

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en reemplazo del
bicromato de sodio en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa
Minera Pan American Silver – Unidad Huaron**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Jean Carlos ARMAS HIDALGO

Bach. Kennit Brayan PALACIN CHAVEZ

Asesor:

Mg. Uldarico USURIAGA LÓPEZ

Cerro de Pasco - Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en reemplazo del
bicromato de sodio en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa
Minera Pan American Silver – Unidad Huaron**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
PRESIDENTE

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO

Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 263-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en reemplazo del
bicromato de sodio en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa
Minera Pan American Silver – Unidad Huaron**

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. Jean Carlos ARMAS HIDALGO

Bach. Kennit Brayán PALACIN CHAVEZ

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Uldarico USURIAGA LÓPEZ

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

7 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 02 de mayo de 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
SIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.05.2025 11:50:37 -05:00

DEDICATORIA

A nuestros padres por su apoyo inagotable en todo momento que hizo posible la culminación de nuestra profesión y una infinita gratitud a Dios por estar presente en nuestros corazones.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a mi tutor por su dedicación y paciencia. Sin sus consejos y correcciones precisas, no habría logrado alcanzar este meta deseado.

Quiero también expresar mi profunda gratitud a los docentes de la Universidad Daniel Alcides Carrión por sus valiosas enseñanzas, orientaciones y consejos. Gracias a ellos, no solo pudo convertirme en un profesional competente, sino que también creció como persona.

Aprecio su constante guía y los consejos que siempre llevará conmigo a lo largo de mi carrera profesional.

RESUMEN

La tesis aborda el estudio de la evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en reemplazo del bicromato de sodio en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón. El principal problema investigado es reemplazar al reactivo bicromato de sodio por el metabisulfito de sodio, que es un reactivo menos contaminante, sin afectar la calidad de los concentrados en la separación cobre/plomo.

El objetivo general fue realizar pruebas de flotación batch de separación cobre/plomo utilizando el metabisulfito de sodio y mejorar la calidad del concentrado de cobre y plomo y por ende las recuperaciones.

En el estudio se aplicó el diseño experimental a nivel batch, que consiste en realizar una serie de pruebas de flotación. La muestra consistió en 30 K de mineral, que se determinó por el método de Pierre Gy, la técnica utilizada para la obtención de datos fue la observación que se aplicó durante la flotación batch y reporte de ensayos de laboratorio.

Las pruebas se iniciaron a partir del concentrado bulk que encuentra liberada a 55 % malla -200, el concentrado bulk tiene 13,68% de cobre y 45,27% de plomo.

La prueba con metabisulfito, consistió en preparar el reactivo al 2% (mezcla de metabisulfito=60%, fosfato monosódico=20% y carboximetilcelulosa= 20%), dosificando el reactivo en un rango de 76 g/Tn a 80 g/Tn, se controló la alcalinidad de la pulpa en un rango de 8 a 8,5. Los resultados de separación mejoró en la cuarta prueba, donde se dosificó 80 g/Tn de metabisulfito de sodio, a un pH de 8,5, se obtuvo una calidad de concentrado de cobre de 29,19% con un contenido de plata de 5032,40 g/Tn de plata. El concentrado de plomo tiene una calidad de 61,13%, con un contenido de plata de 2406,22 g/Tn de plata y la recuperación de 86,23%.

Palabras clave: Separación Cu/Pb, flotación batch, metabisulfito

ABSTRACT

The thesis addresses the study of the metallurgical evaluation of sodium metabisulfite as a replacement for sodium bichromate in Cu/Pb separation flotation at the Pan American Silver Mining Company – Huaron Unit. The main problem investigated is to replace the sodium bichromate reagent with sodium metabisulfite, which is a less polluting reagent, without affecting the quality of the concentrates in the copper/lead separation.

The general objective was to perform batch flotation tests for copper/lead separation using sodium metabisulfite and improve the quality of the copper and lead concentrate and therefore the recoveries.

In the study, the experimental design was applied at a batch level, which consists of carrying out a series of flotation tests. The sample consisted of 30 K of mineral, which was determined by the Pierre Gy method, the technique used to obtain data was the observation that was applied during the batch flotation and reporting of laboratory tests.

The tests began from the bulk concentrate that found released at 55% -200 mesh, the bulk concentrate has 13,68% copper and 45,27% lead.

The test with metabisulfite consisted of preparing the reagent at 2% (mixture of metabisulfite = 60%, monosodium phosphate = 20% and carboxymethylcellulose = 20%), dosing the reagent in a range of 76 g/Tn to 80 g/Tn, The alkalinity of the pulp was controlled in a range of 8 to 8.5. The separation results improved in the fourth test, where 80 g/Tn of sodium metabisulfite was dosed, at a pH of 8.5, a copper concentrate quality of 29,19% was obtained with a silver content of 5032,40. g/Tn of silver. The lead concentrate has a quality of 61,13%, with a silver content of 2406,22 g/Tn of silver and recovery of 86,23%.

Keywords: Cu/Pb separation, batch flotation, metabisulfite

INTRODUCCIÓN

Pan American Silver Unidad Huarón es una empresa que se dedica a la explotación de minerales polimetálicos y a la comercialización de concentrados de minerales y se encuentra ubicado en el distrito de Huayllay, en la Región de cerro de Pasco.

Los minerales provenientes de diferentes niveles de la mina subterránea son tratados en la planta concentradora, donde se recupera cobre, plomo y zinc por flotación convencional. La separación de cobre-plomo se viene realizando con bicromato de sodio, primero se deprime el plomo y se flota el cobre, donde las recuperaciones se encuentran en 64,92% para el cobre y 78,10% para el plomo, siendo la calidad de sus concentrados, 24,45% de cobre y 57,45% de plomo. Al utilizar el bisulfito de sodio se tiene una bondad económica del 74,01% que es equivalente a un ahorro de \$ 719,16 que va en beneficio de la empresa, motivo por la cual, es factible realizar el remplazo del bicromato de sodio por el metabisulfito de sodio, debido que no afecta la calidad de los concentrados y las recuperaciones.

El problema en la flotación de separación cobre/plomo es la utilización del bicromato de sodio que es un reactivo contaminante y peligroso, que pone en riesgo la salud de los operadores, motivo por la cual se pretende remplazar con el metabisulfito de sodio sin alterar la calidad y la recuperación de cobre y plomo. Como es sabido el bicromato de sodio tiene uno de sus elementos el cromo, este elemento es irritante a la nariz, a la piel, a la garganta y al pulmón que inclusive puede generar cáncer. Razón fundamental para remplazarlo con el metabisulfito de sodio, que es un reactivo menos contaminante que no pone en riesgo la salud del operador.

La tesis se estructuro de acuerdo al protocolo presentado por la universidad, que a continuación se presenta.

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, el problema general, así mismo presentamos los problemas específicos, objetivo general, y objetivos específicos, justificación de la investigación y limitaciones de la investigación.

En el capítulo II, se presenta los antecedentes del estudio, el marco teórico del estudio que se estructuró en base a las variables en estudio, definición de términos, hipótesis general e hipótesis específico, la operacionalización de variables en función al estudio propuesto.

En el capítulo III, se presenta el marco metodológico de cómo se elaboró el estudio, en la que consta el tipo de investigación, método de investigación, diseño de investigación, población, muestra, técnica e instrumento de recolección de datos, técnica de procesamiento y análisis de datos y tratamiento estadístico.

En el capítulo IV, se presenta la discusión de resultados, y se presentan los estudios de campo preliminares antes de las pruebas metalúrgica, también se presenta los estudios de la caracterización mineralógica, prueba de molienda y pruebas de dosificación de depresores con bicromato de sodio y metabisulfito de sodio.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del problema	2
1.3.1.	Problema general	2
1.3.2.	Problemas específicos.....	2
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
1.5.	Justificación de la investigación	3
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	17
2.4.	Formulación de hipótesis	18
2.4.1.	Hipótesis general.....	18
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	18
2.5.	Identificación de variables	18
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	19

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	20
3.2.	Nivel de investigación	20
3.3.	Métodos de investigación	20
3.4.	Diseño de investigación	21
3.5.	Población y muestra.....	22
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	25
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	25
3.9.	Tratamiento estadístico	25
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	26

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	27
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	32
4.3.	Prueba de hipótesis	47
4.4.	Discusión de resultados	49

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Equipo de Difracción de rayos X.....	11
Figura 2 Malla de liberación	12
Figura 3 Diagrama de flujo para realizar las pruebas experimentales	22
Figura 4 Moliendabilidad	32
Figura 5 Cinética de flotación	34
Figura 6 Diagrama de flujo de la separación Cu-Pb	35
Figura 7 Concentrado COBRE malla +400 (Bicromato)	37
Figura 8 Concentrado plomo malla +400 (Bicromato)	38
Figura 9 Diagrama de flujo de la separación Cu-Pb con metabisulfito.....	38
Figura 10 Preparación del metabisulfito	39
Figura 11 Concentrado COBRE malla +400 (Metabisulfito)	45
Figura 12 Concentrado Plomo malla +400 (Metabisulfito)	46
Figura 13 Concentrado Plomo malla +400 (Metabisulfito)	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ensaye químico	28
Tabla 2 Gravedad específica de muestra	29
Tabla 3 Cuadro de dureza para minerales	30
Tabla 4 Prueba de moliendabilidad	31
Tabla 5 Dosificación de reactivos	33
Tabla 6 Cinética de flotación bulk.....	34
Tabla 7 Ensaye de concentrado bulk	35
Tabla 8 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb	36
Tabla 9 Separación bulk Cu/Pb	39
Tabla 10 Puntos de dosificación de reactivos.....	40
Tabla 11 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb	40
Tabla 12 Puntos de dosificación de reactivos.....	41
Tabla 13 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb	42
Tabla 14 Puntos de dosificación de reactivos.....	43
Tabla 15 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb	43
Tabla 16 Puntos de dosificación de reactivos.....	44
Tabla 17 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb	45

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La flotación de minerales polimetálicos sulfurados ha permitido la explotación de yacimientos complejos y de bajo contenido. El proceso de flotación se basa fundamentalmente en las propiedades físico químicas de los minerales, en la que se adicionan reactivos como: colectores, espumantes y modificadores de pH para modificar las condiciones de separación.

La flotación de minerales complejos como Cu-Pb y Zn consiste en producir un concentrado bulk de cobre y plomo y seguido de una adecuada separación de estos concentrados. Los minerales de zinc y hierro se deprimen en el circuito bulk. Y los minerales de zinc se recobran después de la activación con sulfato de cobre en el circuito de zinc.

El problema que tenemos en la planta concentradora es el uso del dicromato de sodio en la separación de cobre/plomo, que pone en riesgo la salud de los operadores en la etapa de flotación selectiva. Como se sabe la sola inhalación del dicromato de sodio puede irritar la nariz, la garganta y el pulmón,

además, puede causar alergia a la piel y alergia del tipo asmático (departamento de salud). Además, este reactivo genera impactos ambientales del medio ambiente.

Ante este problema lo que se busca en la empresa es, reemplazar el dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) por el metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) en la etapa de separación Cu/Pb sin afectar la performance metalúrgica del cobre/plomo sin la necesidad de incrementar su consumo.

1.2. Delimitación de la investigación

El desarrollo de la investigación se realizó en la Empresa Minera Pan American Silver, específicamente en el laboratorio metalúrgico. La Unidad Minera se encuentra ubicado en Huayllay en la Región de Pasco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo la evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en reemplazo del bicromato de sodio influye en la flotación de separación de Cu/Pb en la Empresa Minera Pan America Silver – Unidad Huaron?

1.3.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cómo la caracterización física y química de la muestra de mineral influye en la separación de cobre-plomo de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron?
- ✓ ¿Cómo las pruebas metalúrgicas de flotación estándar y separación con bicromato de sodio influyen en la separación de cobre - plomo en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron?

- ✓ ¿Cómo las pruebas metalúrgicas de separación con metabisulfito de sodio influyen en la calidad del concentrado de cobre-plomo de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huarón?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en reemplazo del bicromato de sodio que influye en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar la caracterización física y química de la muestra de mineral que influye en la separación de cobre-plomo de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón
- ✓ Realizar la flotación estándar de flotación bulk y separación con bicromato de sodio que influyen en la separación de cobre -plomo de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón
- ✓ Determinar el comportamiento metalúrgico de la flotación con metabisulfito de sodio en la separación de cobre-plomo de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huarón

1.5. Justificación de la investigación

Justificación social

El reemplazo del bicromato de sodio por el metabisulfito de sodio en las operaciones metalúrgicas de la empresa beneficia a los trabajadores debido a que a que no van correr riesgo de adquirir el cáncer que afecta la calidad de vida de los trabajadores.

Justificación ambiental

La investigación es importante porque busca reemplazar un reactivo tóxico y cancerígeno (bicromato de sodio) por una alternativa más sostenible y ambiental por el metabisulfito de sodio en el proceso industrial de gran impacto ambiental. La reducción de la generación de residuos tóxicos y peligrosos contribuirá a la protección del medio ambiente y la salud de los seres humanos.

Justificación económica

La evaluación de la viabilidad económica del uso de metabisulfito de sodio como depresor del plomo en la flotación de minerales de Cu-Pb permitirá a la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huaron tomar decisiones informadas sobre la adopción de esta tecnología, considerando tanto los beneficios ambientales como los costos económicos, es así que, por el tratamiento de 2700 TMPD de mineral se tiene 87,49 TM de concentrado bulk.

Que al utilizar el metabisulfito de sodio en reemplazo del bicromato de sodio tenemos una **bondad económica de 74,01% en la separación de Cu/Pb**, generando un ahorro económico de \$ 719,58. A continuación, presentamos los costos por consumo de los reactivos utilizado en las pruebas experimentales que es de 80 g/TM.

