

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALURGICA



T E S I S

**Evaluación metalúrgica del mineral de la veta Llacsacocha para la
recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron -
Pan American Silver Pasco – 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Estefany Cinthia Nicol ESPIRITU ORTEGA

Bach. Raul Antonio MUÑOZ RAMOS

Asesor:

Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALURGICA



T E S I S

**Evaluación Metalúrgica del Mineral de la veta Llacsacocha para la
Recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Planta Concentradora Huaron
- Pan American Silver Pasco – 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS
MIEMBRO

Mg. Carlos Lizardo ACOSTA CRESPO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 335-2025-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 mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco
– 2024

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Estefany Cinthia Nicol ESPIRITU ORTEGA

Bach. Raul Antonio MUÑOZ RAMOS

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

9 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 15 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
DIDRO Ruben Edgar FAU
20154005040 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15.10.2025 13:47:42 -05:00

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedicamos a Dios quien nos guía por el buen camino, nos da fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades.

De: Estefany Cinthia Nicol Espiritu Ortega

A mi madre Hilda Rosa, que desde el cielo guiaste cada paso de mi camino. Tu amor, tu fuerza y tus enseñanzas siguen siendo mi motor, aunque ya no estés físicamente a mi lado. Este logro es también tuyo, porque sembraste en mí el valor de no rendirme. A mi querida hija, por acompañarme con su paciencia, ternura y amor durante todo este camino. A mis hermanas y a mi papito, por ser mi sostén cuando más lo necesité. Su apoyo incondicional hizo posible que hoy esté aquí, culminando este sueño.

De: Raul Antonio Muñoz Ramos

A mis padres que gracias a su sabiduría influyeron en mi para lograr todas mis metas en la vida. Esta tesis también va en agradecimientos mis hermanos, y maestros que supieron apoyarme en el transcurso de esta tesis.

Gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos profundamente a Dios, por habernos dado la fuerza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de nuestra vida.

También queremos agradecer a nuestra alma mater nuestra querida Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y a los docentes de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica que formaron parte de nuestro proceso académico, por compartir generosamente sus conocimientos, por su dedicación y el compromiso con nuestra formación profesional.

RESUMEN

Respecto al estudio sobre “Evaluación metalúrgica del mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huarón - Pan American Silver Pasco – 2024”, el objetivo evaluar mediante pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huarón - Pan American Silver Pasco – 2024, el enfoque de investigación es cuantitativa de tipo de investigación aplicada - tecnológica. La población estuvo conformada por Mineral Zona Media NV 180 Estructura Veta Llacsacocha TJ 249C. De las pruebas realizadas se llegó a las siguientes conclusiones: se determinó que la dureza del mineral fue de 13.43 kW-h/TM, lo que se considera una dureza media.

El análisis químico de la muestra indico la presencia de 0.21% de cobre, 0.61% de plomo, 3.90% de zinc y 160.99 gr/tn de plata. Estos valores están relacionados con la presencia de varios minerales, incluyendo galena, geocronita, calcopirita, cobres grises y secundarios, esfalerita y otros.

Y por último la recuperación de cobre, plomo y zinc fue favorable, principalmente debido a que la ley de cabeza está por debajo de los resultados diarios y la calidad de los concentrados está dentro de los grados comerciales. La recuperación de plata también fue aceptable, influenciada por la ley de cabeza de plomo y la cinética de flotación. Sin embargo, la performance de plomo no es favorable debido a su baja calidad.

Palabras clave: pruebas metalúrgicas, flotación, batch, recuperación, ley.

ABSTRACT

Regarding the study on “Metallurgical evaluation of the Llacsacocha vein ore for the concentration of Ag, Cu, Pb and Zn in Huaron concentrator plant - Pan American Silver Pasco - 2024”, the objective was to evaluate by metallurgical tests the Llacsacocha vein ore for the concentration of Ag, Cu, Pb and Zn in Huaron concentrator plant - Pan American Silver Pasco - 2024, the research approach is quantitative of applied - technological research type. The population was confirmed by Mineral Middle Zone NV 180 Llacsacocha Vein Structure TJ 249C.

