

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**Evaluación del reactivo Sulhidrato de Sodio (NaHS) en la flotación de
Mo de la minera Chinalco - Morococha, 2019**

Para optar el título profesional de

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Ruben Neptali SALCEDO BLAS

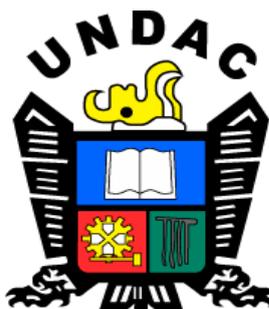
Asesor: M. Sc. Ramiro SIUCE BONIFACIO

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

Evaluación del reactivo Sulhidrato de Sodio (NaHS) en la flotación de

Mo de la minera Chinalco - Morococha, 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

PRESIDENTE

Mg. Cayo PALACIOS ESPIRITU

MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios por permitirme estar con vida y a mis padres Teófilo SALCEDO LOYA, Beatriz BLAS TRINIDAD, por su apoyo incondicional durante mi etapa universitaria.

RECONOCIMIENTO

A mis hermanos que desde siempre me han enseñado que con perseverancia y paciencia todos los sueños se pueden hacer realidad, gracias por todo su apoyo incondicional.

Al Ing. Miguel García, Metalurgista J. - Planta Concentradora de la Empresa Minera Chinalco Perú, por sus consejos y apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación, un gran amigo y un ejemplo a seguir.

Al Ing. Raúl Capcha, Jefe de Laboratorio de la Empresa Minera Chinalco Perú, Por su apoyo, comprensión y consejos como un gran amigo.

Finalmente un agradecimiento especial a todos los Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica por sus enseñanzas, consejos, comprensión y recomendaciones para mi desarrollo profesional dentro del ámbito minero.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Empresa Minera Chinalco Perú., en las instalaciones de la planta concentradora, donde se tuvo el apoyo de todos los colegas que laboran en la planta y del laboratorio metalúrgico.

El objetivo del estudio es determinar el efecto del reactivo NaHS en la recuperación de Mo de la Minera Chinalco Perú. El tipo de diseño de investigación es experimental puro, y el nivel de investigación es aplicativo y correlacional.

La interpretación y desarrollo de dichos datos se realizó aplicando el programa estadístico Statgraphics Plus, que nos permitió determinar la variable más influyente mediante el análisis de los efectos de los factores y el análisis variancia, la estimación del coeficiente de regresión del modelo.

Los resultados de la evaluación del reactivo NaHS en el circuito de flotación de Mo son: con dosificación de 6 g/T del NaHS se obtuvo un concentrado de 0.15 con una recuperación de 56%. Aplicando este reactivo, eliminando el Anamol – D y NaCN.

Palabra clave: Evaluación de reactivo; sustitución.

ABSTRACT

The present work was carried out in the Mining Company Chinalco Peru., In the facilities of the concentrator plant, where all the colleagues who work in the plant and the metallurgical laboratory were supported.

The objective of the study is to determine the effect of the NaHS reagent on the recovery of Mo from the Minera Chinalco Peru. The type of experimental research design is pure, and the level of applicative research is correlational.

The interpretation and development of these data was carried out by applying the Statgraphics Plus statistical program, which allowed us to determine the most influential variable through the analysis of the effects of the factors and the variance analysis, the estimation of the regression coefficient of the model.

The results of the NaHS reagent evaluation in the Mo flotation circuit are: with a dosage of 6 g / T of the NaHS a concentrate of 0.15 was obtained with a recovery of 56%. Applying this reagent, removing Anamol - D and NaCN.

Keyword: Reagent evaluation; substitution

INTRODUCCIÓN

El estudio es evaluar el efecto del reactivo Sulfhidrato de sodio en la flotación de Mo en remplazo del Anamol – D y NaCN, sin afectar la calidad del concentrado y la recuperación. La Empresa Minera Chinalco Perú en acuerdo con la empresa proveedora de este reactivo decidió realizar las pruebas metalúrgicas con el mineral de tajo.

El estudio es importante porque nos permite reducir los costos de reactivos como Anamol – D y NaCN al remplazarlo por el sulfhidrato de sodio. Este reactivo permite mantener la ley de concentrado y recuperación sobre rangos de trabajo establecidos. Además nos permite mantener el efluente de la relavera por debajo de los límites máximos permisibles.

En la realización del trabajo nos planteamos el siguiente problema:

¿Cuál es el efecto del reactivo sulfhidrato de sodio (NaSH) en la recuperación de Mo de la Minera Chinalco Perú?

Respondiendo a esta interrogante para la ejecución del trabajo de investigación aplicamos el método científico que nos permite resolver problemas a partir de la formulación del problema, objetivos y para la demostración de la hipótesis, utilizamos técnicas de recolección de datos, análisis y sacar conclusiones.

La tesis consta de cuatro capítulos en los que se estudiaron distintos tópicos según la importancia del estudio que a continuación se detalla.

El capítulo I, problema de investigación, se presenta la identificación y determinación del problema, delimitación de la investigación, formulación del problema y objetivos, justificación y limitaciones de la investigación, al aplicar el Sulfhidrato de Sodio al

circuito de flotación de Mo.

El Capítulo II, marco teórico, se presenta el sustento teórico y científico relacionado con la evaluación del reactivo Sulfhidrato de sodio en la flotación de Mo en función de las variables de estudio.

El Capítulo III, metodología y técnicas de investigación, en esta sección se sustenta la metodología aplicada en el desarrollo de la tesis desde la toma de la muestra y recopilación de datos informativos hasta la prueba de hipótesis.

El Capítulo IV, resultados y discusión, se presentan todos los datos informativos recopilados y generados de la investigación llegándose posteriormente a una conclusión final.

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del Problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación.....	4
1.6. Limitaciones de la investigación	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de estudio	6
2.2 Bases teóricas - científicas.....	9
2.3 Definición de términos básicos	49
2.4 Formulación de hipótesis.....	50

2.4.1 Hipótesis general	50
2.4.2 Hipótesis específicas.....	50
2.5 Identificación variables	50
2.6 Definición Operacional de variables e indicadores	51

CAPITULO III
METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.Tipo de investigación	52
3.2.Método de investigación.....	53
3.3.Diseño de investigación.....	53
3.4.Población y Muestra	54
3.5.Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
3.6.Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	56
3.7.Tratamiento estadístico.....	56
3.8.Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	56
3.9.Orientación Ética	56

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Descripción del trabajo de campo	57
4.2 Presentacion,análisis e interpretación de resultados.....	62
4.3 Prueba de hipótesis	68
4.4 Discusión de resultados	69

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.

El problema que tiene la Minera Chinalco Perú, es el consumo de Anamol – D y NaCN en el circuito de Mo, que requiere altas dosificaciones, las cuales presentan altos consumos, altos precios y lo más importante se encuentran obsoletos esto a su vez generan costos operacionales que son perjudiciales para la empresa. Además, las recuperaciones del concentrado de molibdeno utilizando estos reactivos logran alcanzar hasta 52 % de recuperación con una ley de concentrado de 1.14 %, siendo esto todavía baja. Para esto se requiere realizar pruebas de flotación utilizando otros tipos de reactivos como el sulfhidrato de sodio que se propone en la presente tesis y mejorar la calidad de concentrado y la recuperación por ende traería beneficios económicos.

La obtención de un concentrado colectivo (Cu-Mo) se desarrolla mediante la dosificación de reactivos a fin de deprimir la ganga el método más empleado en la actualidad es la flotación.

Las dificultades del proceso de flotación se presentan principalmente en minerales en donde se presentan diversas características como son:

- Costo de tratamiento de minerales en flotación de Molibdeno.
- Tratamiento de minerales con el uso de este reactivo.

El presente proyecto dará a conocer la eliminación de reactivos depresores como el Anamol – D en conjunto con el NaCN, la aplicación final es un importante logro de mantener recuperaciones y grados de concentrado de Molibdeno con tan solo la aplicación de un colector llamado sulfhidrato de sodio (NaHS), que esto a su vez deprimirá fuertemente al Cu (%) y al Fe (%) ahorrando costos por menor gasto en reactivos de flotación.

1.2. Delimitación de la investigación.

La investigación se delimitó a investigar la evaluación de un reactivo llamado Sulfhidrato de sodio (NaHS) o también llamado Hidrosulfuro de sodio.

El presente trabajo de investigación fue delimitado por la empresa minera Chínalo Perú la cual opera en el proyecto Toromocho, tratando grandes cantidades de concentrado de cobre y molibdeno es por eso que se hace este estudio relacionado al molibdeno y por ende en sus tratamientos y como es de que este reactivo llamado Sulfhidrato de sodio tendrá un efecto positivo para poder emplearlo durante el proceso de flotación y esto a su vez podrá dar resultados óptimos.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿Cómo la evaluación del reactivo sulfhidrato de sodio (NaHS) influye en la flotación de Mo de la Minera Chinalco- Morococha, 2019?

1.3.2. Problemas específicos.

- ¿De qué manera el análisis granulométrico podrá influir en el concentrado colectivo Cu-Mo en la flotación de molibdeno de la Minera Chinalco – Morococha, 2019?
- ¿Cómo el anamol-D y el NaCN influye en la flotación del Molibdeno de la Minera Chinalco – Morococha, 2019?
- ¿Cómo las pruebas de flotación con el reactivo sulfhidrato de sodio se mejora la calidad del concentrado de molibdeno en remplazo del anamol-D y NaCN?

1.4. Formulación de objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto del reactivo Sulfhidrato de sodio (NaHS) en la flotación de Mo de la Minera Chinalco - Morococha, 2019.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar el análisis granulométrico del concentrado colectivo Cu-Mo para identificar el tamaño de partícula de la flotación de la Minera Chinalco – Morococha, 2019.

- Analizar la influencia del Anamol – D y el NaCN en la flotación del Molibdeno de la Minera Chinalco – Morococha, 2019.
- Realizar pruebas de flotación con el reactivo Sulfhidrato de sodio en remplazo del Anamol – D y NaCN, para mejorar la calidad del concentrado de molibdeno de la Minera Chinalco – Morococha, 2019.

1.5. Justificación de la investigación.

Con la aplicación del reactivo Sulfhidrato de Sodio en la flotación de minerales de Mo, se logra eliminar el uso del Anamol – D y NaCN totalmente afectando positivamente la recuperación del Mo.

Si bien es cierto que el Anamol – D es el producto de la reacción entre el sulfuro de sodio (Na_2S) y el trióxido de arsénico (As_2O_3) en una proporción de 4:1, este compuesto inorgánico, es altamente toxico al igual que el NaCN resultan muy peligroso es por ello que se tiene que erradicar ya que pueden provocar daños irreversibles.

Con el uso del reactivo Sulfhidrato de sodio vamos eliminar el uso de Anamol – D y NaCN que va permitir ahorrar el costo de estos reactivos y a la vez va generar ingresos para la empresa.

La aplicación del Sulfhidrato de sodio en el circuito de Mo, es importante debido a que nos permite ahorrar costos por insumo de reactivo al eliminar el Anamol - D y el NaCN, además en cuanto a la calidad de concentrado hay una mejora como también en la recuperación.

Al utilizar el Sulfhidrato de sodio nos permite también reducir la contaminación ambiental que se genera dentro y alrededores de las instalaciones de la planta, ya que no deben exceder de los LMP.

1.6. Limitaciones de la investigación.

En cuanto a recolección de datos (pruebas metalúrgicas con el reactivo anterior) con respecto al tema no se contaba con demasiada información debido a que por política de empresa no se tiene acceso ya que son estrictamente confidenciales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

Carbajal y Velasco (2015) en su trabajo Sustitución Parcial de hidrosulfuro de sodio como depresor de cobre en el proceso de flotación de Molibdeno, se plantea como objetivo la sustitución parcial del hidrosulfuro de sodio como depresor del cobre en el proceso de flotación de Molibdeno con un reactivo alternativo llamado AERO 7260 el cual permitió mantener las recuperaciones dentro de los parámetros establecidos.

De igual manera se determinaron cantidades óptimas de reactivos a dosificar en el proceso de flotación diferencial empleando diseños experimentales para finalmente optimizar el proceso mediante la formulación de un modelo matemático de predicción de la recuperación de Molibdeno en función de la

dosificación de reactivos, llegando a la siguiente conclusión:

- Se logró la sustitución parcialmente el hidrosulfuro de sodio (NaSH) en el proceso de flotación diferencial de molibdeno a nivel laboratorio empleando AERO 7260 a una concentración de 50% teniendo un porcentaje de recuperación de 97,8% y los porcentajes de recuperación de molibdeno usando hidrosulfuro de sodio al 100% fue 98.2%, por lo cual se muestra que no existió mayor alteración en los porcentajes de recuperación del rango establecido.

Según los autores chinos (Lu Yi-ping, Zhong Hong, Liu Guang – Yi y otros) en el año 2012, publicaron en una revista llamada ScienceDirect un artículo cuyo título fue “Nuevo enfoque para la recuperación preferencial en la flotación de molibdenita de un mineral de cobre – molibdeno tipo pórfido”

El objetivo de dicho trabajo fue alcanzar altas recuperaciones de molibdenita a partir de tres enfoques diferentes, una de flotación Bulk, seguida de un proceso de separación y posteriormente una separación diferencial de un concentrado Cu – Mo de minerales tipo pórfido.

Así mismo las pruebas de flotación indicaron que, en comparación al enfoque de flotación Bulk enfoque preferencial de flotación de molibdeno logro obtener un concentrado que contenía 0.655% de Molibdeno con una recuperación de 88.49% aumentando la recuperación de Mo y el grado de concentrado en 34% y 0.4% más en el circuito de flotación de molibdeno a escala industrial, respectivamente

Llegando a la siguiente Conclusión:

- Proponen mediante la utilización de un nuevo colector Tiol MC – 103 se podría obtener un concentrado con valores de recuperación y grados de concentrado de Molibdeno altos. Indicando que obtuvieron una mayor recuperación de Mo en 88.49% y 0.655% de Mo pero sin embargo no habla de la influencia significativa que presenta el Na₂S y las consecuencias si se alteran sus dosificaciones en los valores de recuperación de Molibdeno y Cobre.

Para el presente trabajo las pruebas de investigación para evaluar la cantidad de colector Sulfhidrato de sodio se hizo una plantilla de cuatro pruebas en esquema de diseño factorial, con dos pruebas al centro, Según el resultado reemplazando como colector el Anamol - D y sin necesidad de ajustar pH con H₂SO₄.

Sergio Andree, Silvia (2016) en su tesis evaluación de procesos de flotación cobre molibdeno, de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, se plantea como objetivo Evaluar el proceso de flotación de cobre molibdeno para determinar las variables más importantes que influyen su recuperación en la planta concentradora de Constancia. Realizado las pruebas experimentales aplicando el diseño factorial llega a las siguientes conclusiones:

1. Las variables más importantes que se determinaron en el proceso de evaluación de la flotación de cobre en la Planta Concentradora de Constancia fueron el D-101, R-100 y el pH, llegan a recuperaciones por encima del 86%.
2. En la recuperación de cobre tiene alta significancia el reactivo R-100 que según el diagrama de Pareto tiene una influencia en la recuperación con una dosificación de 20 a 25 gr/Tn. Para el D-101 la dosificación está en 10 y 12 gr/t y el pH en 10.