Costo de tratamiento con NaCr_2O_7	\$ 972,27/día
Costo de tratamiento con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	<u>\$ 207,69/día</u>
Ahorro Total	\$ 719,58 (74,01%)

La empresa ahorra \$ 719,58 dólares/día utilizando el metabisulfito de sodio debido a que es más económico que el bicromato de sodio.

1.6. Limitaciones de la investigación

No se cuenta con bibliografía actualizada para el fundamento teórico que amplía el conocimiento del estudio, mayormente se cuenta con bibliografías pasadas.

El tratamiento del mineral proviene de un tajo determinado, por lo que se realiza el blending de la ley de cabeza para el procesamiento de mineral.

Se tiene limitaciones de tiempo y recursos que afecta la cantidad de pruebas a realizar, como la extensión de análisis de datos.

La investigación está limitada también por la disponibilidad de recursos financieros para llevar a cabo la mayor cantidad de pruebas, esto incluye el costo de reactivos como: metabisulfito de sodio, NaCN, cal, Espumantes, colectores, etc, que solo se obtiene en grandes cantidades y no en gramos, la disponibilidad de equipo de flotación y análisis de muestras por elementos que tiene un costo de 20 dólares por elementos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedente Internacional

Ahmed Khoso et. al (2019), realizaron el **estudio mecanismo de adsorción y depresión de un reactivo amigable con el medio ambiente en flotación diferencial de sulfuros de Cu-Fe**. El estudio proporciona un reactivo nuevo, ecológico, biodegradable y rentable, almidón de tricarboxilato de sodio (TSCC), en sistemas de flotación de calcopirita y pirrotita. El estudio lo realizó a nivel de laboratorio aplicando el TCSS en minerales, realizando mediciones de laboratorio, experimentos de micro flotación, análisis espectral XPS, análisis espectral IR, análisis de cantidad de adsorción y mediciones de potencial zeta.

La adición de TCSS evidenció un comportamiento depresivo mejor hacia la pirrotita que hacia la calcopirita en un amplio rango de pH. Las pruebas de flotación de minerales indicaron que podría ser posible una separación efectiva entre los dos minerales a una baja concentración de TCSS, en la que logra una recuperación mejorada y una ley de calcopirita del 75%. El reactivo TCSS tiene una afinidad

significativa mayor hacia la pirrotita, esto puede ser a la presencia de una gran cantidad de especies de hidroxilo metálico en la superficie.

Hongxiang XU et. Al (2024), realizaron el **estudio de Avances en la investigación sobre el efecto de los iones inevitables en la suspensión en la separación de minerales de sulfuro de plomo y zinc**. El problema que tiene es la suspensión de iones inevitables, que tiene influencia importante en la separación por flotación del mineral de sulfuro de plomo y zinc. Los iones provienen del agua utilizada en la planta de procesamiento, la disolución de minerales, la disolución de activadores o depresores, y los iones primarios introducidos por la liberación de inclusiones fluidas, así como los iones secundarios introducidos durante la molienda. Se evidencia que los iones primarios como los iones secundarios tienen efecto en el comportamiento de flotación del mineral de sulfuro de plomo y zinc.

Se logró un gran avance mediante el ajuste y control de reactivos y los cambios en el entorno de molienda, se redujo una parte de los iones inevitables de la fuente sin afectar la economía industrial. La investigación futura sigue siendo cómo reducir la influencia de los iones inevitables en el índice de flotación del proceso de campo.

Antecedente Nacional

Azañero Ortiz, y otros (2010) realiza el **estudio de la flotación diferencial de minerales sulfurados de Cu, Pb y Zn**. Teniendo como objetivo el estudio de minerales dóciles y complejos que presentan una flotación complicada. Ejecuta la flotación de cobre, plomo, utilizando Xantatos y ditionofosfatos como colectores y la depresión de la pirita lo realiza utilizando cianuro de sodio, cal y sulfato de zinc. La separación de cobre y plomo lo realiza

en primer lugar con cianuro de sodio deprimiendo el cobre y la segunda prueba lo realiza utilizando una combinación de bicromato de sodio. Además, realiza estudio a la muestra mineral por el método de reflexión de luz polarizada difracción, en la que prepara sección pulida y realiza la caracterización y el análisis modal. En la metodología realiza la selección del diagrama de flujo y uso de reactivos químicos de mayor selectividad. Llega a las siguientes conclusiones:

- En la separación cobre plomo, se adapta el método de depresión del plomo, utilizando el reactivo oxidante dicromato de sodio, también se puede utilizar el dicromato de potasio.
- El dicromato de sodio es un reactivo no amigable con el medio ambiente, por lo que recomienda utilizar el carboximetil celulosa para disminuir el daño ambiental o en caso contrario utilizar extractos de madera como el quebracho o taninos con la finalidad de bajar el consumo de este reactivo.
- La flotación diferencial se aplica a minerales sulfurados, pero hay materiales complejos que tienen una variedad de sulfuros y no responden al proceso por varios factores, por el entrelazamiento de minerales.

Canchanya Ramos & Yance Ambrosio (2019) realizó el **estudio que tiene como finalidad de buscar el método de separación Cu/Pb mediante flotación.**

El mineral de tratamiento tiene una ley de cabeza 0,30% Cu, 3,46% Pb, 5,43% Zn, 2,17 g/t de Ag y 0,81 g/t de Au. El mineral predominante son calcopirita, galena, marmatita como menas y pirita y silicatos como ganga. La molienda es gruesa a 53% - malla 200. Realiza pruebas de flotación deprimiendo el plomo con dicromato de sodio y bisulfito de sodio, seleccionando el bisulfito de sodio en

combinación con el CMC y carbón activado mejorando la separación Cu/Pb, por ser un reactivo amigable con el medio ambiente.

Llega a las siguientes conclusiones:

- El depresor de la galena es el bicromato y el bisulfito de sodio, siendo el bisulfito una buena eficiencia de separación de cobre y plomo.
- La eficiencia de separación con el bicromato de sodio es de 96,5% y con el bisulfito de sodio es de 97,5% teniendo una calidad de concentrado de cobre 23,69%, concentrado de plomo 66,53%.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Cobre/plomo

Simsa (s.f.) menciona, el plomo es un metal pesado de color verde azulado que, al oxidarse, adquiere un tono gris mate. Es flexible, de fusión fácil y resistente al ácido clorhídrico y sulfúrico. Su resistencia a la corrosión lo hace útil en la construcción e industria química, formando un revestimiento protector contra los ácidos. Se emplea en la fabricación de baterías, pigmentos, aleaciones, cerámicas, plásticos, municiones, soldaduras, cables, plomadas y armas. También se usa en equipos para producir ácido sulfúrico, refinar petróleo y procesos de halogenación.

Según Atlantic (2016). El cobre en la naturaleza, está presente en numerosos minerales, con un porcentaje que varía de 0,3% a 10% aproximadamente. Una vez extraído de los yacimientos, se aplican diversas técnicas en las instalaciones mineras con las que se aumenta la concentración del cobre hasta un 20-35%. Además de cobre, el concentrado contiene otros metales valorizables como oro, plata, platino, paladio, níquel, selenio y telurio.

2.2.2. Sulfuros

Scribd (2015). Los sulfuros son combinaciones de diversos minerales con azufre. En términos químicos, un sulfuro es el resultado de la unión del azufre con un elemento químico o un radical. Algunos compuestos covalentes que contienen azufre, como el disulfuro de carbono y el sulfuro de hidrogeno, también se consideran sulfuros. Estos minerales sulfurados, tanto primarios como secundarios, suelen encontrarse en yacimientos del tipo “porfídico”. Algunos ejemplos de minerales sulfurados incluyen la pirita (primaria), la covelina (secundaria), la bornita (secundaria) y la calcosina (secundaria). Aunque la mayoría de estos compuestos tienen un enlace covalente, muchos de ellos exhiben un carácter metálico marcado, llegando a ser casi aleaciones. También existe sulfuros más simples que presentan un carácter iónico. Estos minerales se encuentran principalmente en yacimientos de origen hidrotermal, pero también se forman en rocas sedimentarias y en formaciones carboníferas, como las piritas y las marcasitas.

2.2.3. Caracterización del mineral

Vera et al. (2020) mencionan que, conocer las propiedades físicas y químicas de los minerales es fundamental para entender su origen y sus aplicaciones tecnológicas. Se emplean técnicas avanzadas de caracterización como la difracción de rayos X, la fluorescencia de rayos X, la microscopía electrónica de barrido, la espectrofotometría de absorción atómica y análisis térmico. También se realiza determinaciones analíticas como volumetría, gravimetría y espectrofotometría UV-visible. Se utilizan técnicas preliminares como la inspección visual y reconocimiento de características táctiles para comprender el comportamiento mineral, su morfología, relaciones entre

elementos y especies mineralógicas, así como su respuesta a altas temperaturas, transformaciones y degradación. Estos datos permiten desarrollar metodologías experimentales para explorar el posible uso alternativo de cada mineral.

Figura 1 *Equipo de Difracción de rayos X*

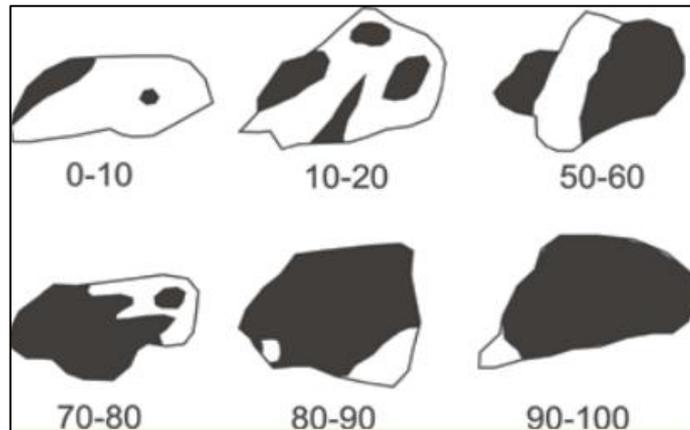


Nota. Imagen tomada de universidad tecnológica de Colombia

A continuación, se mencionan algunas de estas posibilidades de información:

- Relación de especies minerales, características texturales entre ellas, y leyes (Figuras 1 y 2).
- Relaciones entre minerales de mena y ganga.
- Concentración de elementos deseables o indeseables durante un proceso.
- Dureza del material (facilidad de molienda).
- Conocimiento de la mejor malla de liberación de las partículas minerales (Figura 2).
- Recuperación metalúrgica.
- Características de productos de desecho (terreros y jales de plantas de beneficio, escorias y polvos de fundiciones).
- Relaciones de la mena con el consumo de reactivos.

Figura 2 Malla de liberación



Nota. Imagen tomada del informe del Dr. Canepa.

Según Melgarejo, Proenza, Galí, & Llovet (2010) menciona, la caracterización del mineral consiste en el estudio de las asociaciones de minerales mediante técnicas cuantitativas y aporta valorizaciones de depósitos de minerales, desde la fase de exploración al de estudio de viabilidad del depósito. No obstante, como norma general para la identificación de minerales en concentrados de batea puede ser útil la microscopía electrónica de barrido, especialmente en el modo de electrones retro dispersados y acompañada de microanálisis por dispersión de energías. Las técnicas analíticas más utilizadas en la caracterización mineral y explotación minera.

El primer grupo incluye técnicas convencionales:

- Difracción de rayos X y difracción cuantitativa de rayos X.
- Difracción cuantitativa de rayos X
- Microscopio electrónico de barrido con analizador de energías (SEM-EDS).

El segundo grupo abarca técnicas menos accesibles y muchas más caras técnicas no convencionales.

- Emisión de rayos X inducida por partículas (Micro-PIXE)

- Espectrometría de masas de iones secundarios (SIMS)
- Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente por ablación por láser (LA-ICP-MS).

2.2.4. Molienda

La molienda es un proceso de reducción de tamaño del mineral hasta alcanzar la granulometría de liberación deseada, para ello utiliza bolas que generan el impacto de choque, aplastamiento o desgaste (Procesamineral, 2012, p.1).

Durante la molienda, los minerales valiosos se liberan completamente y quedan listo para ser separados de los minerales acompañantes por el proceso de flotación.

Por lo general, la molienda sigue una etapa de trituración, por lo que la granulometría de los minerales que ingresan a esta etapa es bastante uniforme. Los tamaños pueden variar desde F_{80} de 20000μ hasta 5000μ , produciendo un producto con tamaño de partícula P_{80} que normalmente varía entre 200 mallas por pulgada (74μ) y 100 mallas (147μ) (Procesamineral, 2012, p.1).

2.2.5. Reactivos de flotación

Son sustancias químicas que se utilizan en el proceso de flotación de los minerales para separarlos de otros minerales. Al respecto Azañero (2015) menciona, los reactivos son el componente y la variable más importante, debido a que las especies con flotabilidad natural son pocas (talco, azufre, molibdenita, material carbonos etc.) y su importancia comercial, por lo que se manifiesta que la flotación industrial moderna no se podría realizar sin los reactivos.

Clasificación de los reactivos de flotación

Colectores

Tiene como finalidad dar propiedades hidrofóbicas a la superficie del mineral.

Espumantes

Permite la formación de espumas estables, con un tamaño de burbuja apropiado para transportar el mineral valioso al concentrado.

Modificadores

Crea condiciones favorables de la superficie de los minerales, para el funcionamiento selectivos de los colectores.