From the tests carried out, the following conclusions were reached: it was determined that the hardness of the mineral was 13.43 kW-h/TM, which is considered medium hardness.

The chemical analysis of the sample indicated the presence of 0.21% copper, 0.61% lead, 3.90% zinc and 160.99 gr/tn silver. These values are related to the presence of several minerals, including galena, geochronite, chalcopyrite, gray and secondary copper, sphalerite and others.

Finally, the recovery of copper, lead and zinc was favorable, mainly because the head grade is below the daily results and the quality of the concentrates is within commercial grades. Silver recovery was also acceptable, influenced by the lead head grade and flotation kinetics. However, the lead performance is not favorable due to its low quality.

Key words: metallurgical testing, flotation, batch, recovery, grade.

INTRODUCCIÓN

El presente informe presenta un resumen de las pruebas metalúrgicas y estudios mineralógicos realizados en el Mineral Zona Media NV 180 Estructura Veta Llacsacocha TJ 249C. Los resultados muestran que el mineral presenta contenidos significativos de plata, cobre, plomo, zinc, hierro, manganeso y Arsenio, con un contenido de óxidos del 25.37% PbOx y 1.45% ZnOx. El índice de trabajo comparativo presenta un valor de 13.43 kW-h/TM, superior al estándar de 13.0 kW-h/TM, lo que indica una dureza media.

Los resultados de las evaluaciones muestran un comportamiento metalúrgico regular en respuesta a las condiciones fisicoquímicas estándares. Los concentrados obtenidos presentan calidad de cobre del 16.59%, plata del 10573.63 gr/Tn, plomo del 41.77%, zinc del 53.10% y fierro del 21.41%. La recuperación acumulada de plata es del 81.99%.

La plata se correlaciona positivamente con el cobre y el plomo, lo que sugiere alta recuperación de plata con buenas concentraciones. La plata también se correlaciona positivamente con antimonio, lo que podría indicar la presencia de argentotetraedrita o pirargirita. El cobre muestra correlaciones positivas con el plomo y el antimonio, lo que podría sugerir la presencia de Bournonita. Las altas correlaciones positivas entre los valores de plata, cobre, plomo, hierro, bismuto y antimonio sugieren correlaciones positivas y relación con la presencia de un mayor contenido de plata, lo que podría indicar la presencia de sulfosales de plata.

El comportamiento metalúrgico se contrasta con los ensayos químicos y la microscopía óptica cualitativa, que permiten la identificación mineralógica. La rodocrosita y la alabandita no se pueden identificar a simple vista, pero las correlaciones negativas con los valores de interés sugieren la presencia de rodocrosita debido al contenido de manganeso en la cabeza.

En general, el tratamiento de este mineral presenta un comportamiento metalúrgico regular debido a las calidades del concentrado de cobre y plomo y la cinética de flotación controlada. El tratamiento debe considerarse para nuestro proceso

con blending de acuerdo con la ley plomo para un buen performance metalúrgico.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE GRAFICOS	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación teórica	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.....	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.2. Bases teóricas – científicas.....	7
2.2.1. Mineral	7

2.2.2.	Minerales polimetálicos	8
2.2.3.	Molienda de minerales	9
2.2.4.	Pruebas de moliendabilidad	10
2.2.5.	Curvas de moliendabilidad	10
2.2.6.	Flotación de minerales	11
2.2.7.	Proceso químico de flotación de minerales	11
2.2.8.	Efecto de los reactivos de flotación	12
2.2.9.	Pruebas de flotación batch	14
2.2.10.	Cinética de flotación.....	14
2.2.11.	Recuperación metalúrgica.....	16
2.3.	Definición de términos básicos.....	17
2.4.	Formulación de hipótesis	19
2.4.1.	Hipótesis general	19
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	19
2.5.	Identificación de variables.....	19
2.5.1.	Variables independientes	19
2.5.2.	Variables dependientes.....	19
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	20

