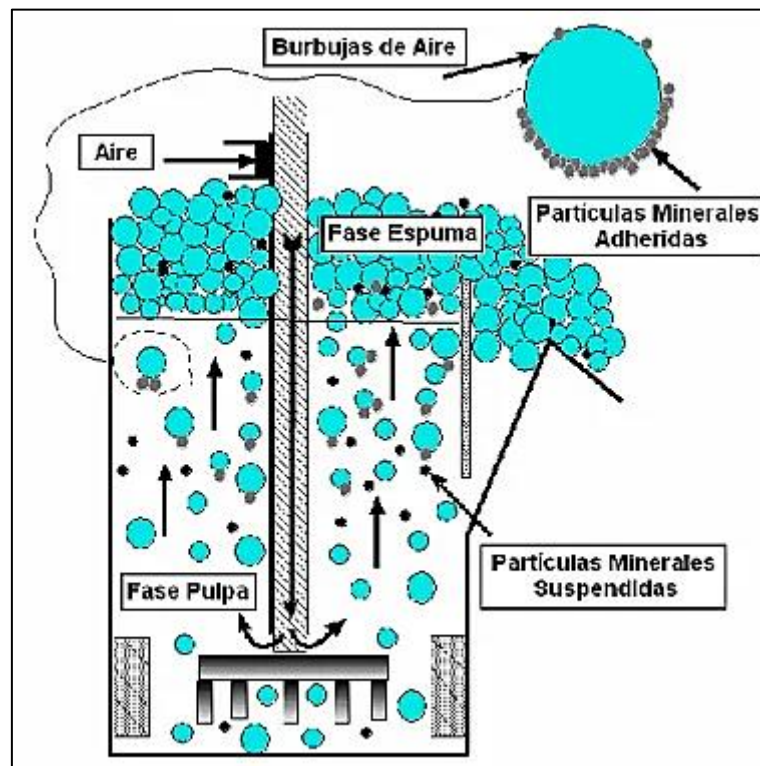


Fig. 2. Esquema de la flotación por espuma de minerales [5]

Mecanismo de flotación.

Para comprender el mecanismo de la flotación, es fundamental tener un conocimiento detallado del comportamiento de las partículas minerales y las burbujas de aire cuando se forma una unión estable entre ellas. En relación a las partículas minerales, se sabe que solo unas pocas poseen propiedades hidrofóbicas lo suficientemente fuertes como para flotar. En la mayoría de los casos, es necesario romper enlaces químicos, como enlaces covalentes e iónicos, para lograr la liberación del mineral.

Este proceso conlleva la hidrofiliación de las superficies minerales, es decir, su hidratación. Aunque esto puede no ocurrir de manera ideal, es importante considerar las diferencias entre una red cristalina teórica y una red real con todas sus imperfecciones. Se ha comprobado que las fracturas y los desórdenes iónicos aumentan la hidratación superficial de las partículas minerales. En resumen, es necesario hidrofobizar las partículas minerales presentes en la pulpa para hacerlas flotables. Esto se logra mediante el uso de reactivos conocidos como colectores, que generalmente son compuestos orgánicos con una naturaleza heteropolar, es decir, la molécula tiene una parte claramente apolar (hidrocarburo) y otra parte con propiedades iónicas.



Fig. 3. Espuma de concentrado acumulado en la parte superior de la celda [4]

Con el fin de facilitar la adsorción de estos reactivos en la superficie de las partículas minerales, es necesario crear condiciones favorables en la llamada capa doble de cargas eléctricas. Para lograr esto, se utilizan reactivos conocidos como modificadores, los cuales reducen el potencial de la capa doble o, en algunos casos, cambian su dirección. De esta manera, se generan condiciones propicias para la adsorción de los colectores, como la disminución del potencial o, incluso mejor, alcanzar el punto isoeléctrico (potencial cero). La partícula mineral se recubre con el colector, que se ancla en su red cristalina mediante su parte polar, otorgándole propiedades hidrofóbicas con su parte apolar. En cuanto al mecanismo de adsorción de los colectores, actualmente no existe

un consenso claro sobre si se trata de un proceso de adsorción física o química. La evidencia experimental muestra ejemplos de ambos tipos, por lo tanto, cada caso particular debe ser considerado de forma individual.

El otro componente del futuro agregado partícula-burbuja es la burbuja de aire. Esta es necesaria para

- 1) “recoger las partículas en la pulpa”,
- 2) “transportarlas hacia la superficie”.

El transporte se lleva a cabo mediante la aplicación de la fuerza de empuje, según la ley de Arquímedes. En los experimentos donde se realiza una inyección directa de aire en la pulpa, generalmente se obtienen resultados negativos si no se utiliza un espumante. Esto se debe a que el aire se distribuye de manera desigual, las burbujas son inestables y tienden a agruparse entre sí. Sin embargo, al agregar el espumante, se logra estabilizar las burbujas, se obtiene el tamaño deseado y se logra una dispersión uniforme del aire. Es fácil comprender que cada burbuja representa el contacto entre dos fases: líquido y gas, al igual que en el caso discutido anteriormente sobre un líquido en equilibrio con la atmósfera.

De acuerdo a las explicaciones anteriores y en concordancia con la segunda ley de la termodinámica, los espumantes, que son reactivos con propiedades tensoactivas, se adsorben selectivamente en la interfase entre el gas y el líquido. Las partes polares de estos compuestos tensoactivos se orientan hacia el agua, mientras que la parte apolar se dirige hacia la burbuja misma. Tanto las partículas como las burbujas están constantemente en movimiento debido a la agitación provocada por los rotores de las máquinas de flotación. Para que se produzca su unión, se requieren dos condiciones fundamentales: 1) que se encuentren entre sí y 2) que existan condiciones favorables para la formación del agregado. El encuentro de estas partículas y burbujas se produce gracias al acondicionamiento y la agitación dentro de la propia máquina de flotación.

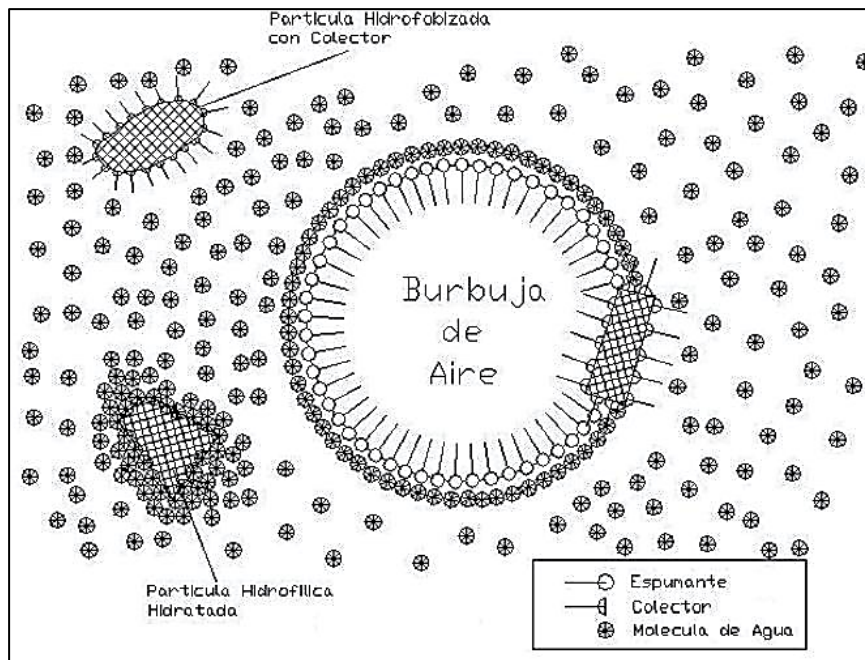


Fig.4. Mecanismo de la flotación [5]

El aspecto más delicado de la teoría de la flotación se encuentra en el contacto continuo entre la partícula y la burbuja de gas. La explicación de las condiciones necesarias para lograr una unión estable entre ambas se basa en los siguientes conceptos: no hay dificultad en comprender cómo la burbuja y la partícula se aproximan hasta que la delgada película de agua que las separa se vuelve extremadamente delgada. En ese momento, para que la partícula se acerque aún más a la burbuja, debe superar una barrera energética.

Para las partículas hidrofílicas, donde la conexión con las moléculas de agua es sólida, esta barrera nunca se supera y las partículas no pueden flotar. Sin embargo, en el caso de las partículas hidrofóbicas, la barrera se rompe súbitamente debido a fuerzas que aún no se comprenden por completo, permitiendo un contacto trifásico.

Sin embargo, la realidad es más compleja de lo que parece. En primer lugar, la película de agua nunca se rompe por completo y la partícula siempre queda cubierta por una película de moléculas de agua con un espesor de aproximadamente 10 moléculas, que juegan un papel en las interacciones subsiguientes. Esta película de agua exhibe propiedades significativamente diferentes al agua a gran escala. Por ejemplo, posee una mayor resistencia mecánica y rigidez en comparación con las asociaciones típicas de moléculas de agua. No solo muestra una mayor viscosidad, sino que se considera mecánicamente sólida, exhibiendo características similares a las de un sólido.