Los modificadores se subdividen en:

- En modificadores del pH
- Activadores y
- depresores

Dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

Es un compuesto inorgánico ampliamente utilizado en la industria minera como depresor en el proceso de flotación. Este reactivo se utiliza para la flotación de minerales de cobre, plomo, cromo y manganeso.

Este reactivo actúa como depresor en la flotación de minerales mediante la formación de complejos con los iones metálicos presentes en las superficies de las partículas de minerales. Es un depresor efectivo para minerales de zinc para permitir una mejor separación cobre y plomo.

La desventaja de este reactivo que es toxico y cancerígeno, que afecta la salud de los trabajadore y el medio ambiente.

Metabisulfito de sodio.

Es un reactivo inorgánico que pertenece a los grupos de los sulfitos, cuya fórmula química es $\text{Na}_2\text{O}_2\text{S}_5$. Físicamente el metabisulfito de sodio es un polvo de color blanco o ligeramente amarillo, de olor azufroso, soluble en agua. Reacciona con agua formando dióxido de azufre SO_2 , un gas de olor muy fuerte. Es muy utilizado en la industria alimentaria, y últimamente es utilizado en la minería para la reducción del cianuro, sulfuro de zinc y hierro.

El metabisulfito de sodio fue evaluado para mejorar la separación de la esfalerita de la pirita en el circuito de limpieza de zinc bajo condiciones alcalinas.

2.2.6. Pruebas de flotación

Para dar una garantía de una evaluación precisa y no incurrir en error de evaluación a todos los reactivos en prueba y tengan las mismas oportunidades de mostrar sus propiedades, es fundamental realizar las pruebas de flotación en condiciones idénticas a la prueba estándar. Esto implica mantener la misma granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento, flotación, nivel de pulpa, rpm, remoción de espumas, etc.

Durante la flotación es crucial que la técnica utilizada sea consistente en todas las pruebas, incluyendo la inclinación, profundidad, modalidad y frecuencia de remoción de espumas, y frecuencia de lavado, con el objeto de minimizar el error experimental que podría conducir a conclusiones incorrectas (Azañero Ortiz & Morales Valencia, 1999).

2.2.7. Separación cobre/plomo

Según Venancio (1981) menciona: para diseñar mejores y más eficientes métodos de separación se ha trabajado considerablemente en el laboratorio y en los ensayos en las plantas. Para que la separación sea satisfactoria en primer lugar

se necesita una liberación tan completa como sea posible de los minerales y luego un concentrado bulk de cobre-plomo con el contenido más bajo posible de zinc y pirita. Los datos de la experimentación han mostrado que la eficacia de separación se disminuye con el aumento de minerales de zinc presentes en el concentrado bulk.

El método principal de enriquecimiento de las menas de plomo-cobre en la flotación selectiva, en la que flota un concentrado cobre-plomo inicialmente deprimiendo el zinc, para posteriormente se flota un concentrado de zinc reactivándolo este, en circuito independiente.

Para la flotación de menas Cu/Pb y zinc en los concentradores se usan en calidad de colectores por lo general los xantatos y los aeroflots. El gasto medio de los aeroflots es de 35 g/T, de los xantatos de 30 a 60 g/T. Como espumante se usa el MIBC, Dowfroth, aceite de pino, Frother, etc, con gastos entre 7 a 30 g/T. Además, se emplean los depresores, reguladores del pH y activadores (Porras Castillo, 1997. P. 109)

2.2.8. Pruebas metalúrgicas

Según Azañero Ortiz & Morales Valencia (1999). En la fase inicial, se sugiere llevar a cabo pruebas metalúrgicas con flotaciones rougher, rougher-scavenger, ya que son rápidas y económicas en cada etapa. Una vez seleccionado el reactivo, se puede realizar pruebas más detalladas que incluyan etapas de limpieza y pruebas cerradas (pruebas de ciclo). Estas pruebas deben realizarse con la menor cantidad de error posible para obtener conclusiones precisas.

La evaluación de reactivos se basará en la recuperación, índice de enriquecimiento, la eficiencia de separación, índice de selectividad, la forma y tamaño de espumas y otros criterios. A veces es necesario realizar un análisis

mineralógico para comprender la naturaleza y la proporción de las diferentes partículas presentes.

Las pruebas metalúrgicas son fundamentales para identificar el tipo de mineral presente en un proyecto minero, lo que ayuda a reducir el riesgo técnico. Estas pruebas deben realizarse con diferentes concentrados de minerales para evaluar la eficiencia del proceso y producir un producto final y residuos mineros.

Además, las pruebas metalúrgicas son esenciales en la industria minera para diseñar, controlar y optimizar las operaciones de extracción y concentración de minerales, con el fin de obtener un producto comercial (HLCSISTEMAS, 2019)

2.3. Definición de términos básicos

Dicromato de sodio. Es un reactivo utilizado en la metalurgia para la depresión del plomo en la etapa de separación de cobre y plomo. Este reactivo se emplea como agente oxidante en la flotación selectiva de minerales sulfurados de plomo de minerales sulfurados de cobre. Este reactivo es sólido cristalino naranja-rojizo, soluble en agua. La composición química es $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Flotación bulk. Es un método de separación de minerales en base a su densidad, y se realiza en una celda de flotación. La separación de cobre, plomo, zinc, oro y plata, se realiza por este método.

Metabisulfito ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Es un reactivo que se utiliza en diversas aplicaciones de la industria, y dentro de la minería se utilizó en la separación de zinc de la pirita en el circuito de limpieza. También se utiliza como agente reductor en procesos de flotación de minerales. Este compuesto ayuda a disminuir el potencial redox del medio, lo cual puede ser beneficioso para la flotación de minerales sulfurados. Puede actuar como depresor de minerales no deseados,

mejorando la selectividad en el proceso de separación. El metabisulfito se utiliza como alternativa al dicromato de sodio.

Pruebas de flotación. Se realizan en celdas de flotación con la finalidad de evaluar la efectividad del proceso y los parámetros involucrados como el tamaño de partícula, reactivos, tiempo de residencia.

Pruebas metalúrgicas. Se emplean para evaluar la eficiencia de operación de los procesos metalúrgicos en la extracción de minerales.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio influye en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón

2.4.2. Hipótesis específicas

- La caracterización física y química de la muestra de mineral influye en la separación de cobre-plomo de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón
- Las pruebas metalúrgicas de flotación que influyen en la separación de cobre -plomo de la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón
- El análisis de comportamiento metalúrgico de la flotación con metabisulfito de sodio y bicromato de sodio que influyen en la separación de cobre-plomo de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huarón

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

- Evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio influye en la flotación

2.5.2. Variable dependiente

- Separación de cobre - plomo

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Ítem	Variabes	Conceptual	Operacional	Dimensiones	Indicadores
V.I	Evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio en la flotación	Es una operación que consiste en realiza pruebas con el reactivo metabisulfito de sodio para ver su eficacia en la separación Cu/Pb.	Es una operación en la que se realiza varias pruebas con el reactivo metabisulfito en la separación de Cu/Pb mediante el proceso de flotación.	Caracterización física y química del mineral	Ley de mineral
				Flotación de separación Cu-Pb	Minutos, dureza
				Determinar el comportamiento metalúrgico dicromato de sodio/metabisulfito de sodio/	g/t de reactivos
V.D	Separación Cu/Pb	Es la obtención de dos productos Cu/Pb	Proceso de separación en la que se obtiene dos productos	Recuperación, calidad de concentrado	T, Recup Cobre/Plomo

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según la intervención del investigador, el **tipo de investigación es experimental aplicada** donde se trata de explicar la causa – efecto de la adición del metabisulfito de sodio en la separación de cobre – plomo.

3.2. Nivel de investigación

El **nivel de investigación** de acuerdo a los objetivos que se persigue es **explicativo**, debido a que se tratará de dar sustento a los resultados obtenidos de la evaluación metalúrgica del metabisulfito en la flotación de separación de cobre-plomo.

3.3. Métodos de investigación

Según Sánchez Kohn, (2018), menciona que, los métodos de investigación son un conjunto de técnicas que son coherentes y direccionan la investigación, como también el uso de determinadas herramientas, que permitirán la obtención del producto o resultado.

El método que se aplicó en el estudio es el método inductivo y deductivo que se realiza de lo general a lo específico, que se inicia con estudios generales, teorías, y deducir en un razonamiento lógico de suposiciones y llegar a la observación y tomar datos. En la evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato en la flotación de separación cobre-plomo es la siguiente:

Se realizará el fracturamiento del mineral en una chancadora de quijada, y el producto se reducirá en una chancadora de rodillos hasta obtener un producto de una granulometría de -10 mallas. Una porción de este mineral ya homogenizado se someterá para la caracterización del mineral, determinando la ley de cabeza de elementos, prueba de moliendabilidad y caracterización mineralógica.

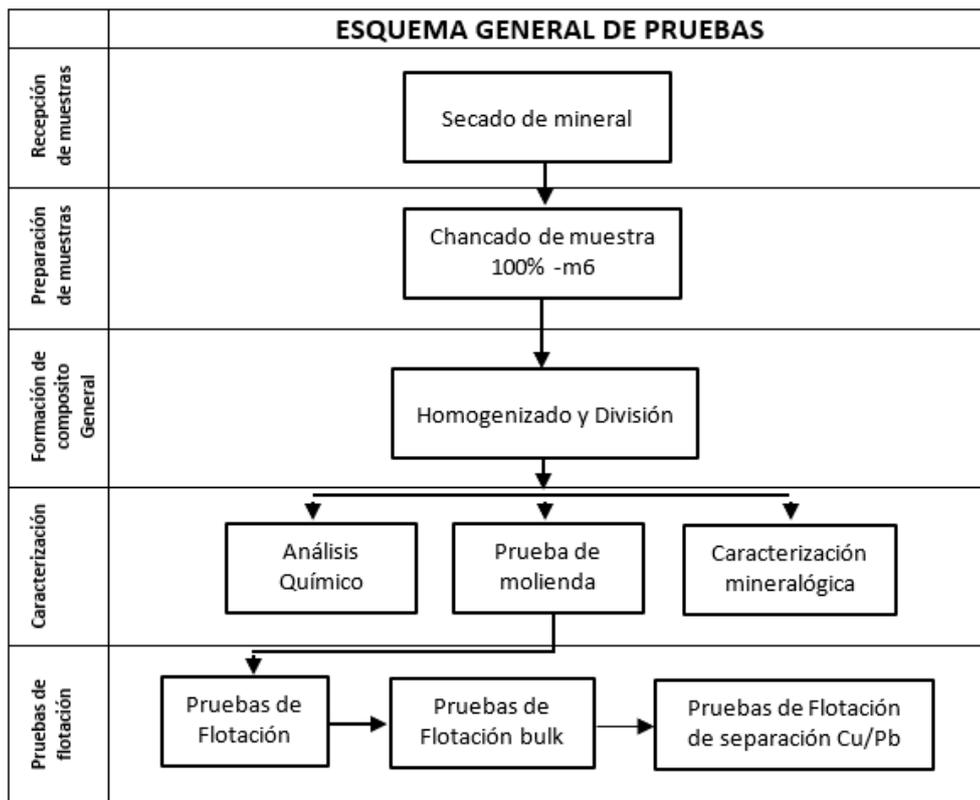
Después se realizará pruebas metalúrgicas de flotación de la separación cobre-plomo haciendo uso del metabisulfito.

3.4. Diseño de investigación

Según Hernández Sampiere y otros (2014) menciona que el diseño es la planificación de las actividades concebidas para la obtención de la información que desea el investigador.

A continuación, se presenta el esquema de las actividades ha realizar para cumplir con los objetivos y demostrara la hipótesis.

Figura 3 Diagrama de flujo para realizar las pruebas experimentales



Nota. Elaboración propia

3.5. Población y muestra

Población

La población del estudio está conformada por mineral que se encuentra en la cancha de grueso, procedente de diferentes tajos, donde se realiza el blending del mineral en función de la ley de cabeza para la operación de la planta concentradora.

Muestra

La muestra se obtiene en la faja de alimentación al molino primario, que se obtiene por el método sistémico; esto consiste en el muestreo cada media hora y se acumula en un recipiente. La cantidad de muestra se determina aplicando la teoría de Pierre Gy.

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \cdot d^3}{S^2}$$

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo (g/cm³)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

s = Medida del error estadístico y normalmente es 0.01

Constante de Muestreo (C)

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

f = Factor de forma el cual es tomado como 0.5, excepto para minerales de oro que es 0.2

g = Factor de distribución de tamaño de partícula, g=0.25

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm³)

Factor de liberación

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

L = Tamaño de liberación del mineral de interés (cm)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

Factor Mineralógico (m)

$$m = \frac{1 - a}{a} [(1 - a) \cdot r + a \cdot t]$$

a = Es la fracción del mineral de interés

r = Densidad del mineral de interés

t = Densidad de la ganga

N = 30,0 Kg

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

La observación. Esta técnica se utiliza desde el inicio de la planificación del proyecto, en el muestreo, fracturamiento del mineral, caracterización de la muestra y en las pruebas metalúrgicas.

La entrevista. Se realizará a los ingenieros que laboran en la planta concentradora, y docentes, para la elaboración de la planificación de las pruebas experimentales.

Fuentes primarias. Se obtendrá de los reportes de ensaye del laboratorio químico y del laboratorio metalúrgicos.

Instrumentos de recolección de datos

Cuaderno de apuntes. Este instrumento se utiliza para realizar apuntes en todo momento, desde el muestre hasta el final de las pruebas y la ejecución del estudio.

Reporte de ensaye. Se utilizará para obtener los resultados de las pruebas experimentales.

Hoja de prueba de molienda. Este instrumento lo utilizamos para hacer apuntes de la moliendabilidad en el tiempo determinado.