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación	21
3.2.	Nivel de Investigación	21
3.3.	Método de investigación	22
3.4.	Diseño de investigación	22
3.5.	Población y muestra	22
3.5.1.	Población	22
3.5.2.	Muestra.....	23
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23

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
4.1.1. Metodología de trabajo.....	27
4.1.2. Identificación del mineral.....	29
4.1.3. Porcentaje de arcilla de la muestra	30
4.1.4. Pruebas de moliendabilidad	31
4.1.5. Determinación de work index comparativo	33
4.1.6. Prueba de flotación batch selectiva	34
4.1.7. Cinética de flotación bulk / zinc	38
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	42
4.2.1. Regresiones entre elementos químicos	43
4.2.2. Estudio de microscopia óptica.....	45
4.2.3. Estudio de malla valorada relave final	50
4.3. Prueba de Hipótesis.....	51
4.4. Discusión de resultados.....	52

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	20
Tabla 2. Ensayo químico del mineral	29
Tabla 3. Porcentaje de arcilla de la muestra	31
Tabla 4. Tiempo de moliendabilidad malla -200 55%.....	32
Tabla 5. Tabla de dureza del mineral.....	34
Tabla 6. Condiciones de las pruebas de flotación batch	35
Tabla 7. Cinética de flotación bulk	39
Tabla 8. Cinéticas de flotación zinc	40
Tabla 9. Regresiones cinética selectiva circuito bulk	43
Tabla 10. Regresiones cinéticas selectiva circuito de zinc.....	44
Tabla 11. Descripción de minerales	45
Tabla 12. Clasificación del tipo de mineral.....	46
Tabla 13. Distribución por mallas del relave final	50
Tabla 14. (Regresiones Relave Final).....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas de moliendabilidad (Ac vs tiempo de moliendabilidad).....	32
Gráfico 2. Formula de Bond	33
Gráfico 3. Esquema general de pruebas	35
Gráfico 4. Cinetica de flotación bulk	39
Gráfico 5. Calidad de recuperación bulk	39
Gráfico 6. Cinetica de flotación zinc	41
Gráfico 7. Cinética de valores de zinc	41
Gráfico 8. Concentrado de Bulk malla +400	46
Gráfico 9. Concentrado de Bulk malla +400	47
Gráfico 10. Concentrado Zn malla +400.....	48
Gráfico 11. Concentrado zinc malla +400	48
Gráfico 12. Relave Final malla +400	49
Gráfico 13. Relave Final malla +400	50

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La Pan American Silver Corporation es una empresa líder en la producción de plata y otros metales. Una de sus operaciones es la mina Huarón, ubicada en el distrito de Huayllay, provincia de Pasco, departamento de Pasco, en Perú. La mina, que funciona desde 1912, es un depósito polimetálico hidrotermal que produce plata, plomo, zinc y cobre, Sin embargo, para determinar la explotación y extracción de estructuras mineralizadas es necesario determinar si es posible su tratamiento y recuperación, concentrar los minerales para elevar su contenido metálicos en los concentrados obtenidos en la planta concentradora es producto cual será comercializado, por ese motivo no podemos solo tomar una decisión a base de las leyes de cabeza.

Los minerales con potencial económico de la Zona Media NV 180, específicamente en la estructura del Veta LLacsacocha, identificado como Labor TJ 249C, caracterizados por su contenido de cobre, plomo y zinc con altos contenidos de plata. Por este motivo, es necesario realizar un estudio de una caracterización geo metalúrgica, con la finalidad de obtener recuperaciones y calidad de concentrados cobre, plomo, zinc y plata

Por este motivo se realizará pruebas metalúrgicas para determinar métodos y técnicas de procesamiento más eficientes y establecer parámetros de operación y caracterización, los cuales serán el grado de moliendabilidad y flotación batch.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La empresa minera Pan American Silver Huarón se encuentra ubicada en:

- Distrito: Huallay
- Provincia: Pasco
- Departamento: Pasco

1.2.2. Delimitación teórica

La delimitación teórica se centra en estas variables para proporcionar una comprensión clara y precisa de las relaciones entre la flotación por espumas y la recuperación de plomo, zinc y plata.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo evaluar mediante pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024??