En consecuencia, el contacto real entre la partícula y la burbuja ocurre de manera trifásica, considerando la finísima película de agua como un sólido. Es imposible evitar esta película, ya que incluso si asumimos que el sólido no la lleva consigo, al acercarse a la burbuja, dentro de esta existe vapor de agua que se condensa formando una capa extremadamente delgada sobre la superficie del sólido, impidiendo así su contacto directo con el aire.

Los conceptos modernos sobre la dinámica del contacto entre la burbuja y la partícula se asemejan a la colisión entre dos objetos elásticos. Esto implica que los cuerpos chocan y se repelen. Se ha observado el hundimiento de la burbuja cuando es golpeada por la partícula, y el rebote elástico de esta última. La partícula, posteriormente, choca nuevamente con las burbujas hasta que se encuentra con aquella que presenta las condiciones energéticas y eléctricas adecuadas para asociarse. Este mecanismo, por lo tanto, considera factores importantes como el tamaño de la partícula (fuerza dinámica) y su capacidad de mojabilidad (condiciones eléctricas).

2.2.2. Reactivos depresores

El objetivo de los reactivos depresores durante la flotación de minerales es disminuir la capacidad de flotar de estos convirtiendo la superficie de las partículas en hidrofílicas, lo que impide su adsorción a la superficie de las burbujas y más bien se mojan y decantan hacia el fondo de la celda de flotación. La razón para producir este cambio es no permitir que los sulfuros que no interesan queden en la ganga y solo se pueda flotar el sulfuro que posee el metal que se quiere recuperar.

Para lograr este cambio en la superficie de las partículas involucradas, se puede en primer lugar introducir en la pulpa un ion que tenga la misma función que el colector y que se adhiera a la superficie de las burbujas, teniendo en cuenta que debe de tener la misma carga eléctrica del colector. En este caso se produce la depresión porque el mecanismo de depresión es idéntico al mecanismo de adhesión, lográndose convertir a las partículas hidrofóbicas en partículas hidrofílicas. Esto sucede en los casos que los sulfuros de metales pesados con el ion HS^- y además la depresión de algunos sulfuros con el ion cianuro (CN^-).

El mecanismo de acción depresor del ion cianuro (CN^-) que es agregado a la pulpa como compuestos de cianuro de sodio o cianuro de calcio para actuar como depresores del sulfuro de hierro, sulfuro de zinc, sulfuros de cobre, sulfuro de níquel, sulfuro de cadmio, sulfuro de plata, sulfuro t sulfuro de antimonio con los cuales forman compuestos cianurados complejos muy estables.

Como depresores del plomo se pueden emplear los cromatos y dicromatos, los cuales forman sobre la superficie de la partícula compuestos de plomo; estas sales son iónicas y por lo tanto solubles en agua lo que ayuda a convertir la partícula hidrofóbica en hidrofílica que se moja y no se adhiere a la parte hidrocarbonada del colector ni a la superficie de la burbuja.

Otro depresor inorgánico de importancia es el silicato de sodio que se emplea como dispersante, depresor y modificador de espuma; este compuesto dispersa y deprime las lamas de ganga silíceas y debido a ello endurece las espumas que se forman durante la flotación. Por otro lado los compuestos inorgánicos: sulfito de sodio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), el pirosulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) y el dióxido de azufre (SO_2), son depresores que durante la flotación deprimen los sulfuros de zinc y de hierro (piritas), su actividad depresora se ve fortalecida cuando se mezclan con sulfato de zinc y cianuro ya sea de sodio (NaCN) o de calcio ($\text{Ca}(\text{CN})_2$)

El dióxido de azufre como depresor tiene una excelente propiedad depresora es mayor de acuerdo con la siguiente lista de minerales tratados: calcopirita, sulfuro arseniuro de cobre, chalcocita-covelita, galena, pirita, marmatita y esfalerita, lo cual le permite ser empleado como depresor de una gran cantidad de minerales sulfurosos, entre ellos los sulfuros primarios sin emplear cianuro de sodio-óxido de calcio, y en algunos casos se mezcla con almidón/ NaOH para potenciar su efecto depresor.

Los bisulfito y sulfitos se emplean como depresores de minerales de plomo y del zinc. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la presencia de sulfuros secundarios de cobre afecta la depresión con estos compuestos ya que se disuelve el cobre (reacciona con los depresores formando compuestos solubles en agua y por tanto se pierde dicho metal en los efluentes líquidos de la flotación, en ciertos casos este cobre es absorbido por la galena evitando su depresión. Este efecto negativo se evitaría con el aumento de la temperatura y la adición de azufre, de esta manera se lograría la precipitación del cobre como sulfuro de cobre, un compuesto negro que precipita. En este caso el acondicionamiento no se requiere y es necesario agregar el depresor por partes sucesivamente cuando existen minerales secundarios.

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.

Por su tipo esta investigación es aplicada, ya que busca que solucionar uno de los grandes problemas de la flotación de minerales sulfurosos y minerales polimetálicos empleando los reactivos depresores para separar el Cu-Pb-Zn. Por su nivel es una investigación explicativa, ya que busca la relación entre ambas variables de estudio. Por su diseño es una investigación experimental donde se manipula la variable independiente análisis reactivo depresor. La población del estudio se conformará con todos los minerales polimetálicos donde prevalece el cobre y que en la flotación requieren de algún reactivo depresor específico. La muestra la conformará 50 Kg de mineral sulfuroso polimetálico de diferentes canchas de minerales para realizar los análisis respectivos y los ensayos correspondientes para demostrar la veracidad de la hipótesis. Las técnicas empleadas para la recolección de datos son las técnicas analíticas y el instrumento los análisis químicos.

Las técnicas por emplearse son las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos serán tratados estadísticamente. Los resultados obtenidos se seleccionarán, se tabularán, se interpretarán y discutirán de acuerdo con los resultados hallados por otros investigadores.

2.5. Procedimiento experimental.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.

La recolección de muestras se llevó a cabo en la cancha de minerales de la planta Victoria, situada en la zona sur de la ciudad de Nasca, en la zona llamada Pampa Caballa perteneciente al distrito de Vista Alegre, esta es una planta hidrometalúrgica procesa sulfuros de cobre y polimetálicos. El mineral que se deposita en la cancha es mineral polimetálico conteniendo: cobre, plomo, zinc, pirita. El mineral seleccionado contiene una mayor proporción de sulfuros de cobre acompañado de otros sulfuros entre los que predominan ella galena y la blenda. 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, aprovechando de que en este laboratorio existe la chancadora de quijadas y el molino de bolas. El mineral pulverizado luego fue transportado a la ciudad de Ica y llevado al laboratorio central de la Facultad de Ingeniería Química de la UNICA donde se hicieron los respectivos ensayos.

CHANCADO Y MOLIENDA DE LA MUESTRA MINERAL.

El mineral recolectado una vez en el laboratorio metalúrgico fue tamizado primeramente con malla 3/8" para separar el material de menor diámetro y no saturar la chancadora. Posteriormente, se procedió al chancado del mineral en una chancadora de quijadas de laboratorio, en ella se pasó todo el mineral y luego se procedió a la molienda seca en un molino de bolas 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 - 150. El mineral molido en su totalidad se colocó en el piso limpio y se procedió a mezclarlo para luego reunirlo en un cono que fue achatado con la pala dándole la forma de una torta que se divide en cuatro, eliminando dos partes. El material que queda se vuelve a reunir en un cono que se achata y se cuarteo, continuando con esta operación hasta obtener una muestra representativa de aproximadamente 1000 gramos, la cual va a servir para los análisis correspondientes.

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 los siguientes:

- Determinación de oro, por el método de la mufla eléctrica
- Determinación de plata, por el método de la mufla eléctrica
- Determinación de cobre total, por el método yodométrico
- Determinación de hierro, por el método complexométrico
- Determinación de plomo, por volumetría
- Determinación de cuarzo, por método gravimétrico y
- Determinación de zinc, método volumétrico.

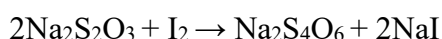
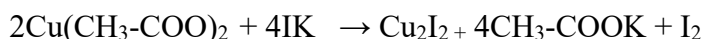
Ensayo de cobre por el método yodométrico.

Aplicación.

El método de ioduro es uno de los métodos más exactos que se conoce para la determinación del cobre en minerales.

Fundamento y calculo.

El método se basa en qué si se trata una solución de sal cúprica neutra o débilmente ácida, con yoduro de potasio en exceso, se precipita todo el cobre en estado de yoduro cuproso y queda libre un átomo de cobre. El yodo liberado se valora con solución de tiosulfato de sodio, según las reacciones.



Para cálculos:

1Litro de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1N = $\text{Cu}/10 = 6,357$ g para un litro.

Para solución 0.1N de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ tomar 24,8105 g para un litro.

$$1\text{mL} = 0,006357 \text{ g de Cu}$$

La determinación del porcentaje de cobre en un mineral constituye un ejemplo de un análisis que emplea el ion yoduro como agente reductor, y yodo como agente oxidante.

Preparación y estandarización de soluciones.

Las soluciones que se necesitan son: agua de bromo, suspensión de almidón y solución estándar de tiosulfato de sodio.

SUSPENSIÓN DE ALMIDÓN.