Hoja de pruebas cíclicas. Lo utilizamos para recolectar los datos de las pruebas de flotación continua.

Celda de flotación. Con este equipo se obtendrá el concentrado y relave en una bandeja que posteriormente se sometió a un secado.

Análisis de contenido cuantitativo. Los reportes de ensayos emitidos por laboratorio.

Espectrofotómetro de absorción atómica. Este equipo nos reportará los ensayos tanto de la ley de cabeza concentrado y relave de las pruebas metalúrgicas.

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

El requerimiento de seleccionar, validar y darle la confiabilidad necesaria de los instrumentos de recolección de datos está considerado en el procedimiento cuidadosamente desarrollado en todo el proceso del estudio, basándonos en lo normado y sugerido por los especialistas en el tema que se abordó para la investigación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La técnica de procesamiento de datos describe las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos o respuestas que se obtengan: clasificación, registro, tabulación, tablas, figuras y codificación si fuere el caso. En cuanto al Análisis se definirán las Técnicas Lógicas o Estadísticas, que se emplearán para descifrar lo que revelan los datos recolectados (Grazia, 2017)

Para el procesamiento y análisis de datos de la granulometría, prueba de molienda, y balances metalúrgicos se utilizará el Microsoft Excel, como también en el análisis de los gráficos.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico, se aplicará a los datos obtenidos de las pruebas experimentales de la flotación con el metabisulfito de sodio y de esta manera realizar la demostración de la hipótesis aplicando el t-student con el programa estadístico del Minitab.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Los resultados del estudio se obtendrán considerando los principios éticos del investigador, y se documentarán los ensayos realizados. Además, las referencias del marco teórico se editarán para respetar la autoría de los investigadores

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

En la ejecución de la tesis y cumplir con los objetivos planteados y de esta manera realizar la demostración de la hipótesis de la tesis, a continuación, presentamos los preparativos del trabajo de campo realizado en la planta concentradora de la empresa minera Pan American Silver – Unidad Huarón.

Se realizó el muestreo del producto de chancado final alimento al molino primario el cual fue compositado por guardias, seguidamente, se procedió con el secado y chancado de la muestra a 100% malla -6 ASTM, concluida esta operación, se realizó el homogenizado y cuarteo de la muestra para obtener aproximadamente 100 g de muestra para los ensayos químicos el cual representará como ley de cabeza (Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Mn, Bi, PbOx y ZnOx).

También se preparó el mineral y el cuarzo para determinar el Work Index comparativo en tiempo cero y tiempo diez minutos. Además, se separó muestras

de mineral para la prueba de molienda para alcanzar 55% malla -200 ASTM, la prueba de molienda se realizaron a 10, 15 y 20 minutos.

Se preparó los reactivos de flotación como; colectores, espumantes, y modificadores a diferentes concentraciones manteniendo el estándar de planta concentradora.

4.1.1. Características físicas y químicas del mineral

Seguidamente presentamos los resultados del ensaye químico realizado a la muestra de mineral.

a) Ensaye químico

El reporte de laboratorio de la muestra de mineral que ingresa a las operaciones en planta dio los siguientes resultados.

Tabla 1 *Ensaye químico*

Ag g/T	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn %	PbOx %	ZnOx %
145	0,36	1,33	2,53	11,43	2,98	0,15	11,28

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgicos

En la tabla 1 observamos que el mineral tiene una alta ley de plata que es 145 g/t valor por debajo del rango habitual con respecto al budget anual de 152.40 g/t. El contenido de cobre es 0,36%, valor que se encuentra dentro del rango habitual con respecto al budget de 0,36%. El contenido de plomo es 1,33%, valor por debajo del rango habitual con respecto al Budget anual de 1,52%. El 11,28% del plomo ensayado se presenta en forma de óxidos valor considerable normal para la ley de cabeza que presenta. El contenido de zinc es 2,53%, valor por encima del rango habitual con respecto al Budget anual de 2.38%. El contenido de hierro es 11.43% valor considerable alto con respecto a nuestro proceso lo cual podría afectar la calidad de los concentrados.

b) Determinación de la gravedad específica del mineral

La gravedad específica del mineral se determinó aplicando el **método de la fiola**. Que se determina de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de la fiola} = 250 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso de agua: } 98 - 82.5 = 15,5 \text{ g}$$

$$\text{Volumen o peso de agua: } 292,9 - 282,6 = 10,3 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen del mineral: } 15 - 10,3 = 4,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso específico} = 15,5 \text{ g} / 4,7 \text{ cm}^3 = 3,2 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 2 Gravedad específica de muestra

Muestra	Peso M (g)	Peso (g) F	Peso F+M(g)	Peso agua F+H ₂ O (g)	Peso de fiola+M+H ₂ O (g)	Ge g/cm ³
001-M	15,0	82,5	98,0	282,6	292,9	3,2

Nota. Dato obtenido de laboratorio

El mineral tiene una gravedad específica de 3,2 g/cm³, por lo que nos da a entender que es pesada y se encuentra dentro el rango de los minerales polimetálicos.

c) Determinación del work index comparativo

Esta prueba consistió en determinar la dureza del mineral polimetálico y realizar la comparación con la dureza del cuarzo. Para lo cual se determinó el tamaño de alimentación promedio F₈₀ (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P₈₀ para después de la molienda, realizar las comparaciones con la dureza del cuarzo que tiene un Índice de Trabajo de 13,6 kw-h/TC, la molienda se realiza por un tiempo de molienda de 10 minutos. A continuación, presentamos los resultados.

$$F_{80} \text{ cuarzo} = 1453 \text{ micrones (100\% malla -6)}$$

$P_{80} \text{ cuarzo} = 262 \text{ micrones}$

$F_{80} \text{ mineral} = 1278 \text{ micrones (100\% malla -6)}$

$P_{80} \text{ mineral} = 238 \text{ micrones}$

Hacemos uso de la ecuación de bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales.

$$13,6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ cuarzo}}} \right) = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ mineral}}} \right)$$

Esta fórmula para el método comparativo incluye el valor de 13.6 (dureza de cuarzo) reemplazando este valor en la ecuación de bond se determinó la dureza o Índice de Trabajo es:

$$W_i = 14.43 \text{ KW-h/TM}$$

Realizando la comparación con los valores de la tabla 3 de dureza llegamos a la conclusión que el mineral polimetálico es considerado duro.

Tabla 3 Cuadro de dureza para minerales

DESCRIPCION	LIMITE W_i (kWh/tm)
Muy blando	7,26
Blando	7,26 – 10,89
Medio	10,89 – 14,51
Duro	14,51 – 18,14
Muy Duro	18,14 – 21,77
Extremadamente duro	21,77

Nota. Valores de dureza

4.1.2. Prueba de molienda

Esta prueba de molienda consistió en determinar el grado de liberación del mineral a 55% malla -200 ASTM, para lo cual se pesó 1000 gramos de mineral y 500 cm³ de agua y se dio inicio con la molienda de 10 min. La prueba consiste en realizar 4 moliendas (0, 10, 15 y 20 min).

Tabla 4 Prueba de moliendabilidad

TIEMPO DE MOLIENDA	m-200 AC (-)	m+65 AC (+)
0	29.62	56.79
10	49.34	22.83
15	56.09	12.09
20	61.92	5.94
14.78	55	11.72
55% m-200 mallas = 14,78 min		

Nota. Datos de laboratorio

La ecuación de molienda se presenta a continuación

$$Y = 1,6333x + 30,87$$

Donde:

Y = malla - 200

X = tiempo de moliendabilidad

Remplazando los datos en la ecuación se determina que el tiempo de molienda es:

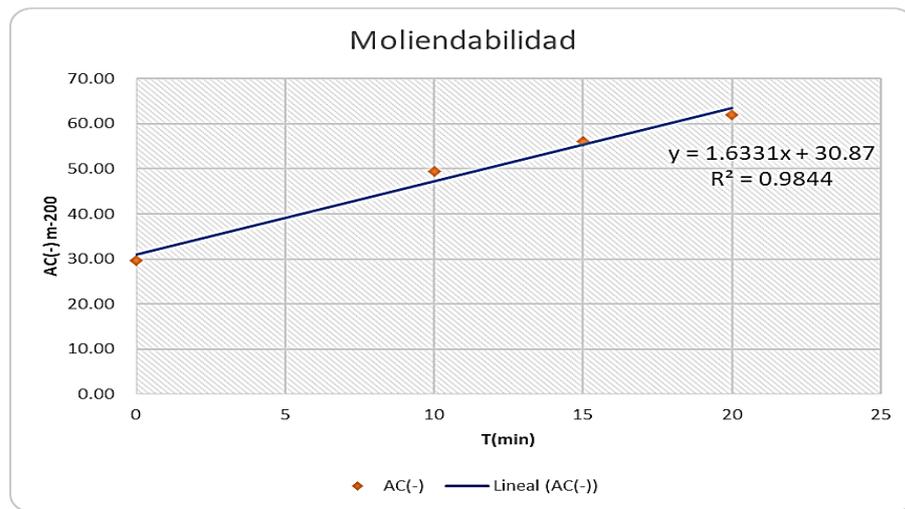
$$55 = 1,6333X + 30,87$$

$$\mathbf{X= 14,78 \text{ min.}}$$

Entonces se necesita 14,78 minutos para alcanzar 55% - 200 mallas.

A continuación, presentamos en la figura 1 de moliendabilidad del mineral polimetálico.

Figura 4 Moliendabilidad



Nota. Datos obtenidos de Microsoft Excel

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Pruebas de flotación estándar

Esta experiencia consistió en realizar las pruebas de flotación a nivel batch a las condiciones estándares tal como se realiza en operaciones a nivel de planta concentradora.

A continuación, presentamos las condiciones de la flotación batch para la obtención del concentrado bulk.

Molienda:

- Peso de mineral : 1 Kg
- Agua : 500 CC
- Tiempo de molienda : 14,78 minutos
- Cianuro de sodio : 30 gr/Tn
- Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación Rougher Bulk:

- pH de flotación : 9,10
- sulfato de zinc : 200 gr/Tn

- Z-11/Z-6 : 13 gr/Tn
- Espumante H-150 : 25 gr/Tn
- Tiempo Acond : 2 minutos
- Flotación : 3 minutos

Flotación scavenger bulk:

- Z-11/Z-6 : 3 gr/Tn
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk I:

- Cianuro de sodio : 5 gr/Tn
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk II:

- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk III:

- Tiempo de flotación : 2 minutos

En seguida se presenta la tabla 5 de dosificación de los reactivos que se utilizan para las pruebas.

Tabla 5 *Dosificación de reactivos*

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton								
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSO ₄	H-150	Metabisulfito	RCS	ZnSO ₄	Bisulfito
molienda	14,78	8.0									200
Ro-Bk	3		30	13			25				
Scv-Bk	2			3							
1° Cl Bk	2		5								
2° Cl Bk	2										
1 Ac Sep Pb/Cu	5							10	50		
Ro Sep Pb/Cu	3						2	20			
Scv Sep Pb/Cu	2						2	24	20		
1Cl Sep	2						2	2	10		

Nota. Datos obtenidos de planta

Esta prueba se realizó para determinar la velocidad de flotación de los principales valores de cobre, plata y plomo en la flotación bulk.

Tabla 6 Cinética de flotación bulk

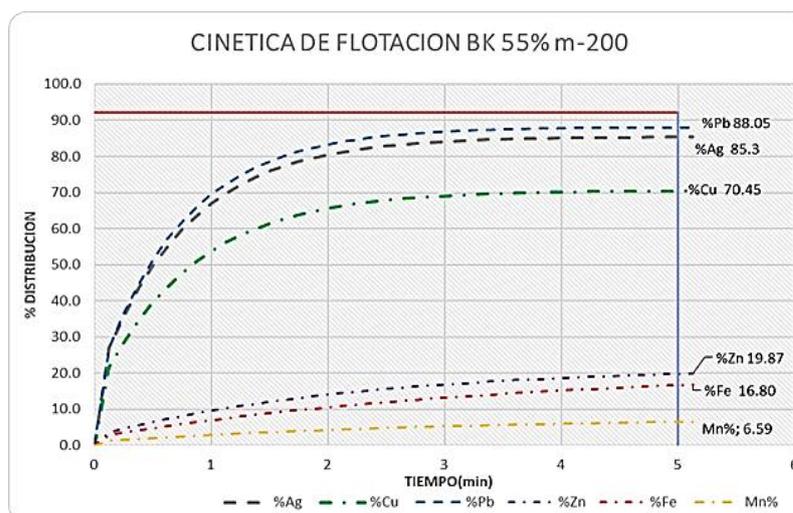
Time	Producto	% Peso	Ensaye					% Distribución					
			Ag g/t	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	
0,25	Espum 1	1,34	1844,98	5,79	21,8	5,71	15,02	17,87	19,02	21,82	1,58	1,02	
0,5	Espum 2	1,25	1641,12	5,14	18,8	5,65	15,24	14,89	15,82	17,62	1,50	0,99	
1	Espum 3	1,77	1284,43	4,03	14,4	5,50	15,65	16,47	17,53	19,12	2,18	1,46	
2	Espum 4	1,29	883,47	2,74	9,52	5,41	15,77	18,64	19,61	20,76	3,62	2,52	
3	Espum 5	2,66	428,83	1,26	3,97	5,11	15,26	8,06	8,22	7,89	3,19	2,47	
5	Espum 6	4,45	180,57	0,51	1,45	4,24	13,46	5,81	5,56	4,82	4,71	4,52	
	Relave	85,61	29,50	0,07	0,12	2,08	12,36	18,27	14,23	7,95	83,22	87,02	
	Cab. cal	100,00	138,24	0,41	1,34	2,51	12,72	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Nota. Datos obtenidos del laboratorio

En la tabla 6 observamos que el plomo, plata y cobre tiene una mayor velocidad de flotación, la cual se encuentran influenciada por la asociación mineralógica que tienen estos elementos, se estima una distribución de 88,05% de plomo, 85,3% de plata y 70,45% de cobre para un periodo de flotación acumulado de 5 minutos.