3. Las interacciones de las tres variables, así como pH y R-100, D-101 y R-100 tiene una baja significancia, pero participan en menor proporción en la mejora de la recuperación del cobre.
4. En la recuperación del molibdeno las variables más influyentes son el pH, NaSH y el Diesel, llegando a recuperaciones por encima del 95%.
5. Los reactivos que tiene alta significancia en la recuperación del molibdeno son el Diesel y el NaSH, así como lo muestra el diagrama de Pareto con una dosificación de 6 a 7gr/t y de 8 a 9gr/t respectivamente, con un pH de 9 a 10.
6. La interacción de las tres variables, así como pH y Diesel, pH y NaSH, tienen una baja significancia, pero participan en menor proporción en la recuperación del molibdeno.
7. Realizado el diseño experimental y la evaluación estadística concluimos que para cada una de las recuperaciones de cobre y molibdeno, se mejora siguiendo en forma detallada cada una de las variables evaluadas y las dosificaciones presentadas líneas arriba.

2.2. Bases teóricas – científicas.

2.2.1. Molibdeno

El **molibdeno** es un elemento químico de número atómico **42** que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos y se simboliza como Mo.

El molibdeno es un metal esencial desde el punto de vista biológico y se utiliza sobre todo en aceros aleados.

Es un metal plateado, tiene el sexto punto de fusión más alto de cualquier elemento. El molibdeno no se produce como el metal libre en la naturaleza, sino en varios estados de oxidación en los minerales. Industrialmente, los compuestos de molibdeno se emplean en aplicaciones de todas las industrias utilizando la alta presión y alta temperatura, como pigmentos y catalizadores.

La mayoría y muchos de los compuestos de molibdeno tienen baja solubilidad en agua, pero el ión de molibdato MoO_4^{2-} es soluble y se forma cuando los minerales que contienen molibdeno están en contacto con el oxígeno y el agua. Algunas teorías recientes sugieren que la liberación de oxígeno era importante en la eliminación de molibdeno de un mineral en una forma soluble en los océanos primitivos, donde se utiliza como catalizador de los organismos unicelulares. Esta secuencia puede haber sido importante en la historia de la vida, porque las enzimas que contienen molibdeno se convirtieron en los catalizadores más importantes utilizados por algunas bacterias para descomponer en átomos las moléculas de nitrógeno. Esto, a su vez permitió al nitrógeno impulsar biológicamente la fertilización de los océanos, y por lo tanto el desarrollo de organismos más complejos. -

(<https://es.wikipedia.org/wiki/Molibdeno>)

Propiedades del Molibdeno.

El molibdeno es un elemento químico con número atómico 42, peso atómico 95.96, pertenece al sexto grupo del sistema periódico de

elementos, su S.G es 10.2 g/cm³ y su punto de fusión es 2620°C [2].

En estado puro el molibdeno metálico es de color blanco platinado, es tenaz y dúctil. Tiene buenas propiedades de conductividad térmica, aproximadamente la mitad de la del cobre y no se oxida fácilmente con aire o agua. Entre las propiedades del molibdeno, se destaca su alto punto de fusión, sus extraordinarias propiedades como elemento de aleación y su capacidad para cambiar fácilmente su valencia de 2 a 6.

Sus cualidades como elemento de aleación provienen de las altas propiedades mecánicas y anticorrosivas que confiere a las aleaciones, a temperaturas elevadas. Las pequeñas cantidades de molibdeno, eliminan las fisuras que aparecen en los aceros a temperaturas elevadas, entre los 450 y 600 °C, esto diferencia favorablemente los aceros con molibdeno, de otros aceros.

(<http://opac.=FLOTACION%20MINERALES&indexS>)

Usos del Molibdeno.

El molibdeno es usado principalmente como materia prima para fabricar aceros especiales y aleaciones, a las cuales confiere sus propiedades de gran resistencia a la temperatura, a la corrosión, durabilidad y gran fortaleza. En general, los usos de este metal están en constante desarrollo. Es utilizado en una gran diversidad de industrias, tales como electrónica, construcción, aeronáutica, automotriz, química, petroquímica, transporte, entre otras

El molibdeno, proveniente del concentrado de molibdenita, casi en su totalidad debe ser convertido en óxidos de molibdeno, y luego

transformado en otros productos o usado directamente en forma de óxidos. Sólo una pequeña parte del molibdeno, en forma de sulfuro, es destinada para lubricantes y aditivos directos en aceros.

El principal uso del molibdeno se encuentra en la industria siderúrgica. Según estadísticas ^[4], en el año 2011, alrededor del 63% del molibdeno se usó como un aditivo en aceros inoxidables y de construcción y el 5.3 % en aceros de alta aleación. Mientras que el 10%, se utilizó en la industria química para la fabricación de catalizadores, pigmentos, lubricantes, reactivos químicos, productos farmacéuticos y como estimulantes en agricultura. Cabe destacar, que la distribución de uso primario de molibdeno en la industria química considera tanto el molibdeno utilizado proveniente de chatarra reciclada como el de minas (fuentes primarias y secundarias).

Otro uso importante del molibdeno en el año 2011, se encuentra en la producción de partes fabricadas con hierro fundido. Pequeñas cantidades de molibdeno, contribuyen favorablemente a las propiedades físicas del hierro, a su dureza, resistencia mecánica y uniformidad estructural de la pieza fundida. En el año 2011, el consumo de molibdeno en hierro representó un 6%.

(<http://opac.pucvSearch=FLOTACION%20MINERALES&index>)

2.2.2. Minerales de Molibdeno.

El molibdeno no existe en estado puro y se encuentra en la naturaleza en muy pequeñas cantidades. Su concentración en rocas cristalinas varía entre 1.0 a 1.5 ppm. Aunque el molibdeno es un elemento químico

activo con capacidad para cambiar su valencia de 2 a 6, el número de especies mineralógicas que él forma en la naturaleza, es pequeña. De hecho, hoy en día, la explotación comercial está garantizada por la molibdenita, con más del 90% del total del molibdeno producido. Los principales minerales de molibdeno son:

Tabla 1
Minerales de molibdeno

Mineral	Composición	% Mo
Molibdenita	MoS ₂	59.5
Wulfenita	PbMoO ₃	27.3
Molibdita	Fe ₂ (MoO ₄) ₃ *7H ₂ O	57.1
Powelita	CaMoO ₄	25.0
Bilonesita	MgMoO ₄	52.1
Patenita	CoMoO ₄	43.8

<https://prezi.com/wfoeq7gjk9nn/minerales-de-molibdeno-y-su-subproducto/>

La molibdenita corresponde a la mena principal de molibdeno, y se encuentra como especie de valor secundaria en algunos pórfidos cupríferos. Las partículas de molibdenita consisten en cristales S-Mo-S agrupados unos sobre otros y unidos por fuerzas de Van de Waals. En estos cristales, los átomos de S y Mo están unidos por un enlace covalente.

Debido a su estructura cristalina, las partículas de molibdenita presentan dos tipos de superficies, una superficie hidrofóbica originada por la ruptura de las interacciones de Van der Waals, asociadas a las caras del cristal, y otra superficie hidrofílica formada por la ruptura de los enlaces covalentes (bordes del cristal).

El mayor rompimiento del cristal preferentemente en los enlaces covalentes.

Presencia de “Caras” en la molibdenita explica su hidrofobicidad natural, la cual es mayor para partículas gruesas, pues la reducción fina de tamaño genera un rompimiento del cristal.

(<https://Sutulov,+1979>)



Figura 1. Molibdenita

Fuente: (<https://www.google.com/search?q=mineral+de+molibdeno>)

2.2.3. Flotación de Molibdenita

La recuperación por flotación de molibdenita es fundamental en la producción de molibdeno, porque ella es el único método de concentración usado hoy en día para el beneficio de minerales de molibdeno y la única fuente importante de molibdeno. La mayor parte de este disulfuro (MoS_2) se obtiene como subproducto en la flotación de minerales de cobre.

Estructura y flotabilidad natural de la molibdenita

La estructura cristalina de la molibdenita fue determinada por Dickson y Pauling en 1923. Esta especie tiene un peso molecular de 160.06 g y contiene 59.9% en peso de molibdeno y un 40.1 % en peso de azufre.

La molibdenita es un sulfuro que presenta flotabilidad natural a causa de su estructura cristalina. Este mineral tiene una unidad estructural hexagonal tipo laminar, en la cual muestra la presencia de capas poliédricas en coordinación con prismas triangulares, donde cada átomo de molibdeno está rodeado de 6 átomos de azufre en los vértices de prismas triangulares, a una distancia aproximada de 0.242 nm entre Mo-S. Estos prismas comparten sus extremos verticales para formar una capa de S-Mo-S. Como se observa en la Fig. 3.6 el cristal de molibdenita está constituido por capas horizontales de S-Mo-S, una sobre la otra

En la estructura cristalina del disulfuro de molibdeno se tienen dos tipos de enlaces: un enlace covalente entre átomos de Mo-S y débiles fuerzas de Van der Waals entre capas de S-Mo-S. Debido a la característica estructural, las partículas de molibdenita presentan dos tipos distintos de superficie; una superficie que se crea por la ruptura de enlaces Van der Waals, que se conoce como cara y una superficie que se genera por la ruptura de enlaces covalentes, que se conoce como borde.

La ruptura de cristales de molibdenita a lo largo de las caras, crea superficies no polares (hidrofóbicas) que se caracterizan por su baja energía, la cual les permite tener mayor afinidad con los líquidos de baja

energía o tensión superficial como los hidrocarburos saturados, que con líquidos de alta energía superficial como el agua. En los bordes, la ruptura de enlaces covalentes crea superficies polares (hidrofílicas), que son químicamente activas con el agua.

Este carácter heterogéneo de la superficie de las partículas de molibdenita es de particular importancia en flotación. La relación cara/borde, que depende del tamaño de partícula, determina la flotabilidad natural de la molibdenita. Para partículas de tamaño fino, esta relación cara/borde es baja; como consecuencia, su flotabilidad es baja, en relación a la que se tiene con partículas gruesas.

Fenómenos eléctricos sobre la superficie de la molibdenita

El potencial electrocinético también conocido como potencial zeta, depende de la relación cara/borde de las partículas de MoS_2 , a mayor relación cara/borde el potencial es más negativo. La repulsión eléctrica entre la partícula de molibdenita y la burbuja de aire aumenta con el incremento del potencial zeta, provocando una disminución de la adherencia entre partícula y burbuja. Esta probabilidad de adherencia disminuye mientras menor es el tamaño de la partícula, es decir, la relación cara/borde decrece.

Chander y Fuerstenau postularon que las caras y los bordes de la molibdenita tienen distintas contribuciones al potencial zeta medido; el potencial de las caras es pequeño y el de los bordes es más grande. Por lo tanto, el mayor aporte a la carga negativa del potencial zeta en la superficie de la molibdenita es entregado por los bordes, por lo que estos

sitios son los que controlan el potencial. Estas regiones conocidas como bordes se forman por la ruptura de enlaces covalentes y son sitios muy activos que puedan reaccionar con el oxígeno o el agua para formar sitios oxigenados en la superficie de la MoS₂. Estos sitios oxigenados, proponen Chander y Fuerstenau ^[23], son iones de HMoO₄⁻ o MoO₄²⁻ los cuales determinan la carga eléctrica en los bordes.

Además, Chander y Fuerstenau encontraron una relación entre el potencial zeta y el pH para la molibdenita, mostraron que el potencial zeta de la MoS₂ en estado natural es negativo sobre todo el rango de pH. El potencial varía entre -40 y -55 mV, y su valor es menos negativo entre pH 5.5 y 6.5. En soluciones ácidas los valores negativos del potencial son atribuidos a la formación MoO₃, y en soluciones alcalinas el potencial zeta es controlado por la formación de MoO₄²⁻ sobre la superficie del mineral. Cerca de un potencial de -40 mV, la flotación alcanza una máxima recuperación.

Planteamiento metalúrgico de la flotación de molibdenita

el concentrado de molibdeno se recupera a partir de minerales, donde la concentración varía desde 0.2 a 0.5 % de molibdenita, y se encuentra acompañada de otros metales útiles como cobre, pirita, plomo, estaño, tungsteno y otros; o desde pórfidos de cobre, los que junto con contenidos de cobre 0.3 a 2 %, contienen pequeñas cantidades de molibdenita que varía desde

0.01 % a no más de 0.1 %. tales cantidades mínimas de molibdenita requieren una tecnología que sea suficientemente eficiente y simple para ser económicamente atractiva, y la flotación es el único proceso que

cumple ambas condiciones.

La molibdenita se recupera desde pórfidos de Cobre. La tecnología de flotación, con estos yacimientos de baja ley, consiste en las siguientes etapas.

- Chancado y molienda, para una liberación óptima de los metales útiles.
- Flotación colectiva, para la separación de Cu y Mo desde los minerales de la ganga.
- Flotación selectiva de molibdenita.
- Enriquecimiento final del concentrado de molibdenita, incluyendo la eliminación de impurezas.

La recuperación por flotación de molibdenita desde pórfidos de cobre tiene que resolver la separación de tres tipos de componentes: (a) molibdenita, (b) sulfuros no ferrosos, y (c) minerales de la ganga incluyendo pirita. Las características básicas que hace posible esta separación es la distinta mojabilidad de estos tipos de minerales, que hacen el desplazamiento de la interfase sólido-líquido por la interfase sólido-gas relativamente fácil, bajo condiciones específicas controladas.

La molibdenita debido a su estructura laminar es repelente al agua en la mayor parte de su superficie y, por lo tanto, el mineral más hidrófobo del

grupo. Es seguida de la pirita y los sulfuros de cobre, que son semiconductores con enlaces covalentes. Estos minerales pueden llegar a ser fuertemente hidrófobos por la acción de colectores tipo sulfhidrato, que los discrimina de otros compuestos iónicos que contienen oxígeno, que es el caso de los minerales de la ganga. Los minerales de la ganga tienen superficies que fijan fácilmente

dipolos de agua y son bajo condiciones normales, muy hidrófilos. Por ende, en la primera etapa se debe separar los componentes útiles de la ganga, y así, se reducirá considerablemente el volumen a tratar, eliminando inmediatamente casi todos los componentes no deseados.

La segunda etapa en la recuperación por flotación de molibdenita es su separación de los sulfuros de cobre. Esto se consigue ya sea por depresión de los sulfuros de cobre o por depresión de molibdenita.

La depresión de molibdenita puede justificarse sólo cuando su contenido en el concentrado de cobre es relativamente alto, sobre 1 %. Sin embargo, la posterior reactivación de molibdenita para su recuperación y enriquecimiento, después que ella ha sido deprimida, es dificultosa e involucra problemas con el resto de minerales de cobre y de la ganga. Entonces, la flotación de molibdenita y depresión de los sulfuros de cobre es adoptada como práctica general, aun cuando esto implique un consumo considerable de depresor, debido al gran volumen de sulfuros a depresar.

2.2.4. Flotación Colectiva de Cu – Mo.

Cuando la molibdenita se encuentra en pórfidos de cobre en cantidades económicas, esta se flota junto con los sulfuros de cobre para formar un concentrado colectivo, o “Bulk”, de Cu-Mo.

Para flotar sulfuros de cobre (calcopirita, bornita, calcosina, etc.) desde una pulpa asociada a sulfuros de fierro (pirita, pirrotita) y ganga no metálica, se emplean colectores tales como: xantato, tiofosfatos, o del tipo tiocarbamato; los cuales inducen mayor hidrofobicidad a las especies de cobre. Es una práctica común el también acondicionar el mineral con petróleo diésel o aceite de combustible para mejorar la flotabilidad de la molibdenita.