Esta suspensión debe de ser recientemente preparada. Con 1 g de almidón soluble al cual se le agrega agua, poco a poco, se prepara una pasta delgada. Se vacía ésta en 100

mL de agua hirviente, al tiempo que se agita vigorosamente. Se enfría, se agregan 2 g de KI sólido y se agita hasta disolverlos.

SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE TIOSULFATO DE SODIO.

Es mejor utilizar esta solución unos días después de haberla preparado. La estandarización de la solución debe hacerse simultáneamente con las titulaciones de las muestras problemas, si se desea resultados de la más alta precisión:

- a. Se disuelve 20 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ en unos 500 mL de agua destilada fría, que se ha hervido para eliminarle el CO_2 .
- b. Se agregan unos 0,5 g de NaOH y se diluye a un litro.
- c. Se limpian 2 g de cobre electrolítico puro, primeramente, con fibra de acero y seguidamente con solución de HCl.
- d. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se pesa el cobre con exactitud.
- e. Se añaden 10 mL de ácido nítrico concentrado.
- f. Cuando la reacción cesa, se agrega 5 mL de agua de bromo saturada y se hierve por 2 minutos.
- g. Se diluye a 50 mL y se enfría.
- h. Se agrega gota a gota hidróxido de amonio, hasta que el hidróxido de cobre de color celeste que se forma al principio comienza a disolverse, indicación de lo cual es que la solución empiece a tomar un color azul más oscuro. No se debe añadir tanto amoniaco que la solución vaya a adquirir un color azul oscuro.
- i. Se agregan unos 5 mL de ácido acético glacial.
- j. Se pasa a un matraz volumétrico de 500 mL, se enfría y se diluye hasta la marca de aforo.
- k. Se pipetea 50 mL de esta solución dentro de un matraz Erlenmeyer de 250 mL
- l. Se diluye a 100 mL y se adicionan 3 g de KI previamente disueltos en unos 10 mL de agua destilada.
- m. Se titula con solución de tiosulfato hasta que el color café del yodo haya desaparecido totalmente.
- n. Se agrega 1 mL de solución de almidón y se titula hasta que el color azul comienza a decolorarse.
- o. Se agrega 1 mL más de solución de almidón y 2 g de NH_4SCN (Sulfocianuro de amonio), disueltos en agua. El ion sulfocianuro

desplaza al I₂ adsorbido sobre el Cu₂I₂ (yoduro cuproso) que se formó como un precipitado durante la titulación.

- p. Se titula hasta que el color cambia a un tanino muy ligero.
- q. Se calcula el título en cobre de la solución de tiosulfato:

Título en Cu = Peso del Cu/ mL de titulante.

Análisis del mineral.

El tratamiento que se describe sirve para disolver minerales que contienen sulfuros, óxidos o cobre metálico.

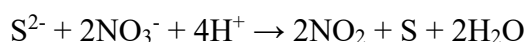
REACCIONES DURANTE EL ANÁLISIS.

Las siguientes reacciones pueden ocurrir durante el análisis:

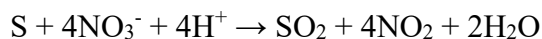
- a. En la solución de HCl se disolverá el óxido de cobre, así:



- b. El sulfuro de cobre se disolverá solamente si se agrega ácido nítrico. El nitrato oxida el S²⁻ a azufre libre.

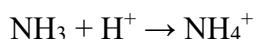


El azufre puede ser oxidado ulteriormente a SO₂

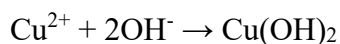
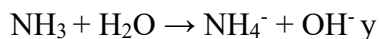


Estas dos reacciones reducen la concentración del ion sulfuro por debajo de la concentración en la constante de producto de solubilidad para el CuS. La concentración de Cu²⁺ aumenta grandemente y el CuS se disuelve.

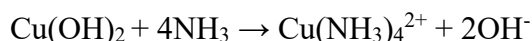
- c. La adición de hidróxido de amonio neutraliza el exceso de ácido.



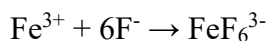
Aumenta también la concentración de OH⁻, de manera que el hidróxido de cobre precipita.



Si se agrega demasiado amoníaco, se redisolventará el hidróxido de cobre formando un ion complejo de color azul oscuro:



- d. Se agrega bifluoruro de amonio para formar un ion complejo muy estable con los iones férricos. De otra manera los iones férricos reaccionarían con el ion yoduro para dar yodo libre.

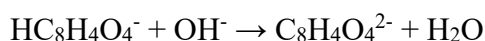


Esta reacción reduce la concentración de Fe^{3+} por debajo de la que se necesita para oxidar los iones yoduro.

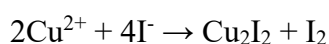
- e. El ftalato ácido de potasio contiene el ion biftalato que puede reaccionar indistintamente con un exceso de H^+ o de OH^- manteniendo el pH entre 3,5 y 4,5. Por consiguiente el ion biftalato es un buffer:



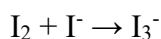
Esta reacción se verifica si en la solución hay un exceso de ácido. De haber un exceso de iones oxhidrilo la reacción que se efectúa es la siguiente:



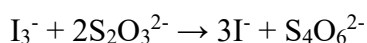
- f. Los iones cúpricos oxidan el ion yoduro a yodo libre.



El yoduro cuproso es insoluble y precipita adsorbiendo I_2 considerablemente, a menos que estén presentes bastantes iones sulfocianuro para desplazar el yodo. Las moléculas de yodo reaccionan con los iones yoduro para formar un ion complejo débil, el ion triyoduro:



- g. El ion triyoduro es reducido a yoduro por los iones tiosulfato de la solución estándar.



PROCEDIMIENTO.

El mineral se disuelve y analiza de acuerdo con los siguientes pasos:

- Se seca el mineral por una hora a $105-110^\circ\text{C}$. Un sobre secado puede ocasionar que el oxígeno del aire oxide los sulfuros del mineral.
- En matraces Erlenmeyer de 500 mL, si es que no hay disponibles matraces de cobre, se pesan muestras de 1 g de mineral.
- Se agregan 10 mL de HCl concentrado.
- Se hierve hasta reducir el volumen hasta 5 mL.
- Se adicionan 10 mL de HNO_3 concentrado.
- Se hierven hasta reducir el volumen a unos 10 mL.
- Se agrega 10 mL de HCl concentrado y se hierve hasta reducir el volumen a unos 10 mL.
- Se enfrían y se agregan con mucho cuidado 10 mL de H_2SO_4 concentrado.

- i. Se hierve para expulsar por lo menos 5 mL de líquido del matraz. Se continúa la ebullición hasta que por la boca del matraz escapen vapores blancos de ácido sulfúrico, por lo menos por 30 segundos. Todo el HCl debe ser volatilizado.
- j. Se enfría, se añaden 20 mL de agua y se calienta hasta que los humos blancos, densos, vuelvan a aparecer por la boca del matraz.
- k. Se enfría y se diluye a 25 – 30 mL.
- l. Se adiciona hidróxido de amonio hasta que el color verde comience a volverse azul.
- m. Se agregan 2 g de bifluoruro de amonio (NH_4HF_2) y se agita hasta disolverlo completamente.
- n. Se agregan 3 gramos de yoduro de potasio y se disuelve.
- o. En este punto para actuar como buffer se puede adicionar y disolver un gramo de ftalato ácido de potasio. Sin embargo, rara vez se necesita.
- p. Utilizando almidón como indicador se titula con tiosulfato de sodio hasta que el color café del yodo haya desaparecido.
- q. Se calcula el porcentaje de cobre en el mineral.

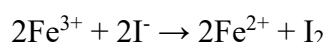
Título x volumen de titulación = g de Cu

Errores del método

Existen muchas posibles causas de error en este análisis, pero, con precauciones apropiadas se pueden obtener excelentes resultados.

IONES FÉRRICOS.

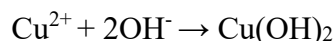
El Fe^{3+} al igual que el Cu^{2+} , oxida al I^- , a menos que el ion férrico sea separado de la solución:



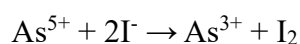
Para evitar esta reacción con el NH_4HF se agregan iones fluoruro, los cuales forman un ion complejo estable.

CONTROL DEL pH.

Con un pH superior a 4,5 el Cu^{2+} reacciona con el OH^- , precipitando de la solución y originando una oxidación incompleta del I^- .



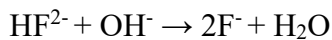
Con un pH inferior a 3,5 tanto el As^{5+} como el Sb^{5+} , de estar presentes pueden oxidar el I^- :



El antimonio reacciona de forma similar. Por consiguiente, la solución que se va a analizar debe bufferizarse a un pH entre 3,5 y 4,5. El ion bifluoruro del NH_4HF_2 por lo general es un agente regulador suficiente, aunque el ftalato ácido de potasio con frecuencia se agrega como agente bufferizante adicional. El ion bifluoruro bufferiza del mismo modo que el ion biftalato, con exceso de H^+ :



Y con exceso de OH^- :



ADSORCIÓN DEL I_2 SOBRE EL Cu_2I_2 .