Lo mencionado líneas arriba lo podemos ver en la figura 5 de la cinética de flotación.

Figura 5 Cinética de flotación



Nota. Datos obtenidos del procesador Excel

A continuación, presentamos las leyes de concentrado bulk

Tabla 7 *Ensaye de concentrado bulk*

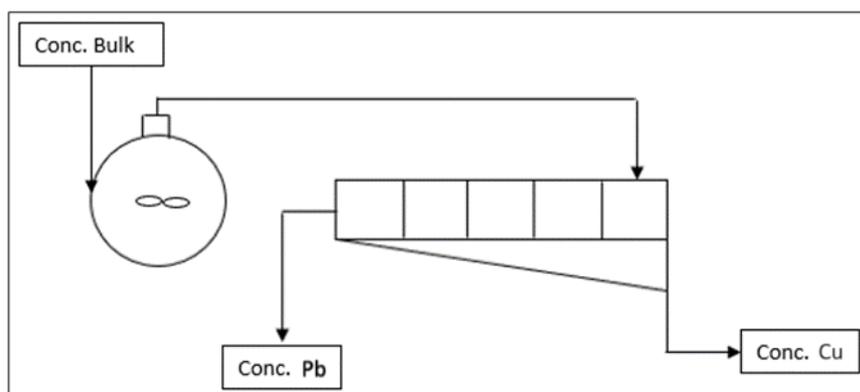
Ag g/t	Cu %	Pb%	Zn %	Fe %	Mn %	As %
4041,37	13,68	45,27	3,54	9,85	0,26	3,13

En la tabla 7 se observa, que el concentrado bulk tiene una alta ley de plata de 4041,37 g/t, el cobre se encuentra con una ley de 13,68 %, plomo con 45,27%, zinc con 4,54%, Fe se encuentra con 9,85 % y por último tenemos el arsénico con 3,13%.

4.2.2. Prueba de separación cobre - plomo

Para la realización de la prueba experimental a nivel batch presentamos el diagrama de flujo que se presenta en la figura 6

Figura 6 *Diagrama de flujo de la separación Cu-Pb*



Nota. Elaborado por los tesisistas

Esta prueba se realiza a partir del concentrado bulk, que tiene 13,68 % de cobre y 45,27% de plomo que requiere una separación. La separación del concentrado bulk en planta concentradora se realiza deprimiendo el plomo con bicromato de sodio a un pH de 8.5 y flota el cobre.

Las pruebas de separación bulk a nivel batch se realiza en el laboratorio metalúrgico de la empresa minera Huaron, donde se replica la separación con bicromato de sodio para ver el efecto de este reactivo.

Los reactivos CNNA y mezcla de xantatos fueron preparados al 1%, la cal, el sulfato de cobre, sulfato de zinc al 10% y el H-150 al 100%.

El reactivo de bicromato se prepara al 2% en mezcla (bicromato=60%, fosfato monosódico=20% y carboximetilcelulosa= 20%) y el consumo es de 80 gr/Tn.

Granulometría 55% -200 mallas

pH 8,5

Realizado las pruebas de separación cobre/plomo presentamos los balances metalúrgicos.

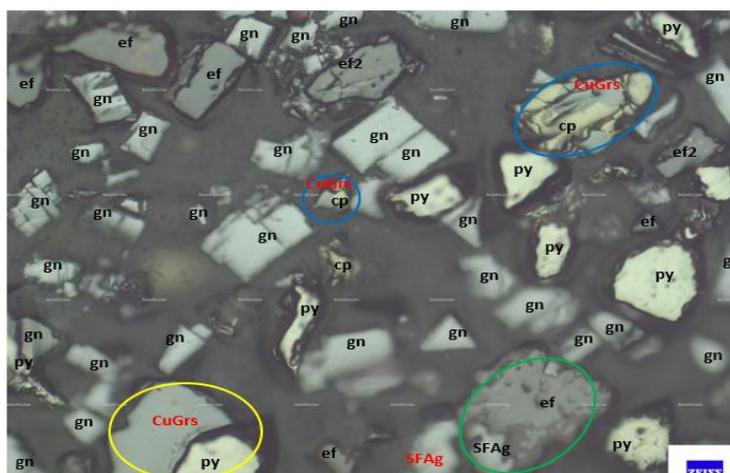
Tabla 8 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb

Prueba - 001 Producto	%Peso	Ensayes					Distribución				
		Ag g /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Conc. Cu	0.77	7910.73	25.45	8.03	4.05	9.34	45.19	59.61	4.94	1.22	0.63
Conc. Pb	1.84	2068.32	3.91	53.45	3.51	8.75	28.03	21.72	77.96	2.50	1.41
Conc. Zn	4.40	316.51	0.61	0.60	48.51	7.11	10.28	8.09	2.09	82.81	2.74
Relave Final	92.99	24.06	0.04	0.20	0.37	11.70	16.50	10.58	15.02	13.47	95.22
Cab. Cal.	100.00	135.57	0.33	1.26	2.58	11.43	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico

En la tabla 8 se observa claramente la calidad del concentrado de cobre tiene una ley de 25,45% y el concentrado de plomo llega a 53,45%. Además, se observa que el cobre tiene una alta ley de plata que es 7910,73 g/t, mientras que el plomo, la plata se encuentra con 2068,32 g/t. El desplazamiento de fierro en los concentrados de cobre y plomo se encuentran dentro de los rangos aceptables de 8,75% a 9,34%. Las recuperaciones se encuentran 59,61% para el plomo y para el cobre es 77,96%

Figura 8 Concentrado plomo malla +400 (Bicromato)



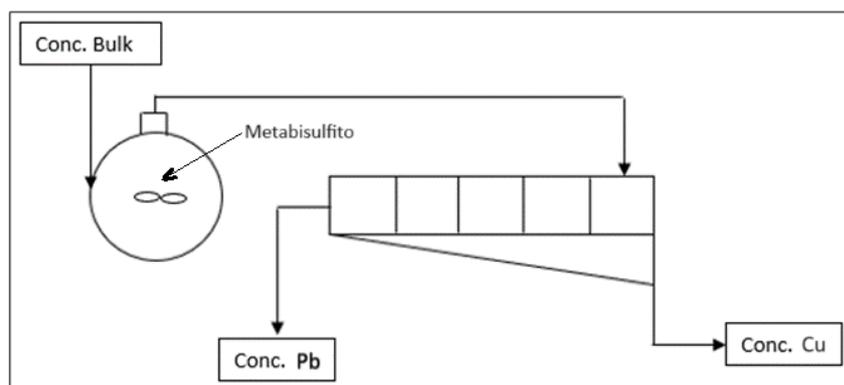
Nota. Imagen obtenida de microscopia óptica

En la figura 8 se observa dentro del área verde partícula mixta de sulfosal de plata – esfalerita (SFAg/ef), dentro del área amarilla partícula mixta de cobre gris – pirita (CuGrs/py) y dentro de las áreas azules partículas mixtas de cobre gris – calcopirita (CuGrs/cp). Completando la vista se observa partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), sulfosal de plata (SFAg), calcopirita (cp), esfalerita tipo2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita), pirita (py) y gangas (GGs).

4.2.3. Prueba de separación Bulk con Metabisulfito de sodio

Esta prueba lo realizamos para ver el efecto del metabisulfito en cuanto a la calidad de concentrado y la recuperación de cobre y plomo en relación con el reactivo bicromato de sodio.

Figura 9 Diagrama de flujo de la separación Cu-Pb con metabisulfito



Nota. Elaborado por los tesisistas

Se procedió a preparar el reactivo de Metabisulfito al 2% en mezcla metabisulfito=60%, fosfato monosódico=20% y carboximetilcelulosa= 20%) donde se dosifica en un rango de 76 gr/Tn a 80 gr/Tn. En la figura se presenta la preparación del metabisulfito.

Figura 10 Preparación del metabisulfito



Nota. Fotografía tomada en laboratorio

Los parámetros de la prueba de separación Cu/Pb se presenta en la tabla

Tabla 9 Separación bulk Cu/Pb

Factores	Parámetros de la prueba	
Metabisulfito 2% (g/t)	76,0	80,0
pH	8,0	8,5

a) Primera prueba de flotación con metabisulfito

Las condiciones de flotación de la separación bulk con bicromato de sodio se mantuvo de la siguiente manera;

Molienda:

- Peso de mineral : 1 Kg
- Agua : 500 CC
- Tiempo de molienda : 14,78 minutos
- Cianuro de sodio : 30 gr/Tn
- Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación: Separación Bulk Cu/Pb

pH	: 8
H-150 (Espumante)	: 6 g/t
Metabisulfito	: 76 g/t

En seguida presentamos los puntos de la dosificación de reactivos para la separación de la prueba batch.

Tabla 10 Puntos de dosificación de reactivos

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton								
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSO ₄	H-150	Metabisulfito	RCS	ZnSO ₄	Bisulfito
molienda	14,78	8.0									200
1 Ac Sep Pb/Cu	5								30	80	
Ro Sep Pb/Cu	3							2	20		
Scv Sep Pb/Cu	2							2	24	40	
1Cl Sep	2							2	2	20	

Nota. Datos de laboratorio

Realizadas las pruebas metalúrgicas, se presenta los balances metalúrgicos las pruebas batch.

Tabla 11 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb

Prueba - 002 Producto	%Peso	Ensayes					Distribución					
		Ag g /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	
Conc. Cu	0.79	8251.39	24.66	9.77	7.74	7.15	47.74	60.23	6.22	2.13	0.48	
Conc. Pb	1.88	2365.75	3.22	55.52	5.85	5.93	32.49	18.67	83.90	3.83	0.95	
Conc. Zn	5.04	129.92	0.50	0.51	47.40	3.93	4.80	7.85	2.07	83.45	1.69	
Relave Final	92.29	22.17	0.05	0.11	0.33	12.31	14.98	13.25	7.81	10.59	96.88	
Cab. Cal.	100.00	136.60	0.32	1.24	2.87	11.72	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico

En la tabla 8 se observa que dosificando 76 g/t de bicromato de sodio tenemos una calidad de concentrado de 24,66%, que se encuentra distribuido en 60% dentro del mineral, que tiene una recuperación de 59,61%. La calidad de concentrado de plomo es 55,52% y se encuentra distribuido dentro del mineral en

83,90%, siendo la recuperación de 77,96%. La plata se encuentra en mayor cantidad dentro del cobre con 8251,39 g/t y en el plomo se encuentra en 2365,75.

b) Segunda prueba de flotación con metabisulfito

Las condiciones de flotación de la separación bulk con metabisulfito de sodio se mantuvo de la siguiente manera;

Molienda:

Peso de mineral : 1 Kg
 Agua : 500 CC
 Tiempo de molienda : 14,78 minutos
 Cianuro de sodio : 30 gr/Tn
 Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación: Separación bulk Cu/Pb

pH : **8.5**
 H-150 (Espumante) : 6 g/t
 Metabisulfito : **76 g/t**

Se mantiene los puntos de dosificación de los reactivos en los puntos especificados.

Tabla 12 Puntos de dosificación de reactivos

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton									
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSO ₄	H-150	Metabisulfito	RCS	ZnSO ₄	Bisulfito	
molienda	14,78	8.5										
1 Ac Sep Pb/Cu	5							30		80		
Ro Sep Pb/Cu	3							2		20		
Scv Sep Pb/Cu	2							2		24		40
1Cl Sep	2							2		2		20

Ejecutado las pruebas experimentales tenemos el balance metalúrgico de la segunda prueba. Ver tabla 13

Tabla 13 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb

Prueba - 003 Producto	%Peso	Ensayes						Distribución			
		Ag g /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Conc. Cu	0.91	7568,73	26.46	8.75	5.30	11.34	51.38	64.62	5.98	1.90	1.20
Conc. Pb	1.91	1941.48	3.36	57.36	4.81	8.87	27.75	17.28	82.55	3.63	1.97
Conc. Zn	4.24	154.70	0.56	0.52	49.50	6.95	4.91	6.40	1.66	82.91	3.43
Relave Final	92.94	22.92	0.05	0.14	0.32	8.63	15.95	11.70	9.81	11.57	93.40
Cab. Cal.	100.00	133.56	0.37	1.33	2.53	8.59	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico

En la tabla 13 observamos, la calidad de concentrado mejora cuando se incrementa el pH a 8,5 y mantenemos la dosificación del metabisulfito en 76 g/t. Es así que tenemos un concentrado de 26,46% de cobre que tiene 7568,73 g/t de plata, con un 64,62% de distribución en el mineral. El plomo tiene una calidad de 57,36%, que es un concentrado de buena calidad y tiene 1941,48 g/t de plata, que se encuentra distribuido en el mineral con 82,55%. El hierro se encuentra dentro los rangos aceptables para la comercialización 8,87 a 11,34%.

c) Tercera prueba de flotación con metabisulfito

Las condiciones de flotación de la separación bulk con metabisulfito de sodio se mantuvo de la siguiente manera;

Molienda:

Peso de mineral	: 1 Kg
Agua	: 500 CC
Tiempo de molienda	: 14.78 minutos
Cianuro de sodio	: 30 gr/Tn
Granulometría	: 55% -200 mallas

Flotación: Separación bulk Cu/Pb

pH	: 8,0
H-150 (Espumante)	: 6 g/t

Metabisulfito : 80,0 g/t

Se mantiene los puntos de adición de los reactivos especificados solo variando la cantidad de dosificación del metabisulfito y pH

Tabla 14 Puntos de dosificación de reactivos

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton								
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSO ₄	H-150	Metabisulfito	RCS	ZnSO ₄	Bisulfito
molienda	14,78	8.0									200
1 Ac Sep Pb/Cu	5								30	80	
Ro Sep Pb/Cu	3							2	20		
Scv Sep Pb/Cu	2							2	24	40	
1Cl Sep	2							2	2	20	

Realizado las corridas experimentales a nivel de laboratorio, seguidamente le presentamos el balance metalúrgico.