Adicionalmente, antes de flotar la pulpa, esta se acondiciona con cal viva (CaO) para subir el pH en forma controlada y deprimir la pirita, y espumantes para la estabilidad de la espuma. Dentro de los espumantes se suelen emplear reactivos naturales como aceite de pino y terpinol, o sintéticos como el MIBC, poliglicoles, entre otros polímeros.

Los circuitos de este proceso generalmente consideran cuatro conjuntos de celdas de flotación:

- a. Flotación Primaria o “Rougher”: la pulpa mineral alimentada se flota en condiciones que hacen eficiente la recuperación de Cu, con un grado razonable de concentración (15-20% Cu).

- b. Flotación de Limpieza o “Cleaner”: los minerales estériles (pirita, silicatos, etc.) provenientes del concentrado de la etapa Rougher, son fuertemente deprimidos en esta etapa para dar un concentrado de Cu-Mo de alta calidad (ley).
- c. Flotación de 2ª Limpieza o “Re-cleaner”: reutilización de las celdas Cleaner para maximizar la calidad del concentrado y deprimir por última vez las especies estériles.
- d. Flotación de barrido o “Scavenger”: tiene por misión hacer un repaso colectivo de las especies de interés descartadas en etapas anteriores.

En resumen, las etapas Rougher y Scavenger se encargan de maximizar la recuperación de las especies de interés, mientras que las de limpieza de aumentar el contenido de Cu y Mo en el concentrado.

Además, se incluyen en el proceso operaciones complementarias como: molienda, clasificación, espesamiento y filtración. Estas etapas de flotación y operaciones complementarias pueden agruparse de distinta forma con el fin de aumentar las leyes y recuperación del concentrado final.

(<https://www.911metallurgist.com/wp-mining-handbook924751.pdf>)

2.2.5. Flotación Selectiva de Mo.

El objetivo principal de esta etapa es producir un concentrado rico en molibdeno, y otro en cobre. En esta nueva flotación el producto a flotar son los minerales de molibdeno, mientras que los sulfuros de

cobre son retirados por los relaves del proceso.

La ruptura de los cristales de molibdenita a lo largo de las caras genera superficies no polares, caracterizadas por su baja energía, lo cual permite que la molibdenita exhiba una hidrofobicidad inherente. Dicha propiedad no la presentan, o al menos no de manera tan pronunciada, los sulfuros de cobre en su forma natural (sin acondicionar). Así, la flotación selectiva requiere la adición de un nuevo reactivo que reduzca el efecto de los colectores en la superficie de los sulfuros de cobre. Estos reactivos son los depresantes.

Algunos ejemplos de depresantes usados en la flotación selectiva de molibdeno son:

Sulfuro de sodio (Na_2S), sulfhidrato de sodio (NaSH), Anamol-D (mezcla 20% As_2O_3 y 80% Na_2S), cianuro de sodio (NaCN), reactivo Nokes o LR744 (mezcla $\text{NaOH}/\text{P}_2\text{S}_5$ en razón 1/3), entre otros.

Actualmente, unos de los reactivos más utilizados para deprimir los sulfuros de cobre es el sulfhidrato de sodio.

Al igual que en la flotación colectiva, los circuitos de la flotación selectiva consideran los 4 conjuntos de las celdas de flotación ya mencionados (Rougher, Scavenger, primera y segunda limpieza), e incluso etapas de tercera y cuarta limpieza. Aún más, en la práctica industrial la flotación selectiva se complementa con operaciones de

lixiviación del cobre contenido en el concentrado de molibdenita; esto con el fin de obtener un producto comercial de mayor valor agregado, con una ley de cobre adecuada, y logrando en la etapa de flotación mejorar la recuperación de los sulfuros de molibdeno. (<https://www.911metallurgist.com/wp-mining-handbook924751.pdf>)

2.2.6. Causas que afectan la flotabilidad de la molibdenita.

Mundialmente las recuperaciones globales de molibdeno son de aproximadamente 50.8%, una recuperación menor comparada con la de cobre de 84.8%. Las causas de las estas bajas recuperaciones de molibdeno se debe a: (a) Imposibilidad de flotar molibdenita contenida en el mineral por falta de liberación, por molibdenita alterada, oxidada o asociada a ganga silicosa y por tipos anormales de mineralización, como puede ser la Wulfenita; (b) Pérdida de una fracción de molibdenita en el proceso de concentración primaria o en la separación de molibdenita y cobre; c) Depresión de molibdenita por efecto de la cal, esto constituye el principal problema de la recuperación de la molibdenita.

La eficiencia de flotación es fuertemente afectada por la distribución de tamaño del mineral que se produce en molienda y por reactivos empleados en la flotación colectiva. En los minerales de cobre tipo pórfidos, el nivel de molienda y esquema de flotación se establecen para la recuperación de cobre y no para el molibdeno; estas condiciones de molienda y flotación no son necesariamente las adecuadas para la óptima

flotación de molibdenita.

El exceso de finos se genera normalmente en la remolienda de concentrado primario. Los finos de molibdeno no flotan en los circuitos de limpieza de cobre y se pierden en los relaves primarios, disminuyendo la recuperación de molibdeno en el proceso de flotación selectiva

2.2.7. Pruebas de laboratorio.

Esta etapa de la investigación es considerada de gran importancia, porque su función es seleccionar el reactivo (depresor) en flotación de Mo que debe usar en la prueba a nivel de laboratorio, previamente es aconsejable hacer pruebas cerradas, para estar seguros de la bondad del reactivo elegido.

Para iniciar las pruebas es conveniente establecer una prueba de referencia o patrón que sirva como medida de comparación, frente a las pruebas que se corran con los reactivos a evaluar, esta prueba de referencia es conocida como prueba estándar. Definida a nivel de laboratorio, es la que representa las condiciones de operación de una planta concentradora que está operando en condiciones normales. Esta prueba que es trabajada en condiciones similares a la planta concentradora nos servirá para comparar el rendimiento metalúrgico de cualquier reactivo u otra variable en estudio.

En plantas donde no se tiene establecido el Standard, se diseñará esta prueba con los datos de operación de la planta teniendo en cuenta

algunos aspectos como recirculación de productos intermedios que podrían exagerar el consumo de reactivos en pruebas. De este modo cualquier reactivo que supere el estándar debe ser tomado en cuenta hasta su confirmación industrial. (Azañero Ortiz, A. & Morales Valencia, M, 1999).

2.2.8. Flotación de minerales.

La flotación es un proceso selectivo que se emplea para llevar a cabo separaciones específicas de minerales complejos, basándose en las diferentes propiedades superficiales de cada uno de ellos.

Es el método de procesamiento de minerales más eficaz y con mayores aplicaciones de todos los existentes, aunque en muchos aspectos, es el más complejo de ellos.

De las tres alternativas iniciales: flotación con aceite, por película o con espuma, ésta última es la que se ha impuesto y ha alcanzado un notable desarrollo.

Esta técnica se fundamenta en la adhesión selectiva de los minerales en el seno de una pulpa acuosa a unas burbujas de aire que se introducen en ella. Los minerales adheridos a las burbujas se separan en forma de espuma mineralizada constituyendo el concentrado, mientras que los demás se quedan en la pulpa y constituyen el estéril.

Los antecedentes históricos del proceso se remontan a los inicios de la historia.

En este método de separación los reactivos son el componente y la variable más importante, ya que el número de especies de flotabilidad natural es tan reducido: talco, azufre, grafito, molibdenita y pocos más, y su importancia comercial tan reducida que se puede afirmar que la flotación industrial moderna no se podría efectuar si reactivos. La flotabilidad natural depende de la polaridad.

Un elemento tan importante del proceso influye con gran sensibilidad, ya que no solo tiene repercusión el tipo de reactivo, sino también su combinación, dosis, forma y orden de adición.

Se ha comprobado que los efectos favorables o desfavorables debidos a otras variables: grado de molienda, aireación, densidad de pulpa, etc. Nunca superan en importancia a los efectos positivos o negativos de una fórmula de flotación apropiada, por tanto, no debe extrañarnos que al estudio de la fórmula de flotación apropiada se haya dedicado el mayor tiempo y esfuerzo investigador.

El problema es complejo ya que la acción de los reactivos está basada en equilibrios iónicos, y este equilibrio es difícil de controlar, ya que aparte de los reactivos que introducimos en la pulpa, hay una considerable cantidad de ion es en ella, procedentes de las impurezas que aporta el mineral, así como el agua de tratamiento.

2.2.9. Cinética de flotación.

La cinética de flotación se define como la variación del producto removido en la espuma con relación al tiempo, y la identificación cuantitativa de todas las variables que controlan la flotación. El objetivo de la cinética de flotación es determinar la ecuación de velocidad, la cual relaciona la porción de material que es flotado con el tiempo de flotación y depende de la cantidad de partículas flotables que aún permanecen en la celda en ese instante.

Para realizar una prueba cinética donde una celda Batch es alimentada con una cierta cantidad de mineral se determina la masa de concentrado en función del tiempo, para ello se colecta concentrados parciales a distintos tiempos de flotación, los que son pesados y caracterizados por ley del elemento de interés. Con los resultados obtenidos se determina la cantidad de metal fino para cada bandeja y conociendo el fino alimentado junto con el material fino de cada bandeja, se calcula la recuperación del metal. También se calcula la recuperación acumulada y se gráfica para obtener las curvas de recuperación acumulada en función del tiempo.

La recuperación acumulada aumenta con el transcurso del tiempo de flotación y la curva se hace asintótica a un cierto valor máximo de recuperación. Esta relación entre % de recuperación y tiempo permite definir el concepto de velocidad. Las variaciones de velocidad dependen de condiciones operativas tales como tipo de celda de flotación, flujo de aire, granulometría, % de sólidos, ley de alimentación, pH y reactivos

químicos.

Uno de los primeros trabajos de investigación sobre la cinética de flotación fue publicado en el año 1935 por García y Zúñiga, en el que se determina una descripción matemática y se reconoce que la cinética de flotación puede ser representada de modo análogo a las ecuaciones de cinética química de primer orden, por la ecuación diferencial ordinaria.

$$\frac{dC}{dt} = -k \times C^n \quad (i)$$

Donde:

k, es la constante cinética específica de flotación.

C, es la concentración del material flotable.

n, es el orden de la reacción

Para esta analogía se considera que todas las partículas tienen idéntica flotabilidad, y no se contempla la distribución de tamaños de partículas y burbujas existentes generalmente en una celda de flotación. Además se asume la concentración de aire, reactivos químicos y otros parámetros de flotación se mantienen constantes y se incorporan en el valor de k. Por ende el valor de k es una medida cuantitativa de la probabilidad de que las partículas de una especie sean recuperadas en el concentrado.

Existe una amplia gama de modelos cinéticos, de los cuales los más utilizados son:

. Modelo de primer orden clásico desarrollado por García y Zúñiga.

$$R = R_{\infty} \times (1 - e^{-kt}) \quad (\text{ii})$$

. Modelo de primer orden con distribución rectangular de velocidades formulado por Klimpel.

$$R = R_{\infty} \times \left[1 - \frac{1}{kt} \times (1 - e^{-kt}) \right] \quad (\text{iii})$$

Los parámetros k y R_{∞} se pueden determinar simultáneamente utilizando ajuste matemático por minimización de error cuadrático.

2.2.10. Evaluación de reactivos.

El trabajo de investigación consiste en identificar los reactivos a ser evaluados, reactivo patrón cuyas características son conocidas, el mineral que nos servirá para nuestro experimento, determinando sus propiedades mineralógicas y químicas, las pruebas experimentales desarrolladas, condiciones de trabajo y resultados obtenidos, enseguida se presenta los gráficos que nos ayudarán a una mejor comprensión del tema y finalmente los cálculos de eficiencia de separación e índice de selectividad que nos permitirá afirmar correctamente cual o cuales reactivos de flotación son de menor, igual o mejor calidad que el reactivo usado como referencia. (Azañero Ortiz, & Morales Valencia, M, 1999).

2.2.11. Tipos de reactivos.

La clasificación moderna divide a los reactivos en función del papel que desarrollan en el proceso:

- **Colectores:** Proporcionan características hidrofóbicas a los minerales.
- **Modificadores:** Regulan las condiciones de funcionamiento de los colectores.
- **Espumantes:** Permiten la formación de una espuma estable.



Figura 2. Colectores y espumantes

<https://listado.mercadolibre.com.ec/colectores-y-espumantes-para-plantas-de-beneficio-oro>

A. Colectores.

Es un grupo grande de reactivos orgánicos de composiciones diversas.

Su misión es la hidrofobización selectiva de las superficies minerales, creando condiciones favorables a su adherencia a las burbujas de aire, disminuyendo la humectación, aumentando el ángulo de contacto con las burbujas. Separación por flotación-reactivos.

Por su capacidad de disociación en la pulpa, los colectores se dividen en

dos grupos:

Ionizables - ionógenos: Se disocian en iones

No ionizables – no ionógenos: Actúan de forma molecular.

Además, dependiendo de si la parte activa es anión o catión, los colectores ionógenos se subdividen en:

- Colectores Aniónicos
- Colectores Catiónicos

Los aniónicos en función de su estructura química se divide en:

- **Tipo oxidrilo:** ácidos grasos, jabones, alquilsulfatos.
- **Tipo sulfhidrilo:** xantatos, ditiofosfatos, otros.

Los cationes están representados por las aminas y los derivados amínicos.

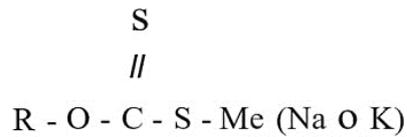
a) **Aniónicos**

Son los que más se usan en la flotación de minerales por su notable selectividad y su fuerte adherencia a la superficie mineral.

1. TIPO SULFHÍDRILO

Xantatos

Los xantatos son sales sódicas o potásicas del ácido xántico o xantogénico.



SMe Donde SMe = Na⁺, K⁺, o H⁺ y R = Es el grupo o radical hidrocarburo (hasta 6 átomos) que puede ser variado para controlar su potencia y selectividad.

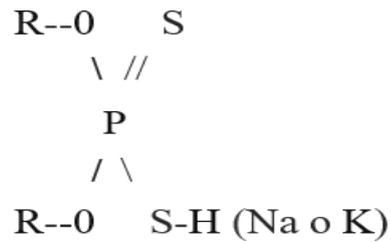
Este grupo de reactivos tiene una gran difusión debido a su bajo costo, sus fuertes propiedades colectoras y su alta selectividad. Son apropiados para la colección de sulfuros, minerales nativos y minerales oxidados previamente sulfurados.

Se deben emplear en circuitos neutros o alcalinos ya que en medio ácido sufren hidrólisis.

Se ha comprobado que las propiedades hidrofobizantes de los xantatos aumentan con la longitud de la cadena hidrocarbonada y con la ramificación. En la práctica se emplean en dosis que van desde los 5 a los 100 g/l.

Ditiofosfatos

Son ésteres secundarios del ácido ditiofosfórico y se obtienen al hacer reaccionar pentasulfuro de fósforo con alcoholes. Estos compuestos fueron desarrollados inicialmente por American Cyanamid que les dio el nombre comercial de Aerofloats que es como habitualmente se les conoce.



siendo R un radical hidrocarburo aromático o alifático y H, Na, K es el átomo de hidrógeno o metal alcalino. Los ditiofosfatos se obtienen por vía de la interacción del pentasulfuro de fósforo con fenoles y alcoholes

Los ditiofosfatos son colectores de menor poder que los xantatos por lo que se deben emplear dosis mayores que en el caso de los xantatos.