El precipitado de yoduro cuproso adsorbe I_2 fuertemente, a menos que cantidades relativamente grandes de SCN^- estén presentes para ser adsorbidos, desplazando así al I_2 de las superficies de los cristales de yoduro cuproso.

INESTABILIDAD DE LA SOLUCIÓN DE TIOSULFATO.

El tiosulfato se descompone en soluciones ácidas o neutras y con el O_2 del aire, produciendo azufre y sulfatos o sulfitos. La adición de NaOH ó Na_2CO_3 estabiliza algo la solución, pero es mejor que las titulaciones y estandarizaciones se complementen el mismo día.

Flotación de sulfuro de cobre y plomo.

1. Objetivo:

Realizar pruebas experimentales para establecer la eficiencia de los reactivos depresores de sulfuros de plomo, zinc y pirritas durante la flotación del cobre presente en el mineral.

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.



Fig. 5. Phchímetro de mesa [7]

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



Fig. 6. Balanza analítica [5]

3. Reactivos de flotación:

- Cal

Es el óxido de calcio (CaO) se emplea como modificador de pH y como depresor de las piritas

- Xantato isopropílico de sodio (Z-11)

Es un colector de elevado poder, muy empleado para recuperar por flotación: cobre, plomo, zinc; minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro en los cuales los principales minerales son calcopirita, calcocita, enargita, galeno, esfalerita, marmatita, pirita y pirrotita. También se emplea para flotar minerales nativos como el cobre, oro, plata y los sulfuros de hierro conteniendo cobalto y níquel.

- Mezcla de Bisulfito de sodio y sulfato de zinc.

Esta es una mezcla depresora que se emplea para deprimir el plomo, zinc y la pirita. El bisulfito de sodio (NaHSO_3) es un depresor de los sulfuros de hierro y zinc, controla la oxidación del cobre y del plomo. El sulfato de zinc se emplea para la flotación selectiva del cobre y del plomo de la esfalerita, se emplea en un medio alcalino como depresor de la blenda y de la pirita. Para lograr un pH alcalino se emplea la cal como regulador del pH.

- Bicromato de sodio.

Se emplea como depresor de la galena, de la baritina y la calcita, su actividad es más eficiente cuando actúa en un medio de pH entre 8 y 10.5

- MIBC

El metil isobutil carbinol (MIBC) es un espumante de excelentes cualidades, empleado en la flotación selectiva de sulfuros.

- Mineral pulverizado a malla -150.

4. Procedimiento:

4.1. Preparación de reactivos.

Se prepara soluciones del colector en la cantidad adecuada:

Se prepara solución de 40 mg/L

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

Los reactivos depresores que se van a emplear se preparan en concentraciones que van desde 20 mg/L hasta 100 mg/L, tanto de la mezcla depresora bisulfito de sodio y sulfato de zinc como de bicromato de sodio.

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. 7. Chancadora de quijas de laboratorio [5]



Fig. 8. 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 (o de soda caustica) 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 o soda caustica según sea necesario.



Fig. 9. Celda de flotación Denver [5]

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

Luego agregar 2 gotas de espumante MIBC 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 sulfuros 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)	6,35
Plomo (Pb)	2,74
Níquel (Ni)	0,72
Hierro (Fe)	3,29
Zinc (Zn)	0,41
Azufre (S)	15,53
Oro (Au)	78 g/t
Plata (Ag)	26 g/t

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.1 muestra los resultados del análisis químico de la muestra de mineral polimetálico que contiene: 6,35% de cobre; 2,74 % de plomo; 0,72% de níquel; 3,29% de hierro; 0,41% de zinc; el contenido de azufre alcanza el 15,53%. El contenido de oro es de 78 g/t y de plata 26g/t.

Tabla 3.2.

Análisis mineralógico cualitativo del mineral

Especie mineralógica	Observación
Calcopirita	++
Bornita	+
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 reactivos depresores empleados en la flotación del cobre, los resultados indican que en este mineral hay predominantemente: pirita en mayor proporción, seguido de covelina y calcopirita, galena.

Tabla 3.3

Resultado de la moliendabilidad del mineral

Tiempo, min	% pasante malla #150
4	39,95
6	46,78
8	56,71
10	60,06
12	68,65
14	72,82

Fuente: Datos experimentales.

Condiciones de molienda:

Peso del mineral: 1000 gramos

Agua: 500 mL

Malla Tyler: #150

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 #150, el 60% del mineral molido.

Tabla 3.4

Condiciones de flotación del mineral
para establecer la concentración adecuada del depresor

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 360
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, %	30,9
pH	10,0
Cal (CaO), g	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5
Espumante MIBC, mg/L	20, 40, 60, 80, 100
Colector Z-11, mg/L	25, 30, 35, 40, 45, 50
Depresor: Bisulfito de sodio + sulfato de zinc, mg/L	20, 30, 40, 50, 60, 70
Depresor: Bicromato de sodio, mg/L	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.4 se dan a conocer los parámetros que permanecerán fijos en todos los ensayos a realizarse para establecer la concentración adecuada de los depresores empleados en los ensayos de flotación del cobre, por tanto, las únicas concentraciones a manipular serán las de los depresores, las cuales variarán desde 40 hasta 100 mg/L para el caso del bicromato de sodio y desde 20 hasta 70 mg/L para la mezcla depresora bisulfito de sodio con sulfato de zinc; en este caso se empleó como espumante el MIBC en una concentración de 40 mg/L. Como modificador de pH se empleó cal en una concentración de 2 g llevando el pH a 10.

Tabla 3.5

Determinación de la concentración del colector Z-11

N° de ensayo	Colector Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	25	40,3
02	30	45,7
03	35	51,4
04	40	56,8
05	45	61,2
06	50	63,5
07	55	63,5

Fuente: Datos experimentales.

Concentración de cobre en la muestra: 63,5 g

La tabla 3.5 se muestra los resultados de las pruebas realizadas con el colector Z-11, para seleccionar su concentración adecuada, según el reporte de laboratorio la concentración adecuada de este colector es de 50 mg/L, empleando como espumante el MIBC, en una concentración de 40 mg/L, la cual ha permitido recuperar el total de cobre presente en la muestra ensayada, que es de 63,5 g

Tabla 3.6

Determinación de la cantidad óptima de la cal (modificador de pH)

N° ensayo	Cal, g	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	0,5	50	45,2
02	1,0	50	53,6
03	1,5	50	59,8
04	2,0	50	63,5
05	2,5	50	62,1

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.6 se muestra los resultados de ensayos para determinar la concentración adecuada de cal (modificador de pH) para la flotación del cobre empleando el colector Z-11 en una concentración de 50 mg/L y empleando como modificador de pH la cal en una concentración de 2,0 g que da un pH 10,0 según el reporte la cantidad de CaO que se requiere para recuperar el cobre es de 2 g por litro.

Tabla 3.7

Determinación de la cantidad óptima del espumante MIBC

N° ensayo	MIBC, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	20	50	58,3
02	40	50	63,5
03	60	50	62,9
04	80	50	60,1
05	100	50	56,2

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.7 se muestra los resultados de los ensayos realizados para establecer la concentración del espumante MIBC necesario para la total recuperación del cobre, empleando el colector Z-11 en una concentración de 50 mg/L y empleando como modificador de pH la cal en una concentración de 2,0 g que da un pH 10,0 según el reporte la cantidad requerida de MIBC para recuperar el cobre es de 40 mg/L de MIBC.

Tabla 3.8

Condiciones para la flotación del mineral sulfuro de cobre

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 340
Granulometría del mineral, malla #	150
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	10,0
Cal (CaO), g	2
Espumante MIBC, mg/L	40
Colector Z-11, mg/L	50
Depresor 1: Bisulfito de sodio + sulfato de zinc, mg/L	20, 30, 40, 50, 60, 70
Depresor 2: Bicromato de sodio, mg/L	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9

Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 1

N° ensayo	Depresor 1, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	20	50	15,4
02	20	50	15,1
03	20	50	14,9
04	20	50	15,6
05	20	50	15,9
Promedio, g			15,4

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.9 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 1 constituido por una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc a una concentración de 20 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 15,4 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 24,3%.

Tabla 3.10

Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 2

N° ensayo	Depresor 1, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	30	50	28,5
02	30	50	28,0
03	30	50	28,1
04	30	50	28,7
05	30	50	28,4
Promedio, g			28,3

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.10 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 1 constituido por una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc a una concentración de 30 mg/L, con la cual se recupera solo un promedio de 28,3 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 44,6%.

Tabla 3.11

Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 3

N° ensayo	Depresor 1, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	40	50	41,4
02	40	50	41,8
03	40	50	41,9
04	40	50	41,3
05	40	50	41,4
Promedio, g			41,6

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.11 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 1 constituido por una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc a una concentración de 40 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 41,6 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 65,5%.

Tabla 3.12

Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 4

N° ensayo	Depresor 1, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	50	50	54,3
02	50	50	54,8
03	50	50	54,6
04	50	50	54,7
05	50	50	54,8
Promedio, g			54,6

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.12 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 1 constituido por una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc a una concentración de 50 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 54,6 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 86,0%.