Tabla 15 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb

Prueba - 004 Producto	%Peso	Ensayes						Distribución			
		Ag g /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Conc. Cu	1,04	6438,49	28,06	5,28	4,34	12,52	47,86	69,28	4,12	1,39	1,61
Conc. Pb	2,20	2273,96	2,90	52,06	5,51	7,97	35,94	15,25	86,40	3,76	2,18
Conc. Zn	5,73	77,11	0,37	0,37	48,12	3,32	3,17	5,06	1,58	85,46	2,36
Relave Final	91,04	19,95	0,05	0,11	0,33	8,31	13,04	10,41	7,89	9,38	93,85
Cab. Cal.	100,00	139,29	0,42	1,33	3,23	8,06	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico

En esta prueba se observa que se mejora aún más la calidad del concentrado respecto a la prueba 003, donde la calidad de cobre tiene 28,06% con alto contenido de plata que alcanza a 6438,49 g/t, y se encuentra distribuido 69,28% dentro del mineral. El plomo tiene 52,06 % de calidad de concentrado que tiene 2273,96 g/t de plata y se encuentra distribuido en 86,40% dentro del mineral. El fierro se encuentra dentro del rango de 7,97% a 12,52% en el concentrado de plomo y cobre respectivamente.

d) Cuarta prueba de flotación con metabisulfito

Se trabajaron las pruebas manteniendo las condiciones de flotación de la separación bulk con metabisulfito de sodio de la siguiente manera;

Molienda:

Peso de mineral : 1 Kg
 Agua : 500 CC
 Tiempo de molienda : 14.78 minutos
 Cianuro de sodio : 30 gr/Tn
 Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación: Separación bulk Cu/Pb

pH : **8,5**
 H-150 (Espumante) : 6 g/t
 Metabisulfito : **80,0 g/t**

Se mantiene los puntos de adición de los reactivos especificados solo variando la cantidad de dosificación del metabisulfito y pH

Tabla 16 *Puntos de dosificación de reactivos*

Nombre:	Reactivos gr/ton										
	Tiempo (min)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	CaI	CuSO ₄	H-150	Metabisulfito	RCS	ZnSO ₄	Bisulfito
molienda	14,78	8.0									200
1 Ac Sep Pb/Cu	5							30	80		
Ro Sep Pb/Cu	3						2	20			
Scv Sep Pb/Cu	2						2	24	40		
1Cl Sep	2						2	2	20		

Después de las corridas experimentales a nivel de laboratorio tenemos el balance metalúrgico.

Tabla 17 Balance metalúrgico de separación Cu/Pb

Prueba - 005 Producto	%Peso	Ensayes					Distribución				
		Ag g /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Conc. Cu	1,14	5,032,40	29,19	3,53	3,22	10,47	39,20	71,97	2,36	1,31	1,40
Conc. Pb	2,40	2,406,22	2,03	61,13	4,68	9,24	39,53	10,58	86,23	4,02	2,61
Conc. Zn	4,86	218,97	0,90	1,28	49,71	8,77	7,29	9,52	3,66	86,50	5,03
Relave Final	91,60	22,28	0,04	0,14	0,25	8,42	13,98	7,93	7,75	8,17	90,96
Cab. Cal.	100,00	145,97	0,46	1,70	2,79	8,48	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico

En la tabla 17 observamos, la calidad de concentrado mejora cuando se incrementa el pH a 8,5 y mantenemos la dosificación del metabisulfito en 80 g/t. Es así que tenemos un concentrado de 29,19% de cobre que tiene 5032,40 g/t de plata, con un 71,97% de distribución en el mineral. El plomo tiene una calidad de 61,13%, que es un concentrado de buena calidad y tiene 2406,22 g/t de plata, que se encuentra distribuido en el mineral con 86,23%. El hierro se encuentra dentro los rangos aceptables para la comercialización 9,24% a 10,47%.

El concentrado de cobre y plomo obtenido en las pruebas de separación bulk se somete a microscopia óptica para identificar los componentes mineralógicos del concentrado.

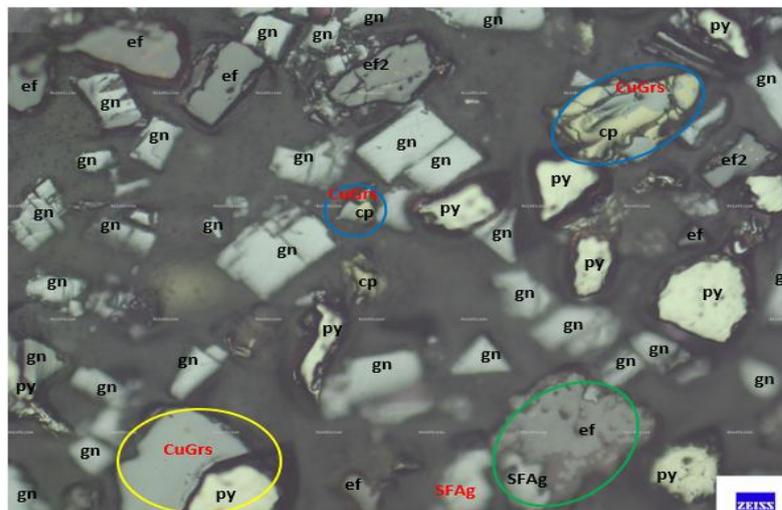
Figura 11 Concentrado COBRE malla +400 (Metabisulfito)



Nota. Imagen obtenida del microscopio óptico

En la figura 11 se observa dentro del área verde partícula mixta de cobre gris – calcopirita (CuGRs/cp), dentro de las áreas amarillas partículas mixtas de galena – pirita (gn/py), dentro del área celeste partícula mixta de cobre – esfalerita tipo4 (CuGrs/ef4) (ef4: presencia de covelita) y dentro del área anaranjada partícula mixta de covelita – calcopirita – pirita (cv/cp/py). Completando la vista se observa partículas libres de cobres grises (CuGrs), calcopirita (cp), sulfosal de plata (SFAG), galena (gn), esfalerita (ef) y pirita (py).

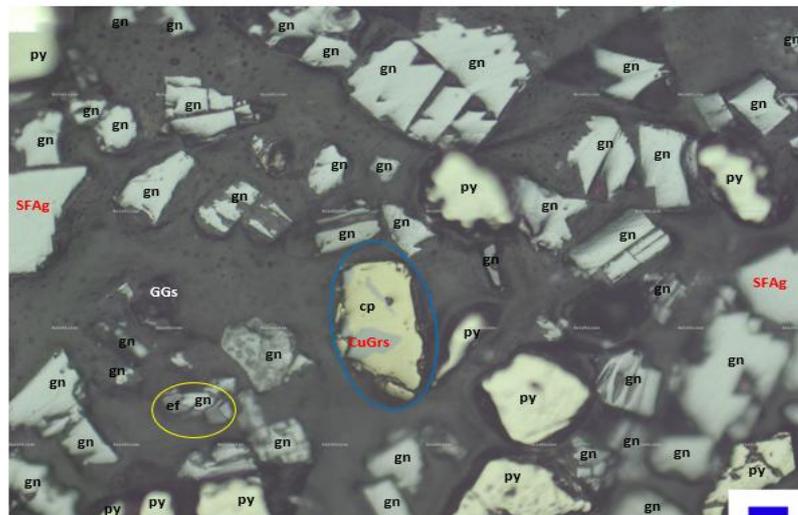
Figura 12 Concentrado Plomo malla +400 (Metabisulfito)



Nota. Imagen obtenida del microscopio óptico

En la figura 12 se observa dentro del área verde partícula mixta de sulfosal de plata – esfalerita (SFAG/ef), dentro del área amarilla partícula mixta de cobre gris – pirita (CuGrs/py) y dentro de las áreas azules partículas mixtas de cobre gris – calcopirita (CuGrs/cp). Completando la vista se observa partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), sulfosal de plata (SFAG), calcopirita (cp), esfalerita tipo2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita), pirita (py) y gangas (GGs).

Figura 13 Concentrado Plomo malla +400 (Metabisulfito)



Nota. Imagen obtenida del microscopio óptico

En la figura 13 se observa dentro del área amarilla partícula mixta de galena – esfalerita (gn/ef) y dentro del área azul partícula mixta de cobre gris – calcopirita (CuGrs/cp). Completando la vista se observa partículas libres de galena (gn), sulfosal de plata (SFAg), pirita (py) y gangas (GGs).

4.3. Prueba de hipótesis

Después de las pruebas experimentales, la hipótesis estadística se somete a una prueba para la comprobación si se acepta o se rechaza la hipótesis.

Hipótesis alterna (H₁)

La evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio influye en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón

Hipótesis nula (H₀)

La evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio no influye en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón

4.3.1. Estadístico de prueba

La demostración de la hipótesis del estudio se realiza mediante la eficiencia de separación del plomo con bicromato de sodio que es de 77,96%

$$H_0: \mu=77,96$$

$$H_1: \mu > 77,96$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

Elección del estadístico de prueba

$$n_1 = 4$$

$$\bar{Y}_1 = 84,77$$

$$S_1^2 = 3,49$$

$$S_1 = 1,86$$

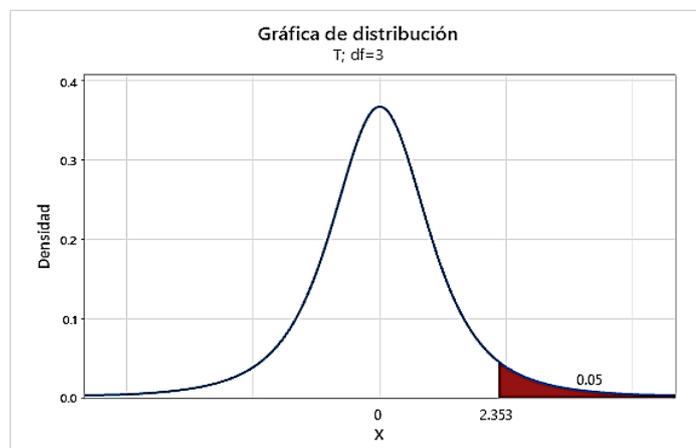
$$t_c = \frac{\bar{y} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$t_c = \frac{84,77 - 77,96}{\frac{1,86}{\sqrt{4}}} = 7,32$$

Valor de decisión: (Si $t_c > t_t$ se rechaza la H_0)

De tablas $t_{(0,05,3)} = 2,353$

$t_c > t_t$ reemplazando valores $7,32 > 2,353$



Como 7,32 es mayor que 2,353 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Decisión

Se acepta la Hipótesis Alterna

Conclusión

Podemos afirmar contundentemente que el metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio influye significativamente en la separación Cu/Pb, para un nivel de significancia del 0,05%.

4.4. Discusión de resultados

Como objetivo de la tesis se planteó realizar la evaluación metalúrgica del metabisulfito de sodio en remplazo del bicromato de sodio en la flotación de separación Cu/Pb en la Empresa Minera Pan American Silver – Unidad Huarón.

Realizado las pruebas metalúrgicas se demostró que el metabisulfito de sodio si tiene influencia significativa en la separación de Cu/Pb en la que se obtuvo un t – student calculado $7,32 > 2,353$ t-student tabla, para un nivel de significancia de 0,05%. Según Zegarra y Pérez (s.f.) menciona, que los reactivos para la depresión del plomo como: SO₂, bisulfitos en combinación con sulfato ferroso, tiosulfatos, hiposulfitos, metabisulfito, etc, dicromato y CaO, ellos poseen una ventaja en comparación con el NaCN/ZnOx, sobre todo la no disolución de valores.

En el estudio se determinó que el mineral tiene una gravedad específica de 2,8 g/cm³ y una dureza de 14,43 Kw-hr/TM, además, el mineral tiene una ley de cabeza de 0,36% de cobre, 1,33% de plomo, donde la plata se encuentra en 145 g/t, así mismo, el zinc se encuentra con 2,53% y fierro con 11,43%. Al respecto Canchanya y Yance (2019) trabajo con un mineral que tiene una ley de

cabeza de 0,30% de cobre, 3,46% de plomo, 5,43% de Zinc, la plata se encuentra con 2,17 g/t, además tiene oro con 0,81 g/t. El mineral que predomina es la calcopirita, galena y marmatita. Vera et. al (s.f) menciona que el conocimiento de las características físicas y químicas de los minerales, resulta de vital importancia para determinar el comportamiento y su aplicación tecnológica.

En la flotación estándar a nivel batch trabajando con las condiciones similares a la planta concentradora de Huaron, se determinó la cinética de flotación del mineral donde el plomo, plata y cobre tienen una mayor velocidad de flotación, para un periodo de flotación de 5 minutos. Además, se obtuvo un concentrado bulk de 13,68% de cobre, 45,27% de plomo, con un contenido de plata de 4041,37 g/t, el cual nos sugiere realizar la separación de Cu/Pb.