Son más solubles en agua que los xantatos por lo que los depresores les afectan en mayor grado que a aquellos, lo que explica su difusión en la flotación global.

Son menos susceptibles a la hidrólisis que los xantatos, lo que permite su actuación en medio ligeramente ácido.

Tioles

Los tioles son los análogos sulfurados de los alcoholes, en los que el átomo de oxígeno se ha sustituido por un átomo de azufre.

Los tioles son semejantes a alcoholes, pero en lugar de oxígeno contienen azufre. Cuando el grupo –SH es la función principal, la molécula se nombra con la terminación -tiol; cuando actúa como sustituyente, se utiliza el prefijo mercapto-

hidrocarbonadas pueden estar unidas por un puente de azufre, formando una función tioéter (o sulfuro). A veces, este puente puede estar formado por dos azufres (R-S-S-R), formando lo que se llama un puente disulfuro.

R-SH

R= radical alifático o aromático

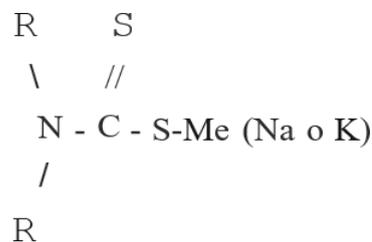
El grupo SH se conoce como: MERCAPTANO o SULFHIDRILO.

Son útiles para la flotación de sulfuros de cobre y de Zinc, así como para especies oxidadas.

Su utilización está restringida por su desagradable olor.

Ditiocarbamatos

Son los diésteres o las sales de los monoésteres del ácido ditiocarbónico que corresponden a la fórmula (CS.OR.SR') en la que R es un radical orgánico y R' un metal (sodio, potasio, etc.) o un radical orgánico. Su fórmula general es:

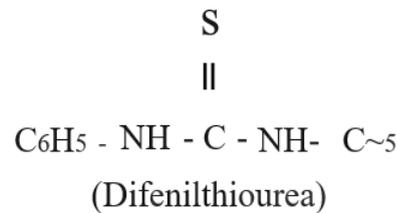


Compiten con los xantatos en cuanto a sus propiedades colectoras, pero su precio más elevado les hace perder competitividad con aquellos.

Difenil tiourea o tiocarbanilida

Tiene muy poca acción sobre la pirita, razón por la cual se emplea para flotar galena con una mezcla de pirita (si se usara xantato, sin un depresor de la pirita, flotarían conjuntamente la galena y la pirita),

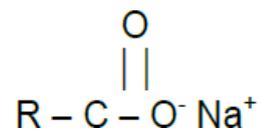
teniendo el mérito de no flotar los sulfuros de hierro. El colector es una sal que toma en el agua la forma tautonoma entre: la forma acida, sulfhídrica, es activada en la flotación es consumida por los minerales, lo que desplaza el equilibrio hacia la derecha. Como la sal no es muy soluble, se agrega en solución de ortotoluidina, siendo adicionada en el circuito de molienda para su mejor dispersión.



Su propiedad más destacable es la de ser un excelente colector para la galena y no hidrofobizar la superficie de la pirita.

2. Tipo oxidrilo carboxílicos.

Los carboxilatos (ácidos grasos y sales $\text{RCOO}^- \text{Na}^+$) tienen la fórmula general $\text{R} - \text{COOH}$ y pueden ser usados en forma de sales de metales alcalinos, $\text{R} - \text{COOM}$ los que se conocen con el nombre de jabones. Su fórmula estructural es:



El radical de la cadena alquílica R puede ser un hidrocarburo saturado

o no saturado, de longitud de cadena variable. En la práctica los buenos colectores tienen una cadena del hidrocarburo que varía entre 8 y 12 átomos de carbono como mínimo y entre 18 y 20 como máximo.

En este grupo se encuentran los ácidos grasos y sus sales, los jabones. Históricamente han jugado un papel importante en flotación debido a sus fuertes propiedades colectoras, pero su poca selectividad impide una eficaz separación, lo que ha ocasionado un gradual y casi absoluto reemplazo por los colectores sulfhídricos, quedando su utilización reducida para el caso de minerales oxidados y no metálicos.

Los colectores carboxílicos se pueden obtener por oxidación de parafinas o a partir de productos naturales tales como grasa de animales y aceites vegetales. Los tipos de ácidos son saturados y no saturados, con y sin doble enlace en la cadena de hidrocarburos. Los no saturados son los mejores colectores que a diferencia de los saturados.

Para que sus propiedades colectoras sean satisfactorias, el número de carbonos no tiene que ser ni muy alto ni muy bajo. Los resultados óptimos se obtienen con cadena entre 8 y 12 carbonos. Los colectores con menor número de carbonos en la pulpa, forman fácilmente, con los iones alcalinos, jabones muy solubles, lo que es causa de un alto consumo de colector. Los ácidos grasos con mayor número de carbonos por otra parte son muy insolubles, lo que causa dificultad en su aplicación.

Sulfatos y sulfonatos

Son reactivos obtenidos de la sulfonación de ácidos grasos con ácido sulfúrico, pueden ser líquidos y se emplean en cantidades de 250 a 1500 g/t, se preparan soluciones de 5 al 30%. Su fórmula estructural es:



Se alimentan en el acondicionamiento o en el circuito de flotación. El efecto colector mejora con el largo de cadena, C14 – C17 da excelentes resultados. Se caracterizan por su propiedad

Humectante y sirven como colectores para minerales no-sulfurados, especialmente óxidos de Fe. También se pueden flotar silicatos como la garnierita, cromita, kainita en turbias ácidas; mientras que baritina en turbias alcalinas. Es también posible flotar menas carbonatadas de Cu. Este grupo de reactivos se obtiene por sulfonación o sulfatación de alcoholes. Se emplean para la flotación selectiva de óxidos y sales.

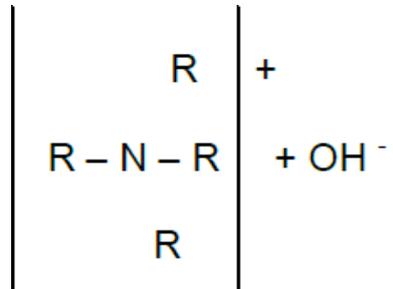
Conviene destacar que estos reactivos tienen propiedades espumantes, lo que supone una ventaja por una parte y un inconveniente por otra.

b) Catiónicos.

Caracterizado por el único grupo de las aminas, derivadas del amonio, NH_4OH , en que los átomos de H son reemplazados por radicales

hidrocarburos alquílicos y arílicos.

Su fórmula estructural es:



De acuerdo al número de H reemplazados por radicales hidrocarburos forman las aminas primarias, secundarias, terciarias o cuaternarias, siendo las aminas primarias las más empleadas en la flotación de colectores.

Este grupo de reactivos está constituido por aminas y derivados amínicos. Estos colectores se caracterizan por su fácil adsorción y desorción, como consecuencia de una actuación debida a un mecanismo de atracción electrostático.

En general son menos selectivos que los aniónicos, aunque en ciertas flotaciones específicas como la flotación de cuarzo, silicatos y algunos minerales oxidados son mucho más efectivos que los aniónicos.

Presentan además la ventaja de no ser muy sensibles a la presencia de iones extraños en la pulpa, por lo que son válidos en tratamientos con agua excesivamente dura. Por otra parte, tampoco son muy sensibles a las variaciones de pH.

c) No ionizables.

En la flotación de minerales hidrofóbicos como el carbón, grafito, azufre o molibdenita tienen importancia los colectores no ionizables como el keroseno, hidrocarburos o aceites hidrocarbonados que no posean grupos polares.

Estos reactivos son fuertemente hidrofóbicos y debido a la ausencia de grupos polares no tienen medios propios para adsorberse sobre las superficies de los minerales por lo que deben ser adicionados en combinación con otros compuestos orgánicos de carácter heteropolar. Utilizan por tanto un mecanismo que podríamos definir como de coadsorción. Debido a su insolubilidad en agua, la distribución de estos colectores ofrece dificultades, por lo que precisan medios mecánicos para su mejor distribución.

Por último, conviene resaltar que debido a su efecto negativo sobre la espuma hay que tener especial cuidado con la presencia incontrolada de los mismos ya que pueden ocasionar trastornos graves en la espumación.

B) Modificadores.

La función específica de los reactivos modificadores es preparar las superficies minerales para la adsorción o desorción de un determinado reactivo sobre ellas y crear en la pulpa las condiciones propicias para realizar una buena flotación. Tradicionalmente los modificadores se

clasifican en:

- Modificadores del medio o de pH, que controlan la concentración iónica de las pulpas y sus reacciones a través de la acidez o basicidad.
- Activantes, que fomentan las propiedades hidrofóbicas de los minerales y aumentan su flotabilidad.
- Depresores, que hidrofilizan las superficies minerales e impiden su flotación.

Modificadores del medio o de pH

El pH de una pulpa tiene gran importancia en la flotación, ya que los iones H^+ y OH^- compiten con otros iones en alcanzar las superficies de los minerales, y además, su concentración influye en la disociación de las sales y en los intercambios iónicos.

Es importante además tener en cuenta los efectos de hidrólisis que pueden sufrir algunos reactivos en función de la acidez del medio, por ejemplo, los xantatos pierden afectividad en circuitos ácidos.

Las aminas dan los mejores resultados en circuitos medianamente alcalinos y en circuitos de alta alcalinidad su poder colector disminuye notablemente.

En el caso de los ácidos grasos, su actividad se favorece en pulpas alcalinas ya que de este modo se favorece la formación de jabones en la superficie mineral.

De forma general debemos reconocer que el circuito alcalino es más empleado que el ácido, entre otros motivos porque los reactivos suelen ser más estables y las sales de los iones pesados precipitan eliminándose de la pulpa.

Para producir el pH necesario en los circuitos industriales se recurre a ácidos y bases de bajo coste, por lo que habitualmente se utilizan: Cal, Hidróxido de sodio, carbonato de sodio y Ácido sulfúrico

Activantes

Los reactivos de este tipo sirven para aumentar la adsorción de los colectores o para fortalecer el enlace entre el colector y la superficie mineral. Hay distintas maneras de actuar sobre una superficie:

Renovando o limpiando la superficie del mineral afectada por un proceso secundario como es la oxidación o la adhesión de lamas.

Formando en la superficie una capa particularmente favorable para la adsorción del colector.

Reemplazando en la red cristalina algunos iones metálicos por otros que forman uniones más firmes con los colectores.

Ejemplos:

1. Limpieza de las superficies de sulfuros de Fe, Cu y Zn con ácido sulfúrico.
2. Sulfidización de las superficies de los óxidos.
3. Activación de la superficie de la esfalerita por ion Cu.

Depresores

La función específica de los depresores es la de disminuir la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrófila o impidiendo la adsorción de colectores que puedan hidrofilarla.

Hay varias formas de conseguirlo:

1. Introduciendo en la pulpa un ion que compita con el colector por alcanzar la superficie del mineral.
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.

Ejemplos:

1. Depresión de los sulfuros de metales pesados con CN⁻ o SH⁻ Depresión de galena con Dicromato.
2. Actuación de cationes alcalinos y alcalinoterreos que forman precipitados con los ácidos grasos y los xantatos.
3. Sustancias orgánicas de tipo almidón, quebracho, tanino se hidrolizan y se generan múltiples grupos hidrofílicos dirigidos hacia el exterior de las partículas. Sería como un efecto colector a la inversa.

C. Espumantes.

La producción de una espuma estable requiere la introducción de agentes orgánicos conocidos como espumantes, que suelen ser sustancias tensoactivas heteropares que pueden adsorberse en la interfase agua-aire.

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

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

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

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

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

Los agentes más apropiados para realizar la espumación son:

- Alcoholes alquílicos y acrílicos

- Ácidos carboxílicos
- Aldehídos, Cetonas
- Aminas y Nitrilos

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

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

Conviene destacar que los Dwfroth no tienen propiedades colectoras, por lo que las funciones colectoras y espumantes se pueden regular de manera independiente. Reactivos de flotación.

http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5564/mod_resource/content/1/FLOTACION_REACTIVOS.pdf.

2.2.12. Anamol - D

Este reactivo se utiliza actualmente en planta para deprimir los sulfuros de cobre y hierro en el proceso de flotación selectiva de MoS_2 . Se conoce como Nokes arsenioso y se prepara disolviendo trióxido de arsénico y sulfuro de sodio en agua. Se realizaron pruebas de flotación con este reactivo para establecer una línea base y poder realizar comparaciones con los reactivos alternativos y además, para determinar la dosis de reactivo con la que se obtiene una alta recuperación de Mo y una elevada depresión de Cu y Fe. Para adicionar este reactivo en las pruebas de flotación se preparó 250 ml

de solución de Anamol-D, la cual contiene 40 g de Na_2S y 10 g de As_2O_3 .

Producto de la reacción entre Na_2S y As_2O_3 se forman compuestos llamados arseniatos (Na_xAsO_y) y tioarseniatos ($\text{Na}_x\text{AsO}_y\text{S}_z$) los cuales coexisten en el sulfhidrato residual en exceso, que representa más del 60% en el Anamol-D. Los tioarseniatos potencian el efecto depresor, y además confieren una acción prolongada, sin embargo, en la actualidad muy pocas empresas mineras utilizan este reactivo, puesto que la tendencia general es evitar contaminar los concentrados de cobre y molibdeno con arsénico, por lo que se desarrollan pruebas de flotación utilizando reactivos alternativos.

2.2.13. Sulfhidrato de Sodio (NaHS)

El sulfhidrato de sodio (NaHS) es el depresante de cobre y hierro más utilizado en las plantas de concentración de MoS_2 , por esta razón se decide evaluar su efecto en la recuperación de Mo, sobre Cu y Fe, realizando pruebas a nivel de laboratorio. Este reactivo en solución forma iones HS^- , los cuales son capaces de destruir el recubrimiento del colector xanthato agregado en flotación colectiva sobre los sulfuros de Cu y Fe.

El mecanismo de desorción química del recubrimiento es temporal y reversible. En las plantas de molibdeno para evitar la re-adsorción del colector se debe trabajar con una concentración de iones HS^- elevada, esto se logra manteniendo el potencial electroquímico de la pulpa lo

más negativo posible (-400 a -600 mV) durante todo el proceso tiene una concentración de 530, 8 g/l la cual se diluye a 280 g/l..