Tabla 3.13

Flotación del cobre empleando el depresor 1, ensayo 5

N° ensayo	Depresor 1, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	60	50	63,5
02	60	50	63,5
03	60	50	63,4
04	60	50	63,5
05	60	50	63,5
Promedio, g			63,5

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.13 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 1 constituido por una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc a una concentración de 60 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 63,5 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 100%.

Tabla 3.14

Concentración del depresor 1 y la recuperación de cobre

Depresor1 mg/L	Cobre recuperado, g	% recuperado
20	15,4	24,3
30	28,3	44,6
40	41,6	65,5
50	54,6	86,6
60	63,5	100,0

Fuente: Datos de las tablas anteriores.

La tabla 3.14 muestra los datos comparativos entre la concentración de la mezcla depresora 1 compuesta por bisulfito de sodio y sulfato de zinc en la que se observa que conforme aumenta la concentración de la mezcla depresora bisulfito de sodio – sulfato de zinc, aumenta la recuperación del cobre.

Tabla 3.15

Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 1

N° ensayo	Depresor 2, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	40	50	21,1
02	40	50	21,7
03	40	50	21,4
04	40	50	21,1
05	40	50	21,6
Promedio, g			21,4

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.15 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 2 constituido por bicromato de sodio a una concentración de 40 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 21,4 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 33,7%.

Tabla 3.16

Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 2

N° ensayo	Depresor 2, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	50	50	30,7
02	50	50	30,2
03	50	50	30,3
04	50	50	30,5
05	50	50	30,4
Promedio, g			30,4

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.16 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 2 constituido por bicromato de sodio a una concentración de 50 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 30,4 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 47,9%.

Tabla 3.17

Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 3

N° ensayo	Depresor 2, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	60	50	41,6
02	60	50	41,5
03	60	50	41,5
04	60	50	41,4
05	60	50	41,7
Promedio, g			41,5

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.17 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 2 constituido por bicromato de sodio a una concentración de 60 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 41,5 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 65,4%.

Tabla 3.18

Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 4

N° ensayo	Depresor 2, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	70	50	52,5
02	70	50	52,7
03	70	50	52,4
04	70	50	52,8
05	70	50	52,7
Promedio, g			52,6

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.18 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 2 constituido por bicromato de sodio a una concentración de 70 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 52,6 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 82,8%.

Tabla 3.19

Flotación del cobre empleando el depresor 2, ensayo 5

N° ensayo	Depresor 2, mg/L	Z-11, mg/L	Cu recuperado, g
01	80	50	63,5
02	80	50	63,5
03	80	50	63,5
04	80	50	63,5
05	80	50	63,5
Promedio, g			63.5

Fuente: Datos experimentales.

Cantidad de cobre en la muestra: 63,5 g

En la tabla 3.19 se muestra los resultados de ensayos de flotación del cobre realizados con el depresor 2 constituido por bicromato de sodio a una concentración de 80 mg/L, con la cual se recupera un promedio de 63,5 g del cobre presente en el mineral, lo que representa una recuperación del 100%.

Tabla 3.20

Concentración del depresor 2 y la recuperación de cobre

Depresor 2 mg/L	Cobre recuperado, g	% recuperado
40	21,4	33,7
50	30,4	47,9
60	41,5	65,4
70	52,6	82,8
80	63,5	100,0

Fuente: Datos de las tablas anteriores.

La tabla 3.20 muestra los datos comparativos entre la concentración de la mezcla depresora 2 compuesta por dicromato de sodio en la que se observa que conforme aumenta la concentración del depresor bicromato de sodio, aumenta la recuperación del cobre.

Tabla 3.21

Condiciones para la flotación del mineral sulfuro de cobre

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 340
Granulometría del mineral, malla #	150
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	10,0
Cal (CaO), g	2
Espumante MIBC, mg/L	40
Colector Z-11, mg/L	50
Depresor 1: Bisulfito de sodio + sulfato de zinc, mg/L	60
Depresor 2: Bicromato de sodio, mg/L	80
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	4

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

La complejidad del proceso de flotación de minerales polimetálicos muchas veces se debe a la presencia de pirita, la cual debe de ser deprimida en primer lugar, después de lo cual se deprimen los otros sulfuros metálicos para finalmente poder recuperar el que contiene el metal que se necesita aislar. En este proceso de flotación se minerales polimetálicos sulfurosos, los reactivos depresores juegan un papel importante ya que son sustancias que tienen como función disminuir la capacidad de flotación de aquellos minerales que no se desean recuperar y por lo tanto no deben adherirse a la superficie de las burbujas, es decir, no deben de estar presentes en la espuma. Estos reactivos impiden que los colectores cumplan su función de captar los minerales hidrófobos para fijarlos en la espuma. Debido a que todos los sulfuros tienen propiedades relacionadas con la flotación muy parecidas, por no decir idénticas, se emplean los reactivos modificadores depresores haciendo de esta manera la flotación mucho más selectiva.

Los sulfuros que conforman el mineral de las muestras tomadas tienen hidrofobicidad natural y esta característica se ve incrementada con el uso de los colectores, entre ellos el Z-11 que es muy fuerte y selectivo para la flotación del cobre y plomo. Además, desde el punto de vista teórico bajo ciertas condiciones favorables del potencial de oxidación, algunos sulfuros muestran cierta característica hidrofóbica natural, de acuerdo con la siguiente escala: calcopirita > galena > pirrotina > pentlandita > covelina > bornita > esfalerita > pirita > arsenopirita. Considerando esto, en ambiente moderadamente oxidante, es posible flotar parcialmente a los sulfuros sin usar colectores y mucho menos espesantes o depresores.

En la parte experimental de esta tesis se han empleado dos reactivos depresores para comparar su efecto en la flotación del cobre que se encuentra en un mineral polimetálico compuesto por sulfuros de varios metales: cobre, plomo, zinc y hierro. Uno de los depresores usados es una mezcla de dos sales inorgánicas: el bisulfito de sodio y el sulfato de zinc (depresor 1), del cual se determinó mediante pruebas experimentales que se requiere de 60 mg/L para lograr un aislamiento total del sulfuro de cobre y poder recuperarlo al 100%, esta mezcla depresora resulta ser más efectiva que el bicromato de sodio que fue el segundo depresor empleado (depresor 2), como se ha podido comprobar se requiere de una mayor concentración (mayor cantidad) para lograr efectos similares al depresor 1 por lo que no se ha considerado como un reactivo eficiente.

Todos los ensayos de flotación se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones de pH, agitación, densidad de la pulpa, tiempo de acondicionamiento y tiempo de flotación, de igual manera se emplearon ciertas concentraciones de reactivos fijas como en el caso del espumante metil

isobutil carbinol (MIBC) el cual se empleó en una concentración de 40 mg/L, el colector que fue el Z-11 en una concentración de 50 mG/L y el modificador de pH que fue el óxido de calcio o cal (CaO).

V. CONCLUSIONES

1. Los estudios experimentales llevados a cabo en la presente tesis han permitido seleccionar como reactivo depresor más eficiente para flotar cobre a partir de minerales polimetálicos con alta carga de piritas a la mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc.
2. El reactivo depresor conformado por una mezcla de bisulfito de sodio y sulfato de zinc resultó ser el reactivo más que funciona mejor para deprimir plomo y zinc presentes en el mineral tratado.
3. La mezcla depresora bisulfito de sodio – sulfato de zinc funciona con su máxima capacidad depresora a una concentración de 60 mg/L y en presencia del colector Z-11 (0 mg/L) y el espumante MIBC (40 mg/L) a un pH 10.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer pruebas experimentales con otros bisulfitos o bicromatos para comprobar la acción depresora de esa clase de compuestos en general y con cantidades de mineral a nivel planta piloto para establecer parámetros de trabajo con las mismas concentraciones dadas en la presente tesis.
2. Se recomienda hacer estudios experimentales con estos mismos depresores pero empleando otros colectores ya sea xantatos o ditiofosfatos y otros espumantes con el fin de verificar si ellos permiten al depresor actuar con eficiencia bajo las mismas condiciones estándar de laboratorio y luego a nivel planta piloto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] P. Sandoval, “Propuesta técnica para el procesamiento de mineral polimetálico proveniente de la región de coquimbo”, Tesis, Chile, Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil en Minas, 2020.
- [2] P. Merino, “Flotación de cobre soluble en planta concentradora, División Salvador-Coquimbo”, Tesis, Chile, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, 2019.
- [3] A. Canchanya y N. Yance, “Selección del método de flotación separación cobre/plomo de acuerdo a la caracterización geometalúrgica del Concentrado Bulk en la Planta Concentradora Ana María Compañía Minera Brexia Goldplata Perú S.A.C”, Tesis, Perú, Universidad del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, 2019.
- [4] V. Gonzales, “Estudio del efecto depresor de reactivos en la flotación de sulfuros”. Tesis, Perú, Universidad Nacional de Ayacucho, 2018.
- [5] P.Sandoval, “Propuesta técnica para el procesamiento de mineral polimetálico proveniente de la región de Coquimbo”, Tesis, Chile, Universidad Andrés Bello, 2018.
- [6] E. Mora et al, “Remoción de plomo de un efluente sintético vía flotación iónica utilizando xantato”, Tesis, España, Universidad de Oviedo, 2018.
- [7] A. Tito, “Optimización del proceso de flotación de concentrados de zinc y plata en el ingenio minero del Sur-seccion “Rosicler” mediante diseño experimentales”, Tesis, Bolivia, Universidad de San Andrés, 2017.
- [8] J. Colqui, “Evaluación del colector pq-6293 en la flotación de minerales sulfurados de plomo – plata en la empresa Buenaventura Unidad Mallay 2017”, Tesis, Perú, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2017.
- [9] C. Benites, “Tratamiento de minerales mediante el blending para mejorar la calidad de concentrado de plomo zinc de la minera Toropunto a nivel experimental-2019”, Tesis, Perú, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2019.
- [10] A. Azañero, “Flotación de minerales oxidados de plomo”, Tesis, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2018.
- [11] C. Correa, “Evaluación del efecto del pH y de los reactivos en la recuperación de cobre en circuito de flotación colectiva Cu-Mo en minera los pelambres”, Tesis, Chile, Universidad de Bio-Bio, Facultad de Ingeniería, 2019.