En la prueba de separación Cu/Pb la empresa minera optó por la depresión del plomo y flotar cobre, siguiendo lo mencionado, se utilizó bicromato de sodio al 2%, en mezcla (bicromato, fosfato monosódico y carboximetilcelulosa) a un pH de 8,5. En la flotación de separación se tiene un concentrado de 25,45% de cobre, siendo la recuperación de 59,61%, con alto contenido de plata de 7910,73 g/t; el plomo tiene una calidad de 53,45% y su recuperación es de 77,96% con 2068,32 g/t de plata.

En la prueba de separación bulk Cu/Pb utilizando el metabisulfito de sodio al 2% en mezcla (metabisulfito de sodio, fosfato monosódico y carboximetilcelulosa), se dosificó de 76 g/t a 80 g/t y se controló el pH de flotación entre 8 y 8,5; de las cuatro pruebas realizadas se observa un incremento de la calidad del concentrado y la distribución de separación de cobre y plomo. En la primera prueba de separación se dosifica 76 g/t de metabisulfito a un pH de 8, donde se obtiene 24,66% de cobre con un porcentaje de recuperación de

60,23%, que tiene un contenido de plata de 8251,39 g/t. Este resultado, en comparación con la cuarta prueba de separación Cu/Pb la calidad del concentrado de cobre se incrementa a 29,19% con una recuperación de 71,97%, pero el contenido de plata disminuye a 5032,4 g/t; esta prueba se trabajó con 80 g/t a un pH de 8,5. En cuanto al concentrado de plomo obtenido en la prueba 002 tiene una calidad de 55,52% de Pb con una recuperación de 83,90% con un contenido de plata 2366,75 g/t y en comparación con la prueba 005, donde el plomo alcanza una calidad de 62,13% con una recuperación de 86,23%, donde tiene un contenido de plata de 2406,22 g/t, en este punto, vemos que la plata se incrementa. Al contrario, Canchanya y Yance (2019), realiza la separación de Cu/Pb con bisulfito de sodio en combinación con CMC, logrando una eficiencia de separación de 97,5%; el concentrado de cobre obtenido es de 23,69%, el concentrado de plomo alcanza a 66,53%.

CONCLUSIONES

El metabisulfito de sodio influye en la separación de Cu/Pb esto lo deducimos por el t-student calculado que tiene 7,32, siendo mayor que el t-student tabla que es de 2,353, para un nivel de significancia de 0,05%.

La caracterización físicas y químicas del mineral tiene: gravedad especifica 3,2 g/t, dureza 14,43 Kw-h/TM. El mineral tiene valores de 0,36% de Cu, 1,33% de Pb, 2,53% Zn y 11,43% Fe, el contenido de plata se encuentra en 145 g/T. Los valores de Ag, Pb se encuentra por debajo del promedio de las leyes y el cobre se mantiene dentro del rango.

En la flotación estándar bulk del mineral polimetálico a condiciones de operación similares a la planta concentradora (55% -200 mallas) se determinó, que la cinética de flotación del plomo, plata y cobre tienen una mayor velocidad de flotación. En la prueba de separación del concentrado bulk Cu/Pb se obtuvo un concentrado de cobre con 25,45% de calidad con una recuperación de 59,61%, y tiene 7910,73 g/t de plata. El concentrado de plomo tiene 53,45% de calidad con una recuperación de 77,96% en la que se encuentra la plata con 2068,32 g/t.

Del análisis del comportamiento metalúrgico de la separación del concentrado bulk Cu/Pb con el metabisulfito de sodio se determinó que, dosificando 80 g/t de metabisulfito al 2% con mezcla de fosfato monosódico y carboximetilcelulosa, a un pH de 8,5 y con un grado de liberación de 55% malla -200, se mejora la calidad del concentrado de cobre de 24,66% a 29,19% y las recuperaciones de 60,23% a 71,97% respectivamente. De igual manera el concentrado de plomo mejora de 55,52% a 61,13% y las recuperaciones suben de 83,90% a 86,32%. Utilizando el metabisulfito de sodio se genera un gasto de \$ 207,69 dólares y con el bicromato de sodio se genera un gasto de \$ 972,27 dólares, siendo la diferencia de \$ 719,58 dólares, por lo tanto, la empresa tiene

una **bondad económica 74,01%** que beneficia a la empresa, y de esta manera estaría reduciendo el costo de la separación Cu/Pb, sin afectar los resultados metalúrgicos.

RECOMENDACIONES

Realizar más pruebas de caracterización física y química a los minerales polimetálicos para tener más información y observar las relaciones y enlaces de los elementos metálicos en sus minerales.

En las pruebas estándar solo se realizaron una prueba de flotación bulk a nivel batch, se recomienda trabajar con las espumas de flotación bulk del proceso y llevarlo a flotación batch para tener un mayor alcance de sus resultados.

Seguir realizando más pruebas metalúrgicas con el metabisulfito de sodio para determinar la eficiencia de recuperación que sean más confiables y aplicarlo a procesos industriales de la flotación.

La responsabilidad social de la empresa es, generar cero conflictos sociales significativo, resolviendo con la participación comunitaria y efectuando auditorías sociales. Además, mejorando el acceso a la educación de calidad en las comunidades cercanas a la mina. En la responsabilidad ambiental es implementar proyectos significativos que potencialmente puedan reducir las emisiones de gases efecto invernadero en nuestras operaciones comparado con “lo que se considera habitual”. De igual manera, mejorar el desempeño en las auditorías ambientales que se realizan dos veces al año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed Khoso, Zhiyong Gao, Mengjie Tian, & Yuehua Hu. (2019). Mecanismo de adsorción y depresión de un reactivo amigable con el medio ambiente en flotación diferencial de sulfuros de Cu-Fe. *Journal of Materials Research and Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.009>
- Atlantic, C. (2016). *El cobre*. Obtenido de <https://www.atlantic-copper.es/proceso-y-comercializacion/materias-primas>
- Azañero Ortiz, A., & Morales Valencia, M. (15 de 12 de 1999). EVALUACIÓN DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 2(4), 77-94. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2149/1864>
- Azañero Ortiz, A., Aramburu Rojas, V., Quiñones Lavado, J., Puente Santibañez, L., Cabrera Sandoval, M., Rengifo Sing, W., . . . Quispe Valdivia, J. (2010). FLOTACION DE MINERALES POLIMETÁLICOS SULFURADOS DE Pb, Cu yZn. *Revista del instituto de investigación Riigeo*, 13(26), 20. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.429>
- Canchanya Ramos, A. D., & Ynace Ambrosio, N. (2019). *Selección del método de flotación separación cobre/plomo de acuerdo a la caracterización geometalúrgica del Concentrado Bulk en la Planta Concentradora Ana María Compañía Minera Brexia Goldplata Perú S.A.C. [Tesis de pregrado, UNCP, Huancayo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5575/TESIS010_60109215_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- HLCSISTEMAS. (19 de agosto de 2019). *Metalurgia*. Obtenido de <https://www.hlcsac.com/noticias/para-que-sirven-pruebas-metalurgicas/>
- Hongxiang XU, Z. P. (2024). Avances en la investigación sobre el efecto de los iones inevitables en la suspensión en la separación de minerales de sulfuro de plomo y zinc. *Kuangchan zonghe liyong*, 45(1), 124 - 138. doi:<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6532.2024.01.015>
- Melgarejo, J. C., Proenza, J. A., Galí, S., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación mineral

- [Boletín Ide la sociedad Geologica en exploración y explotación minera]. 62(1), 1-23. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/943/94315961002.pdf>
- Ñaupas Paitan, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodología de la Investigación. Cuantitativa-Causalitativa y Redacción de tesis*. Bogotá: ISNB.
- Paraguay García, J. J., & Paucar Blanco, H. E. (2015). *Remplazo parcial del bicromato por el bisulfito de sodio en la separación de sulfuros de Cu-Pb mediante flotación a nivel laboratorio. [Tesis de pre grado. Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4808/T010_42942412_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Procesamineral. (2012). *Procesamiento de minerales*. Obtenido de <https://procesaminerales.blogspot.com/2012/09/molienda-etapas-y-tipos.html>
- Scribd. (15 de febrero de 2015). *Minerales Sulfurados y Minerales Oxidados*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/240378605/Minerales-Sulfurados-y-Minerales-Oxidados>
- Simsa. (s.f.). *Concentrado de plomo*. Obtenido de <https://www.simsa.com.pe/concentrado-de-plomo>
- Vera López, E., López Díaz, A., Pineda Triana, Y., & Useda Rodriguez, O. A. (2020). *Caracterización, beneficio y usos potenciales de minerales estratégicos del departamento de Bayoca*. Colombia: Uptc. Obtenido de <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/download/134/164/2727?inline=1>

ANEXOS

ANEXO 1

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 1

Ensaye químico

Ag g/T	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn %	PbOx %	ZnOx %

Tabla 2

Gravedad específica de muestra

Muestra	Peso M (g)	Peso (g) F	Peso F+M(g)	Peso agua F+H ₂ O (g)	Peso de fiola+M+H ₂ O (g)	Ge g/cm ³
001-M						

Tabla 3

Cuadro de dureza para minerales

DESCRIPCION	LIMITE Wi (kWh/tm)
Muy blando	7,26
Blando	7,26 – 10,89
Medio	10,89 – 14,51
Duro	14,51 – 18,14
Muy Duro	18,14 – 21,77
Extremadamente duro	21,77

Tabla 4

Prueba de moliendabilidad

TIEMPO DE MOLIENDA	m-200 AC (-)	m+65 AC (+)
0		
10		
15		
20		
55% m-200 mallas =		

Tabla 5

Ensaye de concentrado bulk

Ag g/t	Cu %	Pb%	Zn %	Fe %	Mn %	As %

ANEXO 2
Fotografías



Fotografía 1. Muestras de minerales



Fotografía 2. Chancado de muestra



Fotografía 3. Molienda de mineral



Fotografía 4. Vaciado de pulpa molida



Fotografía 5. Preparación de reactivos de flotación



Fotografía 6. Celda de Flotación



Fotografía 7. Acondicionamiento de la pulpa



Fotografía 8. Formación de espumas en la celda de flotación



Fotografía 9. Tapando el Filtro



Fotografía 10. Filtrado de concentrado



Fotografía 11. Secado de concentrado



Fotografía 12. Microscopio de minerales opacos



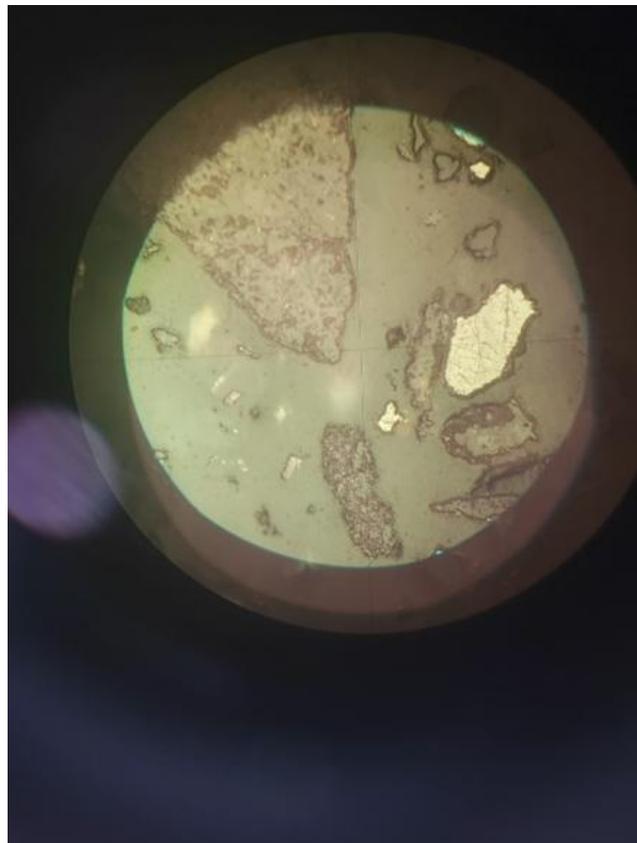
Fotografía 13. Desbaste de probeta con lijas



Fotografía 14. Pulidora de probetas



Fotografía 15. Probetas preparadas para la visualización



Fotografía 16. Vista de sección pulida

ANEXO 3 HOJA DE SEGURIDAD MSDS



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Metabisulfito Sódico.

Elaboración Enero 2021 / Próxima revisión Enero 2022

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA QUÍMICA PELIGROSA O MEZCLA Y DEL PROVEEDOR O FABRICANTE.

Producto:	Metabisulfito Sódico.
Nombre Químico:	Metabisulfito Sódico.
Sinónimos:	Disulfito disódico. Pirosulfito disódico
Formula:	Na2S2O5
#CAS:	7681-57-4
Clase del producto:	Irritante
Uso:	El metabisulfito de sodio tiene como principal aplicación la eliminación del Cloro, este último es extremadamente agresivo con las membranas de osmosis y a su vez reacciona también con las Cloraminas. Es un excelente agente reductor y la dosificación correcta funciona como reemplazo de los filtros de carbón activado en la adsorción de muchos compuestos clorados

Datos del proveedor o fabricante
ISQUISA S.A. DE C.V.
Av. 51 No 220 entre Calles 1 y 2.
Col. Tranca de Tubos, Córdoba, Veracruz. CP 94500.
Tel.: (01 271) 71 718 00
E-mail: isquisa@isquisa.com
WEB: www.isquisa.com

Número de teléfono en caso de emergencia.
(271) 71 718 00 Ext. 1143; 1802. Seguridad Industrial; las 24 hrs.
01 800 00214 00 SETIQ en México

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS.