Tabla 2
Características del (NaHS)

CARACTERÍSTICAS	NaSH
Peso molecular	56,1
Gravedad específica	1,152 @ 22% de solución 1,376 @ 60% de solución
pH de solución	11 – 12 (fuertemente alcalino)

Fuente: Reactivos espumantes y colectores S.A

Tabla 3
Aspecto físico y acondicionamiento del (NaHS)

ASPECTO FISICO	CONCENTRACION	ACONDICIONAMIENTO
LIQUIDO	10% - 46%	<ul style="list-style-type: none"> • A granel • IBC • Vagón
PASTOSO	70% - 72%	<ul style="list-style-type: none"> • A granel
SOLIDOS (ESCAMAS)	70% - 72%	<ul style="list-style-type: none"> • Sacos de 25 Kg • Big bags (900kg o 1T)

Composición Del Sulfhidrato De Sodio:

- Sulfhidrato de sodio: 20 – 45%.
- Sulfuro de sodio: <1.0% (típico)
- Carbonato de sodio: <3.0% (típico)

- Agua: 54 – 79%



Figura 3. Reactivos espumantes y colectores
Fuente: Reactivos espumantes y colectores S.A



Figura4: TANQUE DE NaHS
Fuente: minera chinalco(área transporte)

Determinación de Concentración de NaSH

Densidad(g/l)	Conc. (%)	Densidad(g/l)	Conc. (%)
1100	12.6	1204	27.2
1104	13.2	1208	27.8
1108	13.7	1212	28.3
1112	14.3	1216	28.9
1116	14.8	1220	29.5
1120	15.4	1224	30.0
1124	16.0	1228	30.6
1128	16.5	1232	31.2
1132	17.1	1236	31.7
1136	17.7	1240	32.3
1140	18.2	1244	32.8
1144	18.8	1248	33.4
1148	19.3	1252	34.0
1152	19.9	1256	34.5
1156	20.5	1260	35.1
1160	21.0	1264	35.7
1164	21.6	1268	36.2
1168	22.2	1272	36.8
1172	22.7	1276	37.3
1176	23.3	1280	37.9
1180	23.8	1284	38.5
1184	24.4	1288	39.0
1188	25.0	1292	39.6
1192	25.5	1296	40.2
1196	26.1	1300	40.7

Figura5: CONCENTRACION DE NaHS
Fuente: elaboración propia

2.3. Definición de términos básicos.

Mineral. - Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Pórfidos Cupríferos. Los pórfidos cupríferos son esencialmente depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje. Se denominan pórfidos porque frecuentemente, pero no exclusivamente, se asocian con rocas ígneas intrusivas con fenocristales de feldespato en una masa fundamental de grano fino.

Los pórfidos cupríferos son la fuente principal de cobre, contribuyendo más de la mitad de todo el cobre de mina en el mundo, y también son una fuente importante de oro

Metalurgia. - Es la técnica de la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos hasta los no metálicos.

Proceso Metalúrgico. - Obtención del metal a partir del mineral que lo contiene en estado natural, separándolo de la ganga.

Operación Planta Concentradora. - Las operaciones de las Plantas Concentradora de minerales requieren en la mayoría de los casos de una preparación previa de los minerales que conllevan a la liberación de las partículas valiosas de su ganga acompañante. Con las diversas etapas de trituración, molienda, flotación, espesamiento y filtrado se conseguirá completar el grado de liberación necesario para el concentrado de minerales.

Mena: Minerales de valor económico, los cuales constituyen entre un 5 y 10% del volumen total de la roca. Corresponden a minerales sulfurados y oxidados,

que contienen el elemento de interés, por ejemplo, cobre, molibdeno, zinc, etc.

2.4. Formulación de hipótesis.

2.4.1. Hipótesis general.

La dosificación del reactivo Sulfhidrato de sodio tiene efecto en flotación de Mo de la. Minera Chinalco – Morococha, 2019.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- El análisis granulométrico del concentrado colectivo de Cu-Mo nos permitirá conocer el tamaño de partícula de la flotación de la. Minera Chinalco – Morococha, 2019.

- La flotación del Molibdeno con anamol-D y NaCN nos determina la calidad del concentrado de la. Minera Chinalco - Morococha, 2019.

- La flotación del molibdeno con el reactivo sulfhidrato de sodio en remplazo del anamol-D y NaCN mejora la calidad del concentrado de la. Minera Chinalco – Morococha, 2019.

2.5. Identificación de variables.

2.5.1. Variables independientes (X)

- Evaluación del reactivo Sulfhidrato de sodio.

2.5.2. Variables dependientes (Y)

- Flotación de Mo

2.5.3. Variables intervinientes

(Laboratorio Metalúrgico de la minera chinalco)

- Contenido metálico
- Granulometría
- Grado de liberación
- Insolubles
- Calidad de concentrado

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

Variable	Definición	Indicador
valuacion del reactivo Sulfhidrato de sodio.	esta variable vamos a identificar propiedades fisicoquimicas de este reactivo para ver que tan buen depresante es del sulfuro de hierro y cobre.	<ul style="list-style-type: none">- PH- Contenido metalico- Dosificacion del reactivo.
Flotacion de Mo.	Flotacion de molibdeno es el proceso mediante el cual se obtiene grandes cantidades de concentrado es por ello que se realiza el efecto del reactivo sobre el proceso.	<ul style="list-style-type: none">- Acondicionamiento.- % de concentrado.- Calidad de concentrado

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es experimental puro y de acuerdo al nivel de investigación es aplicativa y correlacional, mediante este diseño se planificó las pruebas experimentales, para evaluar el efecto del reactivo Sulfhidrato de Sodio en la flotación de minerales de Mo y su posterior recuperación.

Experimental, debido a que se manipula los factores de la variable independiente y teniendo como vector respuesta la recuperación de Mo en la flotación de dicho mineral.

Correlacional, debido a la relación del reactivo con su recuperación del mineral valioso.

3.2. Métodos de investigación.

Se aplicó el método científico, siendo esto de naturaleza inductiva y deductiva, siendo este método la lógica más confiable de producir conocimiento, se

considerará el nivel descriptivo, explicativo y experimental.

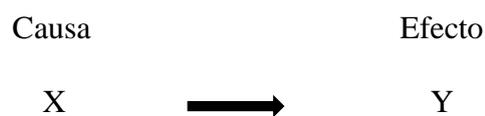
Descriptiva. Mediante este método se realizó la descripción de los fenómenos y comportamiento de las etapas que ocurren durante las pruebas experimentales

Explicativa. Durante las pruebas experimentales se hará la respectiva explicación de la causa y el efecto de cada etapa de las pruebas.

Experimental. Se realiza la manipulación de las variables independientes y ver su respuesta en la variable dependiente.

3.3. Diseño de la investigación.

El diseño de investigación que se aplica al estudio es el diseño factorial debido a que se realiza la manipulación de las variables independientes que tiene efecto sobre la variable dependiente.



$$N=2^k$$

Donde:

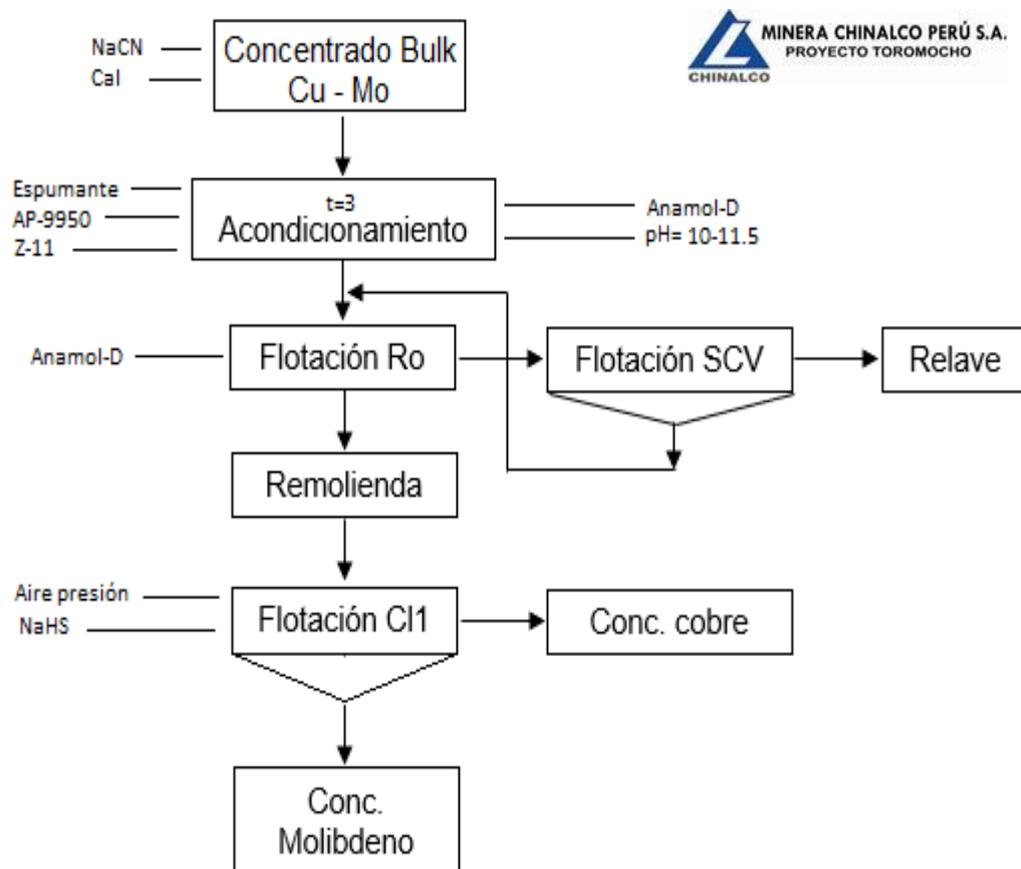
N, número de pruebas a realizar

K, número de factores

El diseño de investigación es experimental cíclico, debido a que las pruebas siguen un proceso sistémico y no se desecha el relave hasta el final de la prueba,

las pruebas se realizan en el laboratorio metalúrgico de la Empresa Minera.

Las pruebas experimentales se planificó de la siguiente manera:



3.4. Población y Muestra.

Población.

La población está constituida por la cantidad de reservas de mineral de la minera Chinalco - Morococha.

Muestra.

La muestra lo constituye la cantidad de concentrado colectivo Cu-Mo

muestreado durante 12 horas siendo esto aproximadamente 15 kilogramos.

N= 15 K

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Observación. Mediante esta técnica se toma apuntes de los fenómenos de ocurrencia en las pruebas experimentales. Según (Palella Stracuzzi, 2012) “La Observación consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que se estudia”.

Entrevista. Se realiza a los profesionales que laboran en la empresa y operadores con una amplia experiencia en operaciones de plantas de concentración. Al respecto Heinimann (2003) manifiesta “Una entrevista consiste en conseguir, mediante preguntas formuladas en el contexto de la investigación”.

Análisis documental. Se realizará análisis de datos de fuentes primarias como el análisis químico de las pruebas

Dosificación de reactivos. Se obtendrá datos de dosificación de reactivos en gramos por tonelada.

Análisis Químico. Los ensayos de elementos son reportados mediante esta técnica.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Los datos que se obtienen se procesaran con el paquete estadístico Microsoft Excel. Realizando cálculos del balance metalúrgico de cada prueba.

3.7. Tratamiento estadístico.

El tratamiento estadístico de los datos se realizará aplicando el software Statgraphics Plus versión 16.1.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

La selección y validación de datos lo realizamos con el software statgraphics Plus.

3.9. Orientación Ética.

Todos los datos que se muestran son verídicos, acordes a lo que se quiere demostrar ya que son hechos reales que van ayudar a la empresa, a sobresalir en el mundo competitivo.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo.

A continuación, presentamos el análisis químico de la pulpa de concentrado bulk Cu-Mo, determinado por espectrofotometría de absorción atómica donde se observa la ley de cabeza. Ver tabla 1.

Tabla 1

Análisis químico de la muestra de concentrado

Cabeza (Alim. Ro-Mo) %, g/t*					
Cu	Mo	Ag*	Fe	As	Zn
16,40	0,05	122,90	24,10	0,29	2,65

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Análisis granulométrico del concentrado común de Cu-Mo.

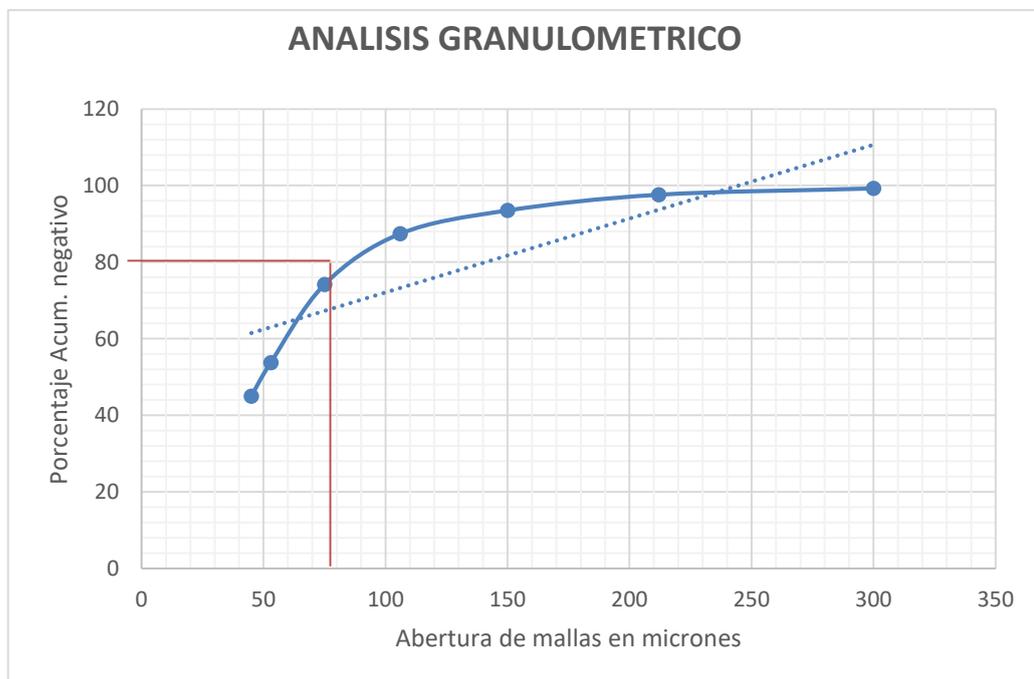
El compósito de concentrado comun Cu-Mo se sometió a un análisis granulométrico, utilizando las mallas de la serie Tyler.

Tabla 2
Análisis granulométrico del concentrado bulk

Malla Tyler	Abertura μ	Peso gr	% Peso	Acum (+)	Acum (-)
50	300	4,35	0,73	0,73	99,28
70	212	9,85	1,64	2,37	97,63
100	150	24,65	4,11	6,48	93,53
140	106	36,58	6,10	12,57	87,43
200	75	79,32	13,22	25,79	74,21
270	53	122,34	20,39	46,18	53,82
325	45	52,51	8,75	54,93	45,07
-325	--	270,4	45,07	100,00	0,00
Total		600,00			

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica siguiente observamos la tendencia de comportamiento del concentrado de la flotación común.



Se determinó que el concentrado común tiene un $d_{80} = 85 \mu\text{m}$ como se puede apreciar en el gráfico.

4.1.2 Influencia del Anamol-d en la flotación de molibdeno.

Presentamos las pruebas realizadas con dosificación del Anamol-D en la recuperación del molibdeno.