- [12] R. García, “Estudio electroquímico de los mecanismos de flotación selectiva de sulfosales de cobre en medio alcalino”, Tesis, Bolivia, Universidad Autónoma de San Luís Potosí, 2022.
- [13] J. Torres, “Estudio metalúrgico de recuperación de cobre en planta concentradora Huanzala, Tesis, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa 2018.
- [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 selectiva de un mineral polimetálico de la empresa minera occidental 2 de Cajamarca S.R.L.”, Tesis, Perú, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2019.

VIII. ANEXOS

Hoja de Datos de Seguridad
De acuerdo con la Norma Chilena NCH 2245.Of. 2015
Versión N° 3. Esta versión reemplaza las versiones anteriores
Fecha revisión: 21.01.2016
BISULFITO DE SODIO



SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Nombre del Producto químico : **BISULFITO DE SODIO**
Usos recomendados : fabricación de papel y piel, conservante de alimentos, producción de sustancias químicas y tintes
Restricciones de uso : evitar contaminación de cursos de aguas
Nombre del Proveedor : Quimetal Industrial S.A.
Dirección del proveedor : Los Yacimientos 1301 Maipú, Santiago – Chile
Número de teléfono del Proveedor : 22381 7000
Número de teléfono de emergencia en Chile : 22381 7000
Número de teléfono de información toxicológica en Chile: 22247 3600. CITUC Químico
Información del fabricante : www.quimetal.cl
Dirección electrónica del Proveedor : comercial@quimetal.cl

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación según NCh382 : Bisulfitos en solución acuosa, N.E.P.
Clasificación según NCh2190 : Sustancias corrosivas Clase 8
Clasificación según SGA : Sustancia o mezcla corrosiva para los metales Categoría 1
Irritaciones oculares graves Categoría 2A
Etiqueta SGA
Símbolo : GHS07 Químico nocivo
Palabra de advertencia : Atención
Indicación de peligro : Provoca irritación ocular grave
Señal de seguridad según NCh1411/4: Salud:2, Inflamabilidad:0, Reactividad:0
Clasificación específica : No aplica
Distintivo específico : No aplica
Descripción de peligros : Causa serias irritaciones a los ojos
Descripción de peligros específicos : se descompone formando dióxido de azufre
Otros peligros : Clasificación toxicológica Res. SAG 2196: II



SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Denominación química sistemática : hidrógeno trioxosulfito (IV) de sodio
Nombre común o genérico : Bisulfito de sodio, Sulfito Hidrógeno de sodio
Numero CAS : 7631-90-5

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar al aire fresco. Solicitar atención médica si se presentan molestias
Contacto con la piel: Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón. Solicitar atención médica si se presentan molestias
Contacto con los ojos: retire sin humedecer el exceso de sustancia química de la cara. Lavar con abundante agua por lo menos 30 minutos. Levantar y separar los párpados superiores e inferiores para asegurar la remoción del producto. Buscar atención médica de inmediato
Ingestión: Lavar la boca con agua. Inducir el vómito inmediatamente con la supervisión de personal médico. Sin está inconsciente no dar a beber nada. Buscar atención médica inmediatamente
Efectos agudos previstos: puede ocasionar graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos
Efectos retardados previstos: El contacto puede producir irritaciones y quemaduras en la piel
Síntomas/efectos más importantes: irritación y quemaduras en los ojos con la posibilidad de daño ocular
Protección de quienes brindan los primeros auxilios: Usar ropa de protección, lentes de seguridad y mascarera con filtro para gases
Notas especiales para un médico tratante: El tratamiento médico debe ser sintomático

SECCIÓN 5: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA INCENDIOS

Agentes de extinción: No se considera un riesgo de incendio. Utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego circundante. Se puede usar la mayoría de agentes extintores.
Agentes de extinción inapropiados: No usar agua en chorro.
Productos que se forman en la combustión y degradación térmica: óxidos de azufre.
Peligros específicos asociados: En previsión de desprenderse anhídrido sulfuroso, utilizar máscara respiratoria con filtro químico adecuado.
Métodos específicos de extinción: Utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego circundante.
Precauciones para el personal de emergencia y/o los bomberos: Usar vestimenta protectora adecuada y un equipo respiratorio autónomo de presión positiva, aprobado especialmente para áreas cerradas.

SECCIÓN 6: MEDIDAS QUE SE DEBEN TOMAR EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Precauciones personales: Usar elementos de protección personal.
Equipo de protección: Usar ropa de protección, lentes de seguridad y máscara con filtro para gases.
Procedimientos de emergencia: Aislar y ventilar el área.
Precauciones medioambientales: Evitar escurrimiento hacia alcantarillados y otros cursos de agua, terrenos, vegetación.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento: Absorber con tierra seca, arena seca, vermiculita o material similar y transferir en recipientes herméticos para su eliminación.
Métodos y materiales de limpieza:
Recuperación: Recoger con herramientas y equipos apropiados.
Neutralización: No aplica.
Disposición final: Disponer en envases herméticos, rotulados y cerrados.
Medidas adicionales de prevención de desastres: no permita la eliminación al alcantarillado los derrames por lavado. Peligroso para la vida acuática en grandes concentraciones.

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Precauciones para la manipulación segura: Evite contacto con ojos, piel y ropa. No inhalar.
Medidas operacionales y técnicas: Manipular sólo en recintos bien ventilados.
Otras precauciones: No comer ni beber mientras se manipula el producto, cambiarse de ropa una vez terminada la jornada de trabajo, lavarse con abundante agua y jabón.
Prevención del contacto: Evitar condiciones que pueden llevar a exposiciones de riesgo.

Almacenamiento

Condiciones para el almacenamiento seguro: Almacenar en un lugar seguro, fresco y seco, que posea una buena ventilación en todo momento.
Medidas técnicas: No exponer a fuentes de calor y daños físicos.
Sustancias y mezclas incompatibles: agentes oxidantes (percloratos, peróxidos, permanganatos, cloratos, nitratos, cloro, bromo y flúor), diacetato de plomo, aluminio y cloruro de mercurio.
Material de envase y/o embalaje: Usar envases originales, son recomendados aquellos que permitan mantener aislados del medio ambiente y humedad.

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Concentración máxima permisible: No tiene de acuerdo a la normativa nacional D.S. N° 594.
Elementos de protección personal
Protección respiratoria: Si existen problemas de gases, usar máscara con filtro aprobado.
Protección de manos: Usar guantes de nitrilo, neopreno y caucho natural.
Protección de ojos: Usar lentes de protección para protegerse de salpicaduras, o según el caso máscara de rostro completo.
Protección de la piel y el cuerpo: Usar ropa adecuada de acuerdo al trabajo.
Medidas de ingeniería: Medidas técnicas y observación de métodos adecuados de trabajo tienen prioridad ante el uso de equipos de protección personal. Disponer de ducha y lavador de ojos en zonas de trabajo en lugares de fácil acceso.



SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado Físico	: Líquido
Forma en que se presenta	: Solución de leve color amarillo
Color	: Amarillo pálido
Olor	: aroma picante
pH	: 4.0 – 5.0
Punto de fusión	: no aplicable
Punto de ebullición, punto inicial de ebullición y rango de ebullición:	no está disponible
Punto de inflamación	: no aplicable
Límites de explosividad	: no aplicable
Presión de vapor a 184° C	: no está disponible
Densidad relativa de vapor (aire=1)	: no está disponible
Densidad relativa	: 1.3 a 1.4 g/cc
Solubilidades	: Altamente soluble en agua
Coefficiente de partición n-octanol/agua	: no está disponible
Temperatura de autoignición	: no aplicable
Temperatura de descomposición	: no está disponible

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable si es almacenado y manipulado según las recomendaciones dadas
Reacciones peligrosas: información no disponible
Condiciones que se deben evitar: Polvo, humedad y calor excesivo
Materiales incompatibles: soluciones acuosas ataca a muchos metales como aluminio, acero dulce o galvanizado
Productos de descomposición peligrosos: en caso de incendio óxidos de azufre

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda (LD50 y LC50): LD50 oral ratas > 2000 mg/kg, LC50 ratas > 2520 mg/kg – inhalación como dióxido de azufre
Iritación/corrosión cutánea: el contacto puede causar alergias en la piel
Lesiones oculares graves/irritación ocular: el contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras
Sensibilización respiratoria o cutánea: el contacto prolongado puede producir dermatitis y enrojecimiento de la piel
Mutagenicidad de células reproductoras/*in vitro*: No hay información disponible
Carcinogenicidad: Este producto no está registrado por NTP, IARC o regulado como cancerígeno por OSHA
Toxicidad reproductiva: No hay información disponible
Toxicidad específica en órganos particulares – exposición única: puede irritar el pulmón
Toxicidad específica en órganos particulares – exposiciones repetidas: podría causar bronquitis con tos, flema o falta de aire
Peligro de inhalación: puede causar crisis asmáticas con falta de aire, tos u opresión en el pecho

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad (EC, IC y LC): No hay información disponible
Persistencia y degradabilidad: Los métodos para la determinación de la degradabilidad biológica no son aplicables para las sustancias inorgánicas
Potencial bioacumulativo: No hay información disponible
Movilidad en el suelo: Absorción / desorción: el producto se infiltra fácilmente en el suelo. Ámbito meta del producto: agua

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado Físico	: Líquido
Forma en que se presenta	: Solución de leve color amarillo
Color	: Amarillo pálido
Olor	: aroma picante
pH	: 4.0 – 5.0
Punto de fusión	: no aplicable
Punto de ebullición, punto inicial de ebullición y rango de ebullición:	no está disponible
Punto de inflamación	: no aplicable
Límites de explosividad	: no aplicable
Presión de vapor a 184° C	: no está disponible
Densidad relativa de vapor (aire=1)	: no está disponible
Densidad relativa	: 1.3 a 1.4 g/cc
Solubilidades	: Altamente soluble en agua
Coefficiente de partición n-octanol/agua	: no está disponible
Temperatura de autoignición	: no aplicable
Temperatura de descomposición	: no está disponible

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable si es almacenado y manipulado según las recomendaciones dadas
Reacciones peligrosas: información no disponible
Condiciones que se deben evitar: Polvo, humedad y calor excesivo
Materiales incompatibles: soluciones acuosas ataca a muchos metales como aluminio, acero dulce o galvanizado
Productos de descomposición peligrosos: en caso de incendio óxidos de azufre

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda (LD50 y LC50): LD₅₀ oral ratas > 2000 mg/kg, LC₅₀ ratas > 2520 mg/kg – inhalación como dióxido de azufre
Iritación/corrosión cutánea: el contacto puede causar alergias en la piel
Lesiones oculares graves/irritación ocular: el contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras
Sensibilización respiratoria o cutánea: el contacto prolongado puede producir dermatitis y enrojecimiento de la piel
Mutagenicidad de células reproductoras/in vitro: No hay información disponible
Carcinogenicidad: Este producto no está registrado por NTP, IARC o regulado como cancerígeno por OSHA
Toxicidad reproductiva: No hay información disponible
Toxicidad específica en órganos particulares – exposición única: puede irritar el pulmón
Toxicidad específica en órganos particulares – exposiciones repetidas: podría causar bronquitis con tos, flema o falta de aire
Peligro de inhalación: puede causar crisis asmáticas con falta de aire, tos u opresión en el pecho

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad (EC, IC y LC): No hay información disponible
Persistencia y degradabilidad: Los métodos para la determinación de la degradabilidad biológica no son aplicables para las sustancias inorgánicas
Potencial bioacumulativo: No hay información disponible
Movilidad en el suelo: Absorción / desorción: el producto se infiltra fácilmente en el suelo. Ámbito meta del producto: agua

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Residuos: Disponer de la sustancia, residuos y desechos en lugares aprobados por la autoridad para la eliminación de residuos
 Envases y embalaje contaminados: Disponer de los envases de acuerdo con la legislación local existente. No reutilizar envases vacíos, pueden contener residuos
 Material contaminado: Disponer de los materiales contaminados de acuerdo con la legislación local existente

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE



	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Regulaciones	UN – ADR / RID	IMDG - Code	CAO – IATA / DGR
Numero NU	2693	2693	2693
Designación oficial de transporte	Bisulfitos en solución acuosa, N.E.P.	Bisulfitos en solución acuosa, N.E.P.	Bisulfitos en solución acuosa, N.E.P.
Clasificación de peligro primario NU	Clase 8	Clase 8	Clase 8
Clasificación de peligro secundario NU	No aplica	No aplica	No aplica
Grupo de embalaje/envase	III	III	III
Peligros ambientales	No hay datos relevantes	No hay datos relevantes	No hay datos relevantes
Precauciones especiales	La unidad de transporte debe ser rotulado y marcado de acuerdo con los requisitos establecidos	La unidad de transporte debe ser rotulado y marcado de acuerdo con los requisitos establecidos	La unidad de transporte debe ser rotulado y marcado de acuerdo con los requisitos establecidos

Transporte a granel de acuerdo con MARPOL 73/78, Anexo II, y con IBC Code: No relevante

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Regulaciones nacionales: NCh 2190 Of.93 Transporte de sustancia peligrosas-Distintivos para identificación de riesgos, NCh 382 Of.89 Sustancias peligrosas - Terminología y clasificación general, DS 298 y 198 Transporte de cargas peligrosas, DS N° 594 Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de Trabajo. NCh 2245 Of.2015 Hojas de datos de seguridad para productos químicos, Resolución 2196 SAG año 2000
 Regulaciones internacionales: Reglamento (UE) N o 453/2010: Requisitos para la elaboración de las fichas de datos de seguridad. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, (SGA). Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG), Regulaciones de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) y de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea, Reglamento sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID), Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR)

El receptor debería verificar la posible existencia de regulaciones locales aplicables al producto químico

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

Control de cambios: actualización general a versión 2015 de NCh2245

La información que se suministra en este documento se ha recopilado en base a las mejores fuentes existentes y de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario determinar las condiciones de uso seguro y la validez de esta información para su aplicación en cada caso



ZINC SULFATO 0,1 M

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y DE LA EMPRESA

Identificación del producto químico	Zinc Sulfato 0,1 M
Código	304603
Usos recomendados	Aplicaciones técnicas (análisis químico), industria Química en general, Docencia.
Nombre del proveedor	WINKLER LTDA.
Dirección del proveedor	El Oullay 486, Parque Industrial Valle Grande Lampa, Santiago / Chile.
Número de teléfono del proveedor	224826500
Número de teléfono de emergencia en Chile	224826500
Número de teléfono de información toxicológica en Chile (CITUC)	226353800
Dirección electrónica del proveedor	www.winklerltda.com

SECCION 2: IDENTIFICACION DE LOS PELIGRO

Clasificación según NCH382 / NCH2190	Clasificación según GHS												
NO CLASIFICADO													
NO CLASIFICADO													
Señal de seguridad según NCh14114	Clasificación específica												
 <table border="1"> <tr> <th colspan="2">CLASIFICACION DE RESGOS</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>= No especial</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>= Ligero</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>= Moderado</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>= Severo</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>= Extremo</td> </tr> </table> <small>MORMA NFPA 1-4-6</small>	CLASIFICACION DE RESGOS		0	= No especial	1	= Ligero	2	= Moderado	3	= Severo	4	= Extremo	Código Almacenaje Winkler Verde: Normal
CLASIFICACION DE RESGOS													
0	= No especial												
1	= Ligero												
2	= Moderado												
3	= Severo												
4	= Extremo												
Descripción de peligros y sus efectos													
Inhalación	No hay reportes												
Contacto con la piel	Posible irritación leve, picazón												
Contacto con los ojos	Posible irritación, leve												
Ingestión	Grandes cantidades producen molestias, náuseas y vómitos												

SECCION 3: COMPOSICION / INFORMACION DE LOS COMPONENTES

Formula Química	ZnSO4 * 7H2O
Peso molecular	287,54 g/mol
Concentración	0,1 M (2,9%)
Sinónimos	Sulfato de Zinc 7-Hidrato en solución, Sulfato de Zinc Heptahidratado en solución
Numero CAS del producto	7446-20-0
Numero UN	No regulado

SECCION 4: PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto accidental con el producto proceder de acuerdo con:	
Inhalación	Trasladar a la persona donde exista aire fresco. En caso de paro respiratorio, reanimación cardiopulmonar. Si respira dificultosamente, suministrar Oxígeno.
Contacto con la piel	Lavar con abundante Agua, a lo menos de 10 a 15 minutos. Utilizar de preferencia ducha de emergencia. Sacarse la ropa contaminada.
Contacto con los ojos	Lavarse con abundante Agua corriente en un lavadero de ojos, como mínimo entre 10 y 15 minutos, separando los párpados. Consultar al oftalmólogo en caso de irritación.
Ingestión	Lavar la boca con bastante Agua. Dar a beber Agua. En caso de malestar consultar con un médico
Principales síntomas y efectos agudos y retardados	Irritación, diarrea, vómitos, efectos sobre el sistema cardiovascular, colapso.
Protección de quienes brindan los primeros auxilios	Usar equipo de protección personal adecuado
Notas especiales para un médico tratante	No hay información disponible.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD
(NCH 2245. Of 2015)