Clasificación de la sustancia o mezcla
Órganos que ataca: Sistema respiratorio, ojos, piel.
Clasificación SGA:

Toxicidad aguda Oral (Categoría 4).
Toxicidad aguda, dérmica (categoría 5).
Oculares graves Irritante (Categoría 2A).

Elementos de la etiqueta:



Pictograma:
Palabra de advertencia: ATENCION PELIGRO

Indicaciones de peligro
H302 - Nocivo en caso de ingestión.
H313 - Puede ser nocivo para la piel.
H318 - Provoca lesiones oculares graves.
H319 - Provoca irritación ocular grave.
H402 - Nocivo para los organismos acuáticos.

Consejos de prudencia

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Metabisulfito Sódico.

Elaboración Enero 2021 / Próxima revisión Enero 2022

P264 - Lavarse con agua y jabón concienzudamente tras la manipulación.
P270 - No comer, beber o fumar durante su utilización.
P273 - Evitar su liberación al medio ambiente.
P280 - Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.
P305, P351 y P338 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuague con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto si están presentes y continuar enjuagando.

Otros peligros: No especificado

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTE.

Nombre Químico	# CAS	% wt. aprox.	TWA/TLV
Metabisulfito de Sodio	1310-73-2	99	5 mg/m ³ (2ppm)

Nocivo por ingestión. En contacto con ácidos libera gases tóxicos. Riesgo de lesiones oculares graves

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

Indicaciones Generales: Cambiarse la ropa contaminada.
Inhalación: En caso de malestar tras inhalación de polvo; respirar aire fresco y buscar atención médica. Tras inhalación de productos de descomposición; inhalar inmediatamente una dosis de aerosol con corticosteroides.
Contacto Ocular: Lave bien los ojos inmediatamente al menos durante 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente. Busque atención médica oftalmológica.
Contacto Dérmico: Lave la piel con abundante agua y jabón.
Ingestión: Lavar bien la boca y beber abundante agua. Indicaciones para el médico
Peligros: Después de la ingesta, existe el riesgo de formación de dióxido de azufre por la reacción con los jugos gástricos.

SECCIÓN 5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Medios de Extinción adecuados: Espuma
Riesgos especiales: Dióxido de azufre. En caso de incendio próximo pueden desprenderse las sustancias o grupos de sustancias mencionadas.
Vestimenta de protección especial: Protéjase con un equipo respiratorio autónomo.
Información adicional: El agua de extinción contaminada debe ser eliminada respetando las legislaciones locales vigentes. En caso de incendio y/o explosión no respire los humos.

SECCIÓN 6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL O FUGA ACCIDENTAL.

Medidas de Protección para el Medio Ambiente:
Evitar que el producto penetre en el alcantarillado, aguas superficiales o subterráneas y en el suelo/subsuelo.
Método para la Limpieza/Recogida:

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD Metabisulfito Sódico.

Elaboración Enero 2021 / Próxima revisión Enero 2022

Utilícese equipo mecánico de manipulación. Eliminar inmediatamente el material recogido de acuerdo con la reglamentación.

SECCIÓN 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

Componentes con valores límites controlables en el lugar de trabajo:

7681-57-4:		Disulfito Disódico
Valor TWA	5 mg/m ³ (LEP – España) 7446-09-5:	Dióxido de Azufre
Valor TWA	5.3 mg/m ³ : 2 ppm (LEP – España)	
Valor STEL	13 mg/m ³ : 5 ppm (LEP – España)	

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL.

Medidas de Protección para las Personas:

Utilizar ropa de protección personal. Procurar una ventilación apropiada. Evite la formación de polvo. Evite el contacto con los ojos.

Protección de los ojos: Usar gafas protectoras de seguridad ajustadas al contorno del rostro (gafas cesta) (EN 166).

Protección de las manos: Usar guantes de protección resistentes a productos químicos (EN 374). Materiales adecuados para un contacto directo y prolongado (se recomienda factor de protección 6, que corresponde a >480 minutos de tiempo de permeabilidad según EN 374): Cloruro de polivinilo (PVC) – 0.7 mm de espesor del recubrimiento. Caucho nitrilo (NBR) – 0.4 mm de espesor del recubrimiento.

Indicaciones adicionales:

Los datos están basados en ensayos propios, bibliografía e informaciones de fabricantes de guantes, o bien, los datos se han deducido por analogía a sustancias similares. Debido a diversos factores como, por ejemplo, la temperatura, en la práctica el tiempo de utilización diario de unos guantes de protección resistentes a productos químicos es claramente inferior a los guantes, conforme a EN 374 en el que se establece el tiempo de permeabilidad. Debido a la gran variedad de tipos, se debe tener en cuenta el manual de instrucciones del fabricante.

Protección respiratoria:

Protección adecuada para las vías respiratorias a bajas concentraciones o incidencia a corto plazo: Filtro de partículas tipo P1 ó FFP1 (poca eficacia para partículas sólidas, p.ej. EN 143, 149).

Protección de las vías respiratorias en caso de formación de aerosol / polvo inhalable: Filtro combinado EN 141 ABEK-P3 (gases/vapores de compuestos orgánicos, inorgánicos, ácidos inorgánicos, alcalinos y partículas tóxicas).

Medidas especiales de protección e Higiene:

Manipular el producto de acuerdo con las normas de seguridad para productos químicos. No respirar los vapores ni el polvo. Lavarse las manos y la cara antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Metabisulfito Sódico.

Elaboración Enero 2021 / Próxima revisión Enero 2022

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Estado Físico:	Polvo cristalino
Color:	Blanco hasta ligeramente amarillento
Olor:	Ligero olor a ácido de azufre.
Valor pH:	4.0 – 4.8 (5% (m), 20 °C)
Punto de descomposición:	150 °C
Presión de vapor:	La presión de vapor de la solución acuosa se compone de la presión parcial para el agua y de la presión parcial del dióxido de azufre.
Densidad:	1.48 g/cm ³ (20 °C)
Peso específico:	1.000 – 1.200 kg/m ³
Coefficiente de dispersión n-octanol/agua (log Pow):	-3.7

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.

Descomposición Térmica:	150 °C. Para evitar descomposición térmica, NO recalentar.
Sustancias a Evitar:	Ácidos, medios oxidantes, nitritos, nitratos, sulfuros.
Reacciones Peligrosas:	Reacciones con nitritos, nitratos y agentes oxidantes.
Productos Peligrosos de Descomposición:	Dióxido de azufre

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.

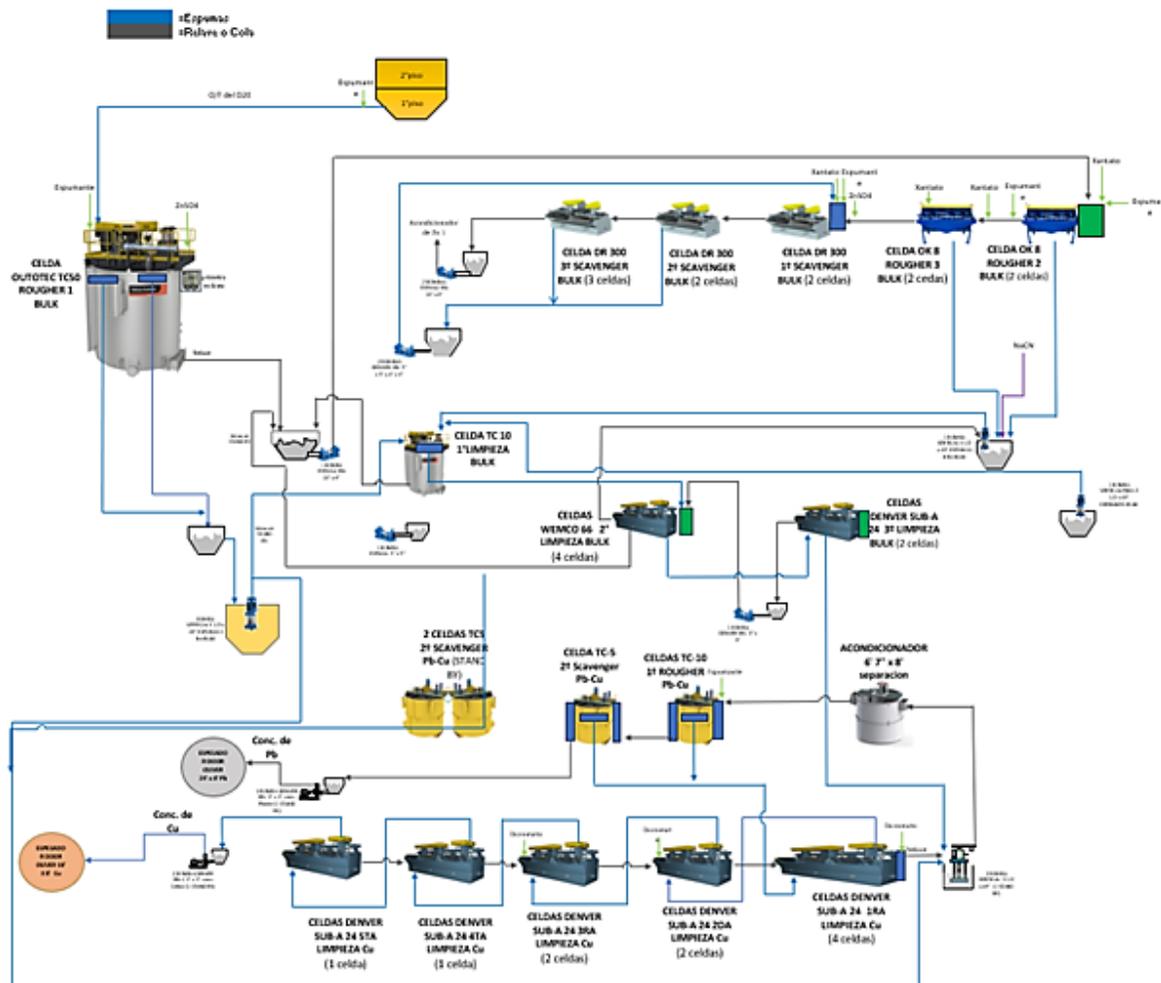
DL50 Ingestión/ rata/macho/hembra:	1.540 mg/kg (Directiva 401 de la OCDE). Nocivo por ingestión
Irritación primaria en piel/conejo:	No irritante (Directiva 404 de la OCDE)
Irritación primaria en mucosa/conejo:	Riesgo de lesiones oculares graves (Directiva 405 de la OCDE). No se puede descartar un efecto sensibilizante en personas particularmente afectables.
Información Adicional:	La sustancia presentó efectos mutagénicos en diversos test realizados en microorganismos, sin embargo, estos resultados no se han podido confirmar en ensayos realizados con mamíferos. Durante los ensayos en el animal no se observaron efectos que perjudican la fertilidad. En experimentación animal no se ha presentado ningún indicio de efectos perjudiciales para la fertilidad.
Experiencias en personas:	En casos aislados se han descrito irritaciones en la piel.

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA.

Ecotoxicidad
Toxicidad en peces
Otro(a)s estático
Lepomis macrochirus CL50 (96h): 32 mg/l
Concentración nominal

ANEXO 4 Diagrama de flujo de separación

FLOW SHEET DE FLOTACIÓN BULK Y SEPARACIÓN



SECCION FLOTACION BULK		HP
1	CELDA OUTOTEC TC 50 ROUGHER 1 BULK	70
2	CELDA OK 8 ROUGHER 2 BULK	70
2	CELDA OK 8 ROUGHER 3 BULK	70
2	CELDA DR 300 1º SCAVENGER BULK	120
2	CELDA DR 300 2º SCAVENGER BULK	120
3	CELDA DR 300 3º SCAVENGER BULK	180
2	BOMBA DENVER SRL 5' x 5' y 6' x 6'	60
2	BOMBA ESPIASA SRL 10' x 8"	230
1	BOMBA ESPIASA SRL 10' x 8"	100
1	BOMBA VERTICAL 3 1/2 x 48' ESPUMAS I Ro BULK	30
1	BOMBA VERTICAL 3 1/2 x 48' ESPUMAS II Ro BULK	30
1	CELDA TC 10 1ª LIMPIEZA BULK	40
4	CELDA WEMCO 66 2ª LIMPIEZA BULK	60
2	CELDA DENVER SUB-A 24 3ª LIMPIEZA BULK	40
1	BOMBA VERTICAL RAV 3 1/2 x 48' DERRAMES BULK	20
1	BOMBA DENVER SRL 3' x 3'	20
1	BOMBA ESPIASA 5' x 5'	20
SECCION FLOTACION SEPARACION		
1	ACONDICIONADOR 6' 7' x 8' separacion	20
2	CELDA DENVER SUB-A 100 1º ROUGHER Pb-Cu	60
4	CELDA DENVER SUB-A 80 2º ROUGHER Pb-Cu	100
4	CELDA DENVER SUB-A 80 1º SCAVENGER Pb-Cu	120
2	BOMBA VERTICAL 3 1/2 x 48'	15
4	CELDA DENVER SUB-A 24 3CV Cu	80
2	CELDA DENVER SUB-A 24 RO Cu	40
1	CELDA DENVER SUB-A 24 1RA LIMPIEZA Cu	20
1	CELDA DENVER SUB-A 24 2DA LIMPIEZA Cu	20
1	CELDA DENVER SUB-A 24 3RA LIMPIEZA Cu	20
1	CELDA DENVER SUB-A 24 4TA LIMPIEZA Cu	20
1	BOMBA DENVER SRL-C 3' x 3' conc. Cobre	10
1	BOMBA DENVER SRL-C 3' x 3' stan-by conc. Cobre	40
1	BOMBA DENVER SRL 3' x 3' conc. Plomo	40
1	BOMBA DENVER SRL 3' x 3' stan-by conc. Plomo	40