Prueba metalúrgica 1

Condiciones de operación:

Pulpa de concentrado	2 litros
Acondicionamiento	1 min
Tiempo de flotación	16 min
Aireación	8 L/min
pH	10-11.5
Remolienda	4 min
Anamol D ($\text{Na}_2\text{S} + \text{As}_2\text{O}_3$)	8 g/ton (40 g + 10 g) 250 ml
AP-9950	6 g/t
PAX	2 g/t
Xantato	1%

Realizada las pruebas de flotación

PM-01	% Peso	Leyes (% g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100,00	16,40	0,05	122,9	24,1	0,29	2,65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc. Mo	18,21	6,14	0,13	32,63	3,64	0,04	0,25	6,82	47,35	4,83	2,75	2,51	1,72
Relave Cu	81,79	18,68	0,03	143,00	28,66	0,35	3,18	93,18	52,65	95,17	97,25	97,49	98,28

Prueba metalúrgica 2

Condiciones de operación:

Pulpa de concentrado	2 litros
Tiempo de molienda	10 min
Acondicionamiento	1 min
Aireación	8 L/min
Tiempo de flotación	16 min
pH	10-11.5
Anamol D (Na ₂ S + As ₂ O ₃)	16 g/ton (40 g + 10 g) 250 ml
AP-9950	6 g/t
PAX	2 g/t
Xantato	1%

Realizada las pruebas de flotación

PM-02	% Peso	Leyes (% , g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100,00	16,40	0,05	122,90	24,10	0,29	2,65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc. Mo	18,67	6,13	0,13	30,69	3,78	0,04	0,27	6,98	48,54	4,66	2,93	2,58	1,90
Relave Cu	81,33	18,76	0,03	144,07	28,76	0,35	3,20	93,02	51,46	95,34	97,07	97,42	98,10

Prueba metalúrgica 3

Condiciones de operación:

Pulpa de concentrado	2 litros
Tiempo de molienda	10 min
Acondicionamiento	3 min

Tiempo de flotación	16 min
pH	10-11.5
Anamol D (Na ₂ S + As ₂ O ₃)	8 g/ton (40 g + 10 g) 250 ml
AP-9950	6 g/t
PAX	2 g/t
Xantato	1%

Realizada las pruebas de flotación

PM-3 Productos	% Peso	Leyes (% , g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100,00	16,40	0,05	122,90	24,10	0,29	2,65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc. Mo	18,94	6,16	0,13	30,75	3,72	0,05	0,26	7,11	49,24	4,74	2,92	3,27	1,86
Relave Cu	81,06	18,79	0,03	144,43	28,86	0,35	3,21	92,89	50,76	95,26	97,08	96,73	98,14

Prueba metalúrgica 4

Condiciones de operación:

Pulpa de concentrado	2 litros
Tiempo de molienda	10 min
Acondicionamiento	3 min
Tiempo de flotación	16 min
pH	10-11.5
Anamol D (Na ₂ S + As ₂ O ₃)	16 g/ton (40 g + 10 g) 250 ml
AP-9950	6 g/t
PAX	2 g/t
Xantato	1%

Realizada las pruebas de flotación

PM-4	% Peso	Leyes (% g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100,00	16,40	0,05	122,90	24,10	0,29	2,65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc. Mo	17,43	6,10	0,15	31,45	3,69	0,03	0,26	6,48	52,29	4,46	2,67	1,80	1,71
Relave Cu	82,57	18,57	0,03	142,20	28,41	0,34	3,15	93,52	47,71	95,54	97,33	98,20	98,29

4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para ver el efecto de sulfhidrato de sodio en la recuperación del molibdeno aplicamos las pruebas experimentales aplicando el diseño factorial.

$$N=2^3 = 8 \text{ Pruebas}$$

A continuación, se seleccionaron las variables que van a ser sometidos a las pruebas experimentales.

Factores	Nivel inferior (-)	Nivel superior (+)
X ₁ : pH	10	11.5
X ₂ : Acondicionamiento (min)	1	3
X ₃ : NaSH (g/Ton)	3	6

Con los factores seleccionados se procedió a diseñar las pruebas experimentales realizando las combinaciones de los niveles inferiores y superiores, además se procedió a realizar dos pruebas centrales para ver el efecto de curvatura en los resultados finales.

En la tabla siguiente podemos observar el diseño de las pruebas experimentales aplicando el programa estadístico Statgraphics Plus versión XVI.

Realizada las pruebas experimentales, se alimentó las recuperaciones calculadas en el balance metalúrgico de cada prueba. Ver tabla 3.

Tabla 3
Diseño de las pruebas experimentales

	BLOQUE	pH	Tiempo de	NaSH	Recuperacion Mo
			min	g/Ton	%
1	1	10.75	2.0	4.5	55.68
2	1	10.0	1.0	3.0	51.65
3	1	11.5	1.0	3.0	52.88
4	1	10.0	3.0	3.0	52.52
5	1	11.5	3.0	3.0	54.34
6	1	10.0	1.0	6.0	55.62
7	1	11.5	1.0	6.0	56.45
8	1	10.0	3.0	6.0	55.23
9	1	11.5	3.0	6.0	54.89
10	1	10.75	2.0	4.5	55.72

Fuente: Elaboración propia

Para ver los efectos de los factores que influyen en las recuperaciones, a continuación, tenemos los efectos estimados de cada factor.

Tabla 4
Efectos estimados para Recuperación Mo (%)

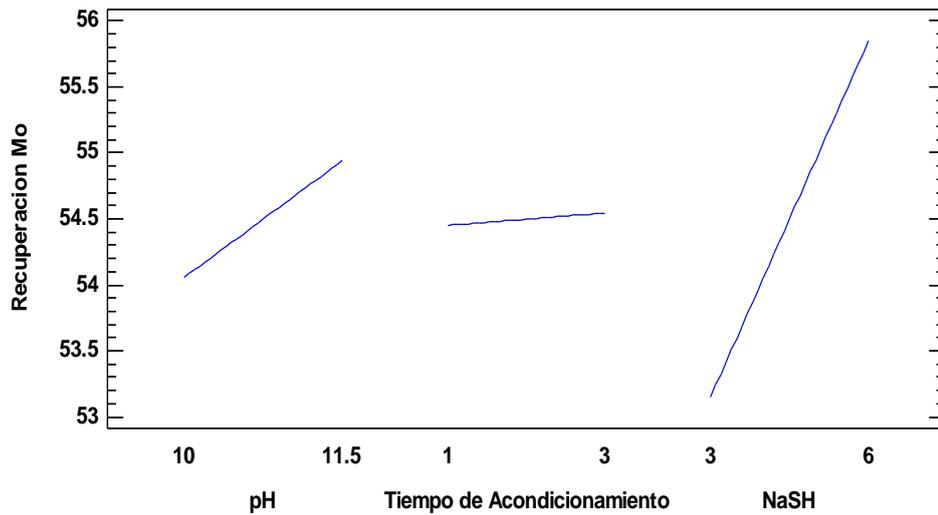
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	54,498	0,365149	
A: pH	0,885	0,816498	1,0
B: Acondicionamiento	0,095	0,816498	1,0
C: NaSH	2,70	0,816498	1,0
AB	-0,145	0,816498	1,0
AC	-0,64	0,816498	1,0
BC	-1,07	0,816498	1,0

Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

De la tabla 4 observamos que el factor mas influyente es el sulfhidrato de sodio por el valor de 2,70, seguido de la dosificación de cal que tiene un valor de 0,885 y por ultimo el acondicionamiento que tiene un valor de 0,095. Por los signos

positivos de los factores podemos afirmar que se encuentran trabajando con su nivel mínimo debiendo esto maximizarse para mejorar la recuperación del molibdeno.

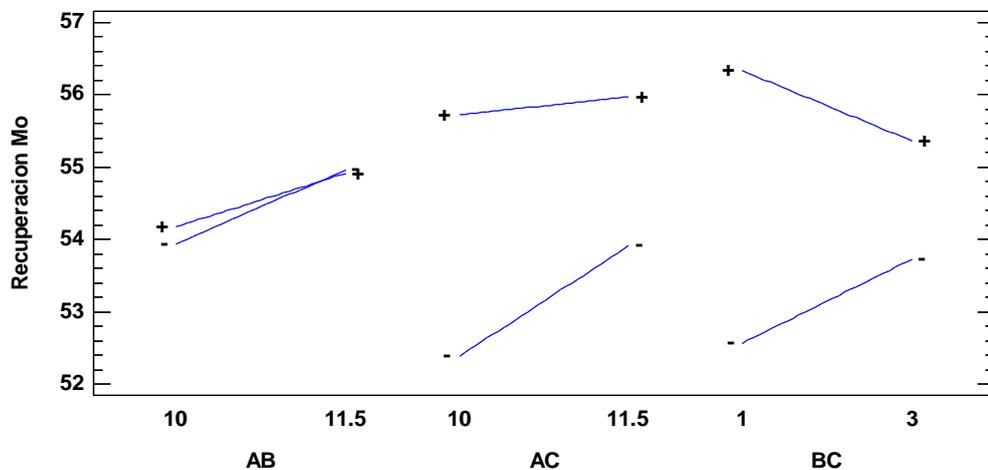
Gráfico 1
Efectos principales para la recuperación de Mo



Fuente: Statgraphics plus

De lo manifestado en la tabla 4 podemos ver gráficamente el que tiene mayor influencia en la recuperación del molibdeno es el sulfhidrato de sodio por la pendiente mas pronunciada, seguida del pH y tiempo de acondicionamiento.

Gráfico 2
Interacción para recuperación Mo



Fuente: Statgraphics plus

En cuanto a la interpretación de las interacciones podemos afirmar que no hay interacciones esto lo podemos afirmar categóricamente por el signo negativos de los factores.

Tabla 4

Análisis de Varianza para Recuperación Mo - Diseño factorial 2³

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: pH	1,56645	1	1,56645	1,17	0,3577
B: Acondicionamiento	0,01805	1	0,01805	0,01	0,9147
C: NaSH	14,58	1	14,58	10,93	0,0455
AB	0,04205	1	0,04205	0,03	0,8704
AC	0,8192	1	0,8192	0,61	0,4903
BC	2,2898	1	2,2898	1,72	0,2813
Error total	4,00001	3	1,33334		
Total (corr.)	23,3156	9			

R-cuadrada = **82.844** por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = **48.5321** por ciento

Error estándar del est. = **1.1547**

Error absoluto medio = **0.4808**

Estadístico Durbin-Watson = 1.39955 (P=0.3336)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0610749

Para corroborar lo analizado anteriormente aplicamos el análisis de varianza del proceso.

En dicho cuadro podemos interpretar lo siguiente, en vez de evaluar los valores a partir del F-Ratio, evaluaremos a partir del P-value de Pareto, el cual nos indica que el valor que tiende a cero tiene mayor significancia, notamos que el factor C es el que tiende más a cero por lo cual es el que tiene mayor significancia en el proceso, para un coeficiente de correlación del 82,844%. Se asume como error total de la prueba que tienen un valor de 1,3334 un valor aceptable que puede ser asumido como error experimental.

Siendo el modelo del proceso, ver tabla 5.

Tabla 5
Coefficiente. de regresión para Recuperación Mo

<i>Coefficiente</i>	<i>Estimado</i>
Constante	24,9622
A: pH	2,06333
B: Acondicionamiento	2,69167
C: NaSH	4,67111
AB	-0,0966667
AC	-0,284444
BC	-0,356667

De la tabla se despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Recuperación Mo} = 24,962 + 2,063 \cdot \text{pH} + 2,69167 \cdot \text{Acondic.} + 4,671 \cdot \text{NaSH} - 0,096 \cdot \text{pH} \cdot \text{Acondic} - 0,284 \cdot \text{pH} \cdot \text{NaSH} - 0,356 \cdot \text{Acond.} \cdot \text{NaSH}$$

El valor de la constante del modelo matemático viene a ser el promedio del vector respuesta, su valor positivo nos indica que se encuentra en el mínimo, se puede maximizar hasta el óptimo, para lo cual se debe controlar el factor con significancia, siendo en este caso la variable C, por tener una pendiente más pronunciada que los otros factores.

Los valores del proceso están en la dirección del análisis primario realizado, siendo los valores óptimos para alcanzar recuperaciones de molibdeno de 56,53 %.

Tabla 6
Optimizar Respuesta
Meta: maximizar Recuperación Mo
Valor óptimo = 56.5305

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
pH	10,0	11,5	11,5
Acondicionamiento	1,0	3,0	1,0
NaSH	3,0	6,0	6,0

En el siguiente grafico tenemos el contorno de superficie de los puntos experimentales

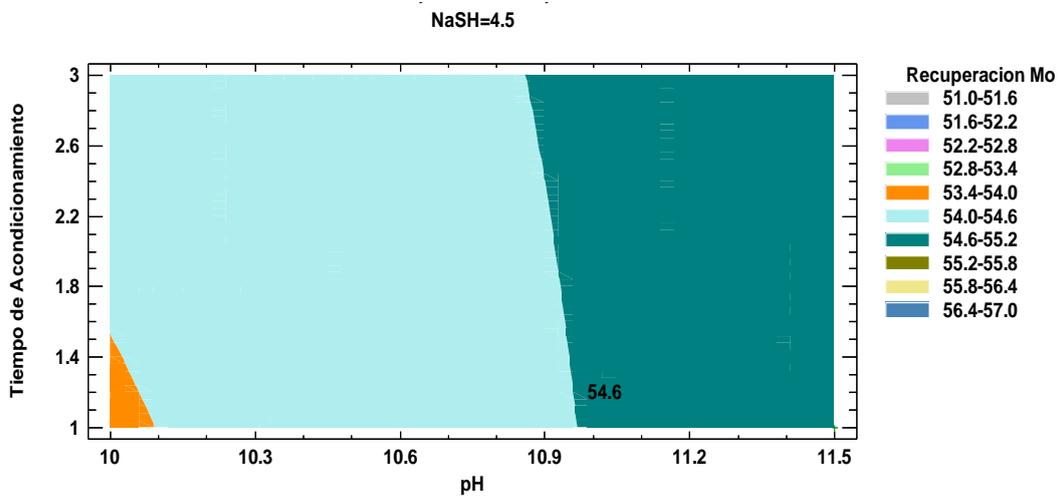


Gráfico 6. Contorno de superficie respuesta estimada NaSH
 En el gráfico 6, observamos que la recuperación máxima que se puede alcanzar se encuentra en la franja azul, siendo la recuperación del molibdeno entre 56,4 % a 57,0%

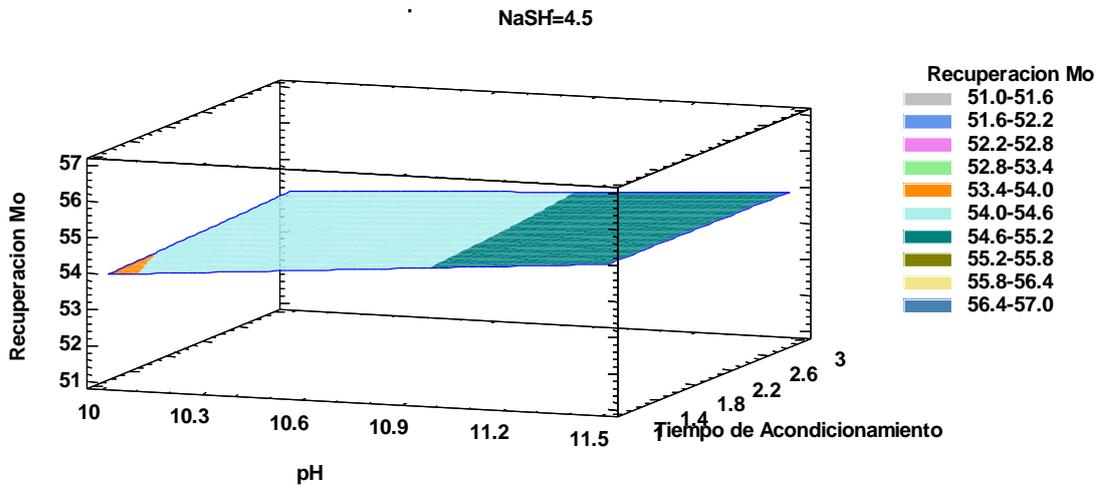


Gráfico 6. Superficie de superficie respuesta estimada NaSH

4.3 Prueba de hipótesis.

Para comprobar si el sulfhidrato de sodio tiene efecto en la calidad de concentrado de molibdeno nos planteamos la siguiente hipótesis.