ZINC SULFATO 0,1 M
304660

SECCION 5: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA INCENDIO

Agentes de extinción	Los apropiados al entorno. Agua, Espuma, Polvo seco, Dióxido de carbono (CO ₂)
Agentes de extinción inapropiados	No existen medio de extinción inapropiados
Productos que se forman en la combustión y degradación térmica	Oxido de Azufre.
Peligros específicos asociados	No combustible. En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.
Métodos específicos de extinción	En general, uso de extintores de Polvo Químico Seco, Espuma Química, CO ₂ , de acuerdo a características del fuego circundante. Aplicar Agua en forma de neblina para enfriar contenedores.
Precauciones para el personal de emergencia y/o los bomberos	En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCION 6: MEDIDAS QUE SE DEBEN TOMAR EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Precauciones personales	Evitar la formación de vapores/aerosoles. No inhalar la sustancia. Asegurar ventilación apropiada
Equipo de protección	Usar ropa adecuada, equipo de protección personal.
Procedimientos de emergencia	Evacue el área de peligro, respetar los procedimientos de emergencia, consultar con expertos.
Precauciones medioambientales	No son necesarias medidas especiales
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	Cubra las alcantarillas. Recoja con material absorbente, evitando la formación de vapores / aerosoles, disponer del residuo.
Métodos y materiales de limpieza	
Recuperación	Recoger con material absorbente adecuado
Neutralización	Aplicar neutralizante
Disposición final	No hay información disponible.
Medidas adicionales de prevención de desastres	No hay información disponible.

SECCION 7: MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	
Precauciones para la manipulación segura	Observar las indicaciones de la etiqueta.
Medidas operacionales y técnicas	Proteger contra el daño físico.
Otras precauciones	Sustituir ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo
Prevención del contacto	Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.
Almacenamiento	
Condiciones para el almacenamiento seguro	Zona general de almacenaje de reactivos y soluciones químicas. Sustancias químicas que no ofrecen un riesgo importante para ser clasificadas Almacenamiento en bodegas, cabinas o estanques, diseñados con resistencia para contener sustancias químicas. Lugar fresco, seco y con buena ventilación Proteger de la luz solar. Contar con medios de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
Medidas técnicas	Mantener alejado de condiciones y sustancias incompatibles. Proteger contra el daño físico. Tener los envases cerrados y debidamente etiquetados.
Sustancias y mezclas incompatibles	Almacenar alejado de condiciones y productos incompatibles.
Material de envase y/o embalaje	Se recomienda contener en recipiente de vidrio o plástico apropiado con cierre hermético.

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Concentración máxima permisible	LPP: 8 mg/m ³ (Sulfato de Zinc 7-Hidrato, como polvos no clasificados, DS N° 594, Ministerio de Salud)
Elementos de protección personal	En general, trabajar en un lugar con buena ventilación. Utilizar campanas de laboratorio en caso de disponibilidad y de ser necesario. Aplicar procedimientos de trabajo seguro. Capacitar respecto a los riesgos químicos y su prevención. Contar con ficha de seguridad química del producto y conocer su contenido. Mantener los envases con sus respectivas etiquetas. Respetar prohibiciones de no fumar, comer y beber bebidas en el lugar de trabajo. Utilizar elementos de protección personal asignados.
Protección respiratoria	Aplicación de protección respiratoria en presencia de vapores/aerosoles y en caso sobrepasarse los límites permisibles correspondientes. Debe cubrir toda la cara y ser específica para vapores inorgánicos. En caso de presencia de altas concentraciones ambientales, existencia de cantidades desconocidas o situaciones de emergencias, se deben utilizar equipos de respiración autónomos o de suministro de aire, ambos de presión positiva
Protección de manos	Utilización de guantes de Nitrilo, Goma Natural, PVC y/o Neopreno
Protección de ojos	Se deben usar lentes de seguridad con protección lateral, adecuados contra proyecciones de la sustancia química.
Protección de la piel y el cuerpo	Ropa adecuada. Utilizar calzado cerrado, no absorbente, con resistencia química y de planta baja.
Medidas de ingeniería	Esta información no está disponible



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD
(NCH 2245. Of 2015)

ZINC SULFATO 0,1 M
304600

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	Líquido
Apariencia	Incoloro
Olor	Inodoro
pH	4,4-6,0 (sol acuosa 5%, 25°C)
Temperatura de fusión	Información no disponible
Punto/intervalo de ebullición	Información no disponible
Temperatura de descomposición	Información no disponible
Temperatura Inflamación	Información no disponible
Temperatura de ignición	Información no disponible
Densidad	1,02 g/cm ³ a 20 °C
Presión de vapor	Información no disponible
Densidad aparente	Información no disponible
Solubilidad	Miscible en agua

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Producto químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiente)
Condiciones que se deben evitar	Información no disponible
Incompatibilidad (materiales que deben evitarse)	Posibles reacciones violentas con: Agentes Oxidantes fuertes. Materiales Incompatibles: Metales
Productos peligrosos de la descomposición y combustión	Oxido de Azufre
Polymerización peligrosa	No ocurre

SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda (LD50 y LC50)	Información no disponible
Irritación/corrosión cutánea	Ligera irritación
Lesiones oculares graves/irritación ocular	Información no disponible
Mutagenicidad de células reproductoras/in vitro	Información no disponible
Carcinogenicidad	Información no disponible
Toxicidad reproductiva	Información no disponible
Toxicidad específica en órganos particulares exposición única	Información no disponible
Toxicidad específica en órganos particulares exposiciones repetidas	Información no disponible
Peligro de inhalación	Información no disponible
Toxicocinética	Información no disponible
Metabolismo	Información no disponible
Distribución	Información no disponible
Patogenicidad e infecciosidad aguda (oral, dérmica e inhalatoria)	Información no disponible
Disrupción endocrina	Información no disponible
Neurotoxicidad	Información no disponible
Inmunotoxicidad	Información no disponible
Otros datos	Efectos sistémicos: Diarrea, Vómitos, Tras ingestión de grandes cantidades: efectos sobre el sistema cardiovascular, colapso.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Ecotoxicidad (EC, IC y LC)	Información no disponible
Persistencia y degradabilidad	Información no disponible
Potencial bioacumulativo	Información no disponible
Movilidad en suelo	Información no disponible

SECCION 13: INFORMACIÓN SOBRE DISPOSICION FINAL

Residuos	En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales o por el desagüe, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente. Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.
Envase y embalaje contaminados	Maneje los recipientes como el propio producto
Material contaminado	Maneje el material contaminado como el propio producto



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD
(NCH 2245. Of 2015)

ZINC SULFATO 0,1 M
304660

SECCION 14: INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Número NU	No regulado	No regulado	No regulado
Designación oficial de transporte	No regulado	No regulado	No regulado
Clasificación de peligro primario NU	No regulado	No regulado	No regulado
Clasificación de peligro secundario NU	No regulado	No regulado	No regulado
Grupo de embalaje/envase	No regulado	No regulado	No regulado
Peligros ambientales	No regulado	No regulado	No regulado
Precauciones especiales	Producto no peligroso para el transporte	Producto no peligroso para el transporte	Producto no peligroso para el transporte
Transporte a granel de acuerdo con MARPOL 73/78, Anexo II, y con IBC Code	No relevante		

SECCION 15: INFORMACION REGLAMENTARIA

Regulaciones nacionales	NCH2245 - Hoja de datos de seguridad para productos químicos. NCH382 - Transporte terrestre de sustancias peligrosas - Clasificación general. NCH2190 - Transporte de sustancias peligrosas - Distintivos para la identificación de riesgos. NCH1411/4 - Señales de seguridad para la identificación de riesgos. D.S. 594 - Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales básicas en los lugares de trabajo. D.S. 298 - Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. D.S. 148 - Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos. D.S. 43 - Almacenamiento de sustancias peligrosas.
El receptor debería verificar la posible existencia de regulaciones locales aplicables al producto químico	

SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, Winkler Ltda. No asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.	
Control de cambios	Esta versión de HDS corresponde a la versión 03 de 09/2016. Se han incorporado cambios según NCH2245 Of 2015 en las secciones 1 a la 16 con respecto a versión anterior (NCH2245 Of 2003).
Abreviaturas y acrónimos	CAS: Chemical Abstract Service Registration Number (Número de registro no Chemical Abstract Service) ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) TWA: Time Weighted Average (Promedio ponderado en el tiempo) STEL: Short Term Exposure Limit (Límite de exposición Corto Plazo) LD50: Lethal Dose, 50% (Dosis letal, 50%) LC50: Lethal Concentration, 50% (Concentración letal, 50%) EC50: Effect Concentration, 50% (Concentración Efecto, 50%) NOEL: No Observed Effect Level (Nivel Sin Efecto Observado) COD: Chemical Oxygen Demand (Demanda Química de Oxígeno) BOD: Biochemical Oxygen Demand (Demanda bioquímica de oxígeno) TOC: Total Organic Carbon (Carbono orgánico total) IATA: International Air Transport Association (Asociación Internacional de Transporte Aéreo) IMDG: International Maritime Dangerous Goods Code (Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas)
Referencias	Hojas de datos de seguridad de las materias.