4.3.1 Hipótesis de investigación

Hipótesis Nula (Ho)

El reactivo Sulfhidrato de sodio (NaHS) no tiene efecto en la flotación de Mo de la Cía. Minera Chinalco – Morococha, 2019

Hipótesis Alternativa (Ha)

El reactivo Sulfhidrato de sodio (NaHS) si tiene efecto en la flotación de Mo de la Cía. Minera Chinalco – Morococha, 2019

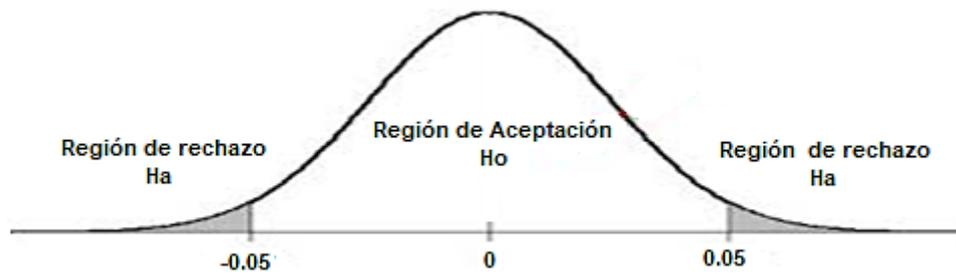
Valor crítico de contrastación

Nivel de confianza 95%

$\alpha = 0,05$

Elección del estadístico de prueba

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: pH	1,56645	1	1,56645	1,17	0,3577
B: Acondicionamiento	0,01805	1	0,01805	0,01	0,9147
C: NaSH	14,58	1	14,58	10,93	0,0455



Valor de decisión ($P > 0,05$, se acepta la H_0) ($P < 0,05$, se rechaza H_0)

Del análisis de variancia tenemos: **$P = 0,0455$**

$P = 0,0455 < \alpha = 0,05$

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna

Conclusión

Como el estadístico $P = 0,0455$ es menor que el valor crítico $\alpha = 0,05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Por lo que podemos afirmar categóricamente que adicionar el reactivo sulfhidrato de sodio en la flotación de molibdeno, si tiene mayor influencia en la recuperación del molibdeno actuando como un buen depresor del cobre, hierro, con un nivel de significancia del 0,05%

4.4 Discusión de resultados.

Como objetivo nos planteamos realizar la Evaluación del efecto del reactivo Sulfhidrato de sodio (NaHS) en la flotación de Mo de la Cía. Minera Chinalco - Morococha, 2019.

Realizada las pruebas experimentales se demostró que la dosificación del sulfhidrato de sodio (NaSH) si tiene influencia en la recuperación del concentrado

de Molibdeno, esto lo demostramos por el valor del P-value que tiene tendencia de acercarse mas a cero, siendo el valor de $P=0,0455$.

Las características del concentrado obtenido en la flotación primaria tienen las siguientes leyes:

Cu	Mo	Ag*	Fe	As	Zn
16,40	0,05	122,90	24,10	0,29	2,65

Como se observa la ley de concentrado de cobre es bajo con 16,40 % y la del molibdeno es de 0,05 % lo que necesita realizar la separación para mejorar estas leyes para su comercialización. Urrutia contreras, en su tesis realiza las pruebas metalúrgicas de flotación con concentrados de cobre- molibdeno con las siguientes leyes, donde la concentración varía desde 0,2 a 0,5 % de molibdenita, y se encuentra acompañada de otros metales útiles como cobre, pirita, plomo, estaño, tungsteno y otros; o desde pórfidos de cobre, los que junto con contenidos de cobre 0,3 a 2 %, contienen pequeñas cantidades de molibdenita que varía desde 0,01 % a no más de 0,1 %. Con estas leyes tiene concentrados de molibdeno con 0,46%, Cobre 20,43%, fierro 30,33 % y insolubles 11,40%.

Con respecto a la influencia del anamol-D y dosificación del NaCN en la separación de Cobre – Molibdeno se alcanza recuperaciones máximas de 52 % de Molibdeno. Urrutia contreras en sus pruebas el concentrado alcanza recuperaciones promedio de 56 % de molibdeno, como se observa la recuperación es más alta en comparación con lo alcanzado en el estudio, esto debido a que la ley de cabeza del mineral de Cu-Mo es 0,5 %.

En cuanto a la dosificación del sulfhidrato de sodio se mejora la recuperación de la ley del concentrado de molibdeno alcanzando hasta 56 %, como también se mejora la ley del concentrado de cobre alcanzando hasta 19%. Esto se logra con dosificaciones de 6 g/Ton, con pH trabajando con 11,5 y tiempo de Acondicionamiento de 1 min y esto a su vez va servir para la recuperación.

CONCLUSIONES

1. El concentrado colectivo de cobre-molibdeno tiene 16,40 % de cobre, 0,05 % de molibdeno, 122,90g/t de plata, 24,10 % de fierro, 0,29% de arsénico y 2,65 % de zinc, y el análisis granulométrico nos demuestra que el $d_{80}=85 \mu\text{m}$ del concentrado.
2. La dosificación del reactivo anamol -D y el NaCN en la flotación colectiva de cobre-molibdeno se logra recuperar el molibdeno en un 52 % con 16 g/T y con dosificaciones bajas de 8 g/T solo se recupera 47 %, esto debido a que el molibdeno se desplaza con el cobre.
3. Las pruebas realizadas controlando los factores como pH, tiempo de acondicionamiento y sulfhidrato de sodio (NaHS), manteniendo el aire constante en 10 lb/min se logra recuperar hasta 56% de molibdeno, trabajando con los valores optimos de 11,5 de pH, tiempo de acondicionamiento de 1 minuto y 6 g/T de NaSH.

RECOMENDACIONES

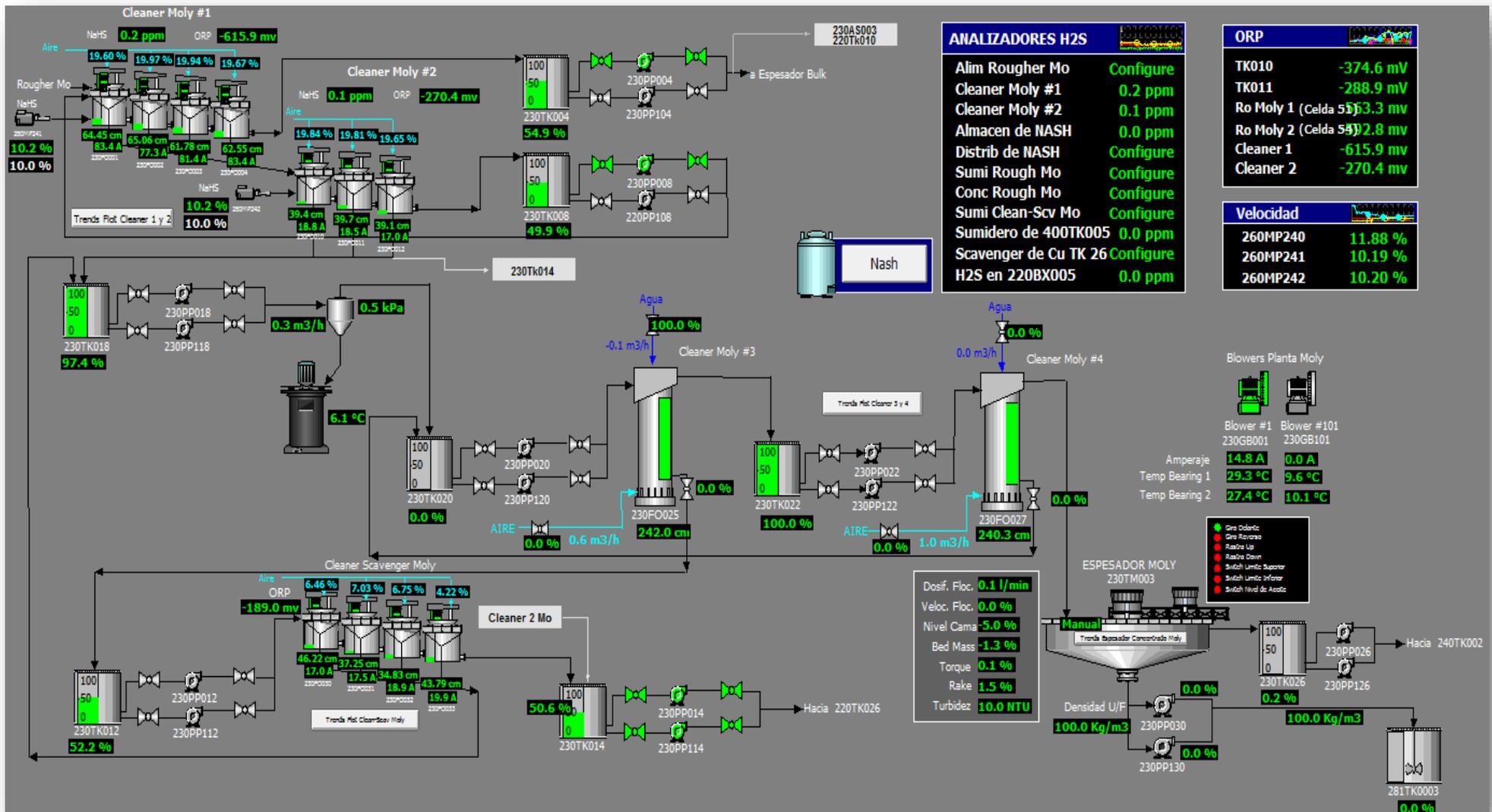
1. Realizar un estudio más detallado al concentrado colectivo Cu-Mo a aplicando la microscopia, para determinar como se encuentra los enlaces del concentrado y mejorar la liberación del mineral.
2. Se debe seguir realizando pruebas metalúrgicas para las separaciones Cu-Mo con diferentes reactivos para mejorar la recuperación del molibdeno y calidad del concentrado.
3. Continuar con el estudio relacionado a la flotación de Mo ya que con las nuevas tecnologías se puede remplazar el aire con el Nitrógeno ya que tiene mucha influencia y daría resultados óptimos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Yañez Silva, S. (2015). *Evaluación del proceso de flotación cobre molibdeno*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.
- 2) Zúñiga, J. S. (1982) “*Estudio del diagrama potencial-PH de sistemas: Molibdenita, H₂O, y Oxidantes*”, tesis de grado, Universidad de Santiago de Chile.
- 3) Sutulov, A.(1963) “*Flotación de minerales*”, Instituto de investigaciones tecnológicas, Concepción.
- 4) Química Amtex s.a.(2006), “*Presentación grupo Amtex*” Simposium: Avances en flotación de minerales polimetálicos, Lima –Perú.
- 5) Azañero Ortiz Ángel, (2010) “*Curso de concentración y flotación de minerales*”, ing. metalúrgica, unmsm, Lima-Perú.
- 6) Quiñones Lavado, Lourdes Janet, (2010), “*Mineralurgia mineral polimetálico sulfurado de Mo, Cu, y zn*” informe técnico
- 7) Martínez, N.(2007) “*Apunte de asignatura: Flotación de minerales*”, universidad Arturo Prat. Iquique.
- 8) Crozier, R.(1978) “*Reactivos de flotación aplicados a la recuperación de molibdenita con minerales de cobre Porfídicos*”, primer congreso de ingenieros del cobre. Chuquicamata, Chile.
- 9) Molibdeno.(2019) “[http://: www. molibdeno. elementos.org.es/molibdeno](http://www.molibdeno.elementos.org.es/molibdeno)”
- 10) Minerales de Molibdeno y Cu (2019) . “*Separación por flotación – Reactivos pág. 1 de 15*”. http://www.danafloat.com/es/mining_ores/lead_molibdeno.
- 11) Reactivos de flotación.(2019) Pág 2 -15.” http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5564/mod_resource/content/1/FLOTACION_REACTIVOS.pdf

ANEXOS

Diagrama de Flujo de la Planta MOLY - CHINALCO



Fotos de laboratorio



Muestra de mineral



Pesaje y molienda de muestra



Dosificación de reactivo y acondicionamiento



Flotación de molibdeno



Concentrado de molibdeno



Absorción Atómica

Balance Metalúrgico

Pruebas de flotación 1

PM-01	% Peso	Leyes (% g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100.00	16.40	0.05	122.9	24.1	0.29	2.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc. Mo	18.21	6.14	0.13	32.63	3.64	0.04	0.25	6.82	47.35	4.83	2.75	2.51	1.72
Relave Cu	81.79	18.68	0.03	143.00	28.66	0.35	3.18	93.18	52.65	95.17	97.25	97.49	98.28

Pruebas de flotación 2

PM-02	% Peso	Leyes (% g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100.00	16.40	0.05	122.90	24.10	0.29	2.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc. Mo	18.67	6.13	0.13	30.69	3.78	0.04	0.27	6.98	48.54	4.66	2.93	2.58	1.90
Relave Cu	81.33	18.76	0.03	144.07	28.76	0.35	3.20	93.02	51.46	95.34	97.07	97.42	98.10

Pruebas de flotación 3

PM-3	% Peso	Leyes (% g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100.00	16.40	0.05	122.90	24.10	0.29	2.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc. Mo	18.94	6.16	0.13	30.75	3.72	0.05	0.26	7.11	49.24	4.74	2.92	3.27	1.86
Relave Cu	81.06	18.79	0.03	144.43	28.86	0.35	3.21	92.89	50.76	95.26	97.08	96.73	98.14

Pruebas de flotación 4

PM-4	% Peso	Leyes (% g/t*)						Recuperación (%)					
		Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn
Cabeza Bulk	100.00	16.40	0.05	122.90	24.10	0.29	2.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc. Mo	17.43	6.10	0.15	31.45	3.69	0.03	0.26	6.48	52.29	4.46	2.67	1.80	1.71
Relave Cu	82.57	18.57	0.03	142.20	28.41	0.34	3.15	93.52	47.71	95.54	97.33	98.20	98.29

Hoja MSDS del NaHS

Hidrosulfuro de sodio

Hoja de Datos de Seguridad para Materiales MSDS :

(por sus siglas en inglés)

Producto Químico: Hidrosulfuro de sodio
NFPA: Salud = 2 Incendio = 1 Inestabilidad = 2 Especial = Ningún
HMIS: Salud = 2 Incendio = 1 Reactividad = 2 Protección Personal =
Equipo suministrado por el usuario; depende de condiciones

Número MSDS: Sodhydrosulfide-1003sp
Fecha de entrada en vigor: 31 de octubre de 2003
Emitida por: Solvay Chemicals, Inc. Regulatory Affairs Department

Esta MSDS estará vigente por el término de tres años contados a partir de la fecha de entrada en vigor o después de que se emita la MSDS que la sustituya, lo que ocurra antes. Otras versiones o traducciones de esta MSDS podrán estar disponibles. Visitar www.solvaychemicals.us o comunicarse con Solvay Chemicals, Inc. para obtener la última versión o disponibilidad de una traducción.

Las Hojas de Datos de Seguridad para Materiales (o MSDS) contienen información específica sobre la regulación de un país; por lo tanto, las Hojas de Datos de Seguridad para Materiales proporcionadas, son para uso exclusivo de los clientes de Solvay Chemicals, Inc. en Norteamérica. Si usted se encuentra en un país que no sea ni México, ni Canadá ni los Estados Unidos de América, favor de comunicarse con la compañía del Grupo Solvay en su país para obtener la información de las Hojas de Datos de Seguridad para Materiales aplicable en su país.

1. Identificación del Producto y de la Compañía

1.1 Nombre del producto: Hidrosulfuro de sodio (sólido 70-72%)

Nombre químico: Sulfuro de hidrógeno de sodio

Sinónimos: Sulfito de sodio

Fórmula química: NaHS \times H₂O

Peso molecular: 74

Número CAS: 16721-80-5

Número EINECS: 240-778-0

**Nombres comerciales/
Calidades:** Hidrosulfuro de sodio

1.2 Uso del producto: Tratamiento de cuero, fabricación de tintes y lubricantes, agentes de flotación, tintes, tratamiento de desagüe, acabado de metales, beneficiación mineral, farmacéuticos.

2. Composición/Información sobre Ingredientes

INGREDIENTES	FÓRMULA	PORCENTAJE POR PESO	NÚMERO CAS
Hidrosulfuro de sodio	NaHS • H ₂ O	66	16721-80-5
Agua	H ₂ O	27	7732-18-5
Sulfuro de sodio	Na ₂ S • 3H ₂ O	≤6	1313-82-2
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	1	0497-19-8

3. Identificación de Peligros

Información general sobre emergencias:

- Producto corrosivo.
- Producto peligroso para la salud humana y el ambiente acuático.
- El contacto con el producto provoca quemaduras dérmicas y oculares.
- El inhalar puede ser dañoso.
- El incendio puede producir gases venenosos y irritantes.
- El polvo puede formar una mezcla explosiva con el aire. Manténgase lejos de calor, chispas y llamas.

3.1 Vía de entrada: Inhalación: Sí Piel: Sí Ingestión: Sí

3.2 Efectos potenciales de la exposición:

- Puede ser fatal al ingerir o tragar.
- En las condiciones húmedas o ligeramente mojadas, el producto reaccionará con la humedad en el aire para producir el gas tóxico de sulfuro de hidrógeno.
- La exposición en exceso al gas de sulfuro de hidrógeno puede causar pérdida de memoria, parálisis, daños nerviosos o muerte.

Inhalación:

- Irritación del sistema respiratorio.
- El sulfuro de sodio y el sulfuro de hidrógeno paralizan el sentido del olfato.

Ojos:

- El producto puede causar daños severos a los ojos - CORROSIVO.
- El contacto prolongado puede causar lesiones oculares permanentes o ceguera.

Contacto con la piel: El producto puede causar daños cutáneos severos - CORROSIVO.

Ingestión:

- Puede ser fatal al tragar - CORROSIVO.
- Puede causar quemaduras en la boca y la garganta. Los síntomas incluyen vómitos, náuseas, diarrea, y dolor abdominal.

4. Medidas para Primeros Auxilios

Recomendaciones generales:

4.1 Inhalación:

- Lleve al paciente al aire fresco.
- Si el paciente ha dejado de respirar o tiene dificultad en respirar, administre respiración artificial y obtenga asistencia médica de inmediato.

Ojos :

- Enjuague los ojos de inmediato con agua corriente durante por lo menos 15 minutos.
- Consulte con un oftalmólogo en todos los casos.

Piel:

- Quite la ropa contaminada.
- Limpie el material de la piel.
- Enjuague el área afectada con grandes cantidades de agua durante por lo menos 15 minutos.
- Si persiste la irritación, obtenga asistencia médica.

Ingestión:

- NO INDUZCA AL VÓMITO.
- Consulte con un médico de inmediato.

Si la persona está completamente consciente: Enjuague la boca con agua fresca.

Si la persona está inconsciente:

- NUNCA ADMINISTRE NADA A UNA PERSONA INCONSCIENTE POR LA BOCA.
- Quite de la boca del paciente cualquier evidencia o residuos de la sustancia.

4.2 Tratamiento médico / Notas al doctor:

- En caso del dolor intenso, inyecte intramuscularmente un medicamento analgésico de tipo morfina antes de llevar al paciente al hospital.
- Véase las referencias médicas para antidotos aplicables.

5. Medidas para Combatir Incendios

5.1 **Punto de ignición:** No aplica.

5.2 **Temperatura de auto-ignición:** >90°C (194°F). El producto es pirofórico si la cristalización del agua es <25%.

5.3 **Limites de inflamabilidad:** No aplican.

5.4 **Peligros inusuales de fuego y explosión:** CUIDADO - Este producto puede inflamarse con espontaneidad si la cristalización del agua es <25%. El producto forma gases/vapores peligrosos durante la descomposición (920°C - 1688°F). Al contacto con agua o aire húmedo, el producto forma gas inflamable.

5.5 **Métodos comunes de extinción:** Inunde el área con polvo o espuma. No use ni bióxido de carbono ni agua porque se puede generar el gas tóxico, inflamable de sulfuro de hidrógeno.

Métodos incorrectos de extinción: No aplica.

5.6 Procedimientos contra incendios:

- Lleve puesto un traje protector completo, resistente al ácido que incluye un aparato respiratorio autónomo aprobado por NIOSH/MSHA.
- El agua que se usa para extinguir el fuego puede disolver el hidrosulfuro de sodio y ponerse muy corrosiva y tóxica.
- El polvo muy fino de hidrosulfuro de sodio forma mezclas explosivas/combustibles en el aire.

Peligros específicos: No aplica.

Medidas de protección en caso de intervención: No aplica.

Otras precauciones: No aplica.

6. Medidas En Caso De Fugas Accidentales

6.1 Precauciones:

- Evacue a todo el personal no esencial.
- Elimine toda fuente de ignición y no genere ni chispas ni llamas.
- Lleve puesto la ropa protectora adecuada que incluye un aparato respiratorio o respirador de aire suministrado.

6.2 Métodos de limpieza:

- Recoja el producto con las medidas apropiadas al evitar la formación del polvo.
- Contenga el derrame y coloque el producto derramado en un contenedor cerrado y etiquetado, y aprobado por DOT para los residuos.

6.3 Precauciones para la protección del medio ambiente:

- Elimine los residuos en un establecimiento aprobado por la Agencia de Protección del medio ambiente de los EE-UU (Environmental Protection Agency-EPA).
- Los contenedores vacíos pueden guardar residuos, gases y neblinas peligrosos.

7. Manejo y Almacenamiento

7.1 Manejo: Efectúe todas las operaciones en el equipo y los circuitos de la tubería cerrados.

7.2 Almacenamiento:

- Guarde el producto en un área fresca, seca y bien ventilada.
- Guarde lejos de otros productos químicos tales como los ácidos, los oxidantes, el zinc, el aluminio o el cobre.
- Efectos corrosivos para todo contenedor no hecho de hierro o acero.
- Guarde el producto lejos de toda fuente de ignición y fuera de la luz solar directa.
- Guarde el producto en contenedores cerrados, a prueba de polvo.

7.3 Usos específicos: Véase la sección 1.2.

7.4 Otras precauciones: Ninguna.

7.5 Empaque:

- Cilindros de hierro o acero.
- PE.

8. Controles de Exposición/Protección Personal

8.1 Límites de exposición:

Límites de exposición autorizados	TLV® ACGIH®-USA (2002)	OSHA PEL	NIOSH REL (1994)
Sulfuro de hidrógeno	10 ppm TLV 15 ppm - STEL 100 ppm - IDLH		
Bióxido de azufre	2 ppm - TLV 5 ppm - STEL 100 ppm - IDLH		

ACGIH® y TLV® son marcas registradas de la Conferencia Americana de la Industria Gubernamental de Higiene (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

TWA - Time-Weighted Average (Tiempo de peso promedio).

PEL - Permissible Exposure Limit (Límite de exposición permisible).

STEL - Short term exposure limit (Límite de exposición a corto plazo).

IDLH - Immediately Dangerous for Life and Health (Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud).

8.2 Controles de exposición:

8.2.1 Controles de exposición en el trabajo:

8.2.1.1 Ventilación: Proporcione una ventilación adecuada al manejar o transferir este producto.

8.2.1.2 Protección respiratoria:

- Utilice un respirador de presión positiva, resistente a polvo/neblinas, aprobado por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health - "NIOSH") según la concentración del polvo y la presencia de gas de sulfuro de hidrógeno.
- Un respirador de aire suministrado se recomienda en las concentraciones desconocidas de gas de sulfuro de hidrógeno.

8.2.1.3 Protección de las manos: Use guantes protectores resistentes a sustancias químicas (PVC, neopreno o caucho).

8.2.1.4 Protección de los ojos:

- Use gafas resistente a productos químicos, a menos de que se use también una careta completa.
- No se recomienda el uso de lentes de contacto al manejar este producto.

8.2.1.5 Protección de la piel: Lleve puesto botas, delantal, mangas largas y otra ropa protectora adaptada a las condiciones de trabajo para prevenir el contacto con la piel.

8.3 Otras precauciones:

- Lleve puesto la ropa protectora resistente a productos químicos en los lugares polvorientos.
- Una ducha de seguridad y una estación de lavajojos deben estar cercanas y listas para su utilización.
- Aplique prácticas de higiene estrictas cuando maneje este producto incluyendo el cambiarse la ropa de trabajo al finalizar la jornada.
- No coma, beba o fume en áreas donde se maneje este material.

8.4 Otra información: Ninguna.

9. Propiedades Físicas y Químicas

9.1 Aspecto: Hojuelas higroscópicas sólidas.

Color: Amarillo.

Olor: Sulfuroso.

9.2 Información importante de la Salud, de la Seguridad y del Medio Ambiente :

pH: 11,9 @ 10 g/l @ 20°C (68°F).

Cambio de estado:

Punto de fusión: 35-55°C (95-131°F).

Punto de ebullición: 115°C (239°F).

Temperatura de descomposición: >90°C (194°F). El producto es pirofórico si la cristalización del agua es <25%.

Punto de ignición: No aplica.

Inflamabilidad (sólido, gas): No aplica.

Propiedades explosivas: No aplica.

Propiedades de oxidación: Efectos corrosivos del producto para contenedores no hechos de hierro o acero.

Presión de vapor: No aplica.

Densidad relativa: Gravedad específica (H₂O=1): 1,5 @ 16°C (60,8°F).

Solubilidad:

Agua: 500-600 g/l @ 20°C (68°F) (hidrólisis lenta).

Grasa: No aplica.

Coefficiente de repartición: No hay datos.

P (n-octanol/agua)

Viscosidad: No aplica.

Densidad de vapor (aire =1): No aplica.

Tasa de evaporación: No aplica.

9.3 Otra información:

Densidad aparente: 750 kg/m³ (46 libras por pie cúbico).

10. Estabilidad y Reactividad

Estabilidad:

- A pesar de que sea estable a la temperatura ambiente, el hidrosulfuro de sodio es inestable y puede estallar al calentar rápidamente o con percusión.
- Este material es higroscópico.

10.1 Condiciones que se deben evitar:

- Evite el contacto del producto con calor, humedad y fuentes de ignición.
- Efectos corrosivos para contenedores no hechos de hierro o acero.

10.2 Materiales y sustancias que se deben evitar: Evite el contacto con agua, ácidos, bióxido de carbono, materiales oxidantes, y metales no férricos (aluminio, cobre, zinc).

10.3 Productos de descomposición peligrosa: Gas de sulfuro de hidrógeno (con ácidos) y gas de bióxido de azufre (con oxidantes).

10.4 Polimerización peligrosa: No ocurrirá.

10.5 Otra información: Ninguna.

11. Información Toxicológica

11.1 Toxicidad Aguda:

Inhalación: LC₅₀, ratón = 1500 mg/m³ (para una duración de 18 minutos).

Oral: LD₅₀, rata, 96-208 mg/kg.

Irritación: Conejo, corrosivo (ojos y piel).

Sensibilización:

- El contacto directo con sulfuro de sodio es irritante para la piel y otros tejidos.
- El contacto con los ojos puede provocar conjuntivitis dolorosa, efectos de aureola colorada para la visión, y espasmos de párpados.

11.2 Toxicidad crónica: En vitro, efecto mutagénico.

11.3 Designación como carcinógeno: Ninguna.

12. Información Ecológica

12.1 Ecotoxicidad aguda:

- Peces, *Semolitus atromaculatus*, LC₅₀, 24 horas, desde 4 hasta 10 mg/l.
- Peces, *Gambusia affinis*, LOEC, 96 horas, 206 mg/l.

12.2 Ecotoxicidad crónica: Peces, salmón, LOEC, mortalidad, 2,5 mg/l.

12.3 Movilidad:

- Aire: movilidad bajo forma de aerosoles sólidos.
- Agua/suelo: solubilidad y movilidad significantes.

12.4 Degradación:

Abiótica:

- Aire, foto-oxidación indirecta, degradación desde 0,62%, una hora.
Condiciones: Sensibilizador: radical OH/O₃. Productos de degradación: bióxido de azufre/sulfatos/sulfitos (gas de sulfuro de hidrógeno).
- Agua/suelo: complexación/precipitación de materiales inorgánicos y orgánicos.
- Agua/suelo - oxidación: productos de degradación: sulfatos.

Biótica:

- No aplica (compuesto inorgánico).
- Anaeróbica, prueba: biodegradación por sulfo-reducción.
Productos de degradación: sulfuro de hidrógeno (sulfatos).
- Anaeróbica - prueba de metano-génesis: acción inhibidora (sulfatos).

12.5 Potencial de bioacumulación: Bio-concentración: log Po/a. No aplica (compuesto inorgánico).

12.6 Otros efectos adversos /Comentarios: Muy tóxico para los organismos acuáticos. El comportamiento del producto depende estrechamente de las condiciones del medio ambiente: pH, temperatura, potencial de oxidorreducción, y composición mineral y orgánica del medio.

13. Consideraciones para la Eliminación

13.1 Tratamiento de desechos:

- El sulfuro de hidrógeno de sodio se considera peligroso para el medio ambiente.
- El producto derramado debe eliminarse en una instalación aprobado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente en los EE-UU (Environmental Protection Agency - EPA) conforme a los reglamentos federales, estatales y locales vigentes.

13.2 Tratamiento de empaque:

- Para evitar el tratamiento, use recipientes reservados al producto.
- Enjuague los contenedores vacíos y trate el efluente tal como los residuos.

13.3 Número de Desecho RCRA: Registrado como residuo peligroso (D003 por 40 CFR 261.22).

14. Información sobre Transporte

Modo	DOT	IMDG	IATA
Número ONU	UN 2949	UN 2949	UN 2949
Clase (Subsidiaria)	8	8	8
Nombre correcto de embarque	Hidrosulfuro de sodio	Hidrosulfuro de sodio	Hidrosulfuro de sodio
Etiqueta de peligro(Subsidiaria)	Corrosivo	Corrosivo	Corrosivo
Contaminador Acuático	No	No	No
Letrero [Subsidiario]	2949	2949	2949
Grupo de empaque	II	II	II
Cantidad reportable	5.000	5.000	5.000
MFAG			
Información de emergencia	ERG: 154	EmS: 8-05	Código ERG: 8L
STCC #	4935669		
Otro			

Sección 13: CONSIDERACIONES DE EVACUACIÓN

Si se libera al ambiente por otro propósito diferente a su intención, este producto contiene algunos sulfuros reactivos pero no la suficiente cantidad para reunir la definición de un D003, desperdicio riesgoso.

ROMBO DE LA NFPA 704 – HIDROSULFURO DE SODIO.

Etiqueta de Modelo ROMBO-704

NFPA: National Fire Protection Association
(Asociación Nacional de Protección contra Incendio)