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo evaluar el grado de moliendabilidad del mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024?
- b. ¿Cómo evaluar mediante pruebas de flotación batch el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar mediante pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el grado de moliendabilidad del mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.
- b. Evaluar mediante pruebas de flotación batch el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.

1.5. Justificación de la investigación

Realizar pruebas metalúrgicas de minerales polimetálicos es justificable por varias razones: como primer punto estas pruebas permiten determinar la adaptabilidad del mineral con relación al tipo de planta a utilizar en el procesamiento de minerales, lo que es fundamental para la toma de decisiones operativas, de inversión o de factibilidad.

En segundo lugar, las pruebas metalúrgicas pueden reproducir y predecir el tratamiento de los minerales, lo que es crucial para optimizar el procesamiento de los mismos y maximizar la recuperación de los metales valiosos.

En tercer lugar, las pruebas metalúrgicas pueden ayudar a determinar los parámetros de molienda, como el grado de molienda, el cálculo del tamaño de bola y carga moledora, el análisis granulométrico y la velocidad crítica, lo que es importante para el diseño del procesamiento de minerales y cinética de flotación, dosificación de reactivos.

1.6. Limitaciones de la investigación

Entre las limitaciones al desarrollar las pruebas metalúrgicas de minerales polimetálicos tenemos la variabilidad de los resultados: los resultados de las pruebas metalúrgicas pueden variar según las condiciones del mineral y los parámetros utilizados en las pruebas, lo que puede complicar la toma de decisiones.

Otra limitación es la necesidad de realizar pruebas a escala industrial: Las pruebas metalúrgicas realizadas a escala de laboratorio o planta piloto pueden no ser representativas de las condiciones reales de operación, por lo que se requiere realizar pruebas a escala industrial para confirmar los resultados.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

(Hualpa Antoniete, 2018), En sus tesis intitulado “Concentración por flotación de minerales sulfurados: plata, plomo, cobre, zinc y oro en minerales polimetálicos”, el mineral utilizado en la presente tesis era un compuesto de mineral polimetálico proveniente de diferentes minas ubicadas en la zona de Huaraz-Ancash. Las variedades presentes en este mineral incluían calcopirita (CuFeS_2), galena (PbS) y esfalerita (ZnS), con presencia de oro y plata. El propósito de esta investigación era implementar el proceso de flotación, abarcando las fases de flotación Bulk, flotación Zn y flotación selectiva para la recuperación de Cu-Pb. Durante la fase experimental, se emplearon diversos agentes de flotación específicos para cobre, plomo, plata y zinc. Se estableció un nivel de trituración entre el 60% y 65% -200m. Tras analizar los resultados, se determinó que el nivel óptimo de trituración era del 60% -200m. La obtención del concentrado de zinc se logró mediante la implementación de 2 etapas de limpieza.

Para la separación de Cu-Pb, se utilizó la técnica de deprimir el Pb (PbS) mediante una combinación de bicromato de K, CMC (almidón y fosfato monosódico). Esta estrategia condujo a la obtención de concentrados

comerciales de plomo y cobre. Los resultados obtenidos de la modelación matemática, evaluados a través de los factores Split, mostraron una notable concordancia con los datos experimentales del laboratorio. Por consiguiente, se concluye que este enfoque es viable para ser implementado en simulaciones a nivel industrial.

(Benites Laurente & Doloriega Flores, 2019) en su tesis intitulado “Tratamiento de minerales mediante el blending para mejorar la calidad de concentrado de plomo zinc de la minera Toropunto a nivel experimental-2019” el objetivo del estudio fue buscar la calidad y recuperación de plomo, plata y zinc utilizando el método de concentración por flotación. La metodología empleada implicó un enfoque experimental cuantitativo que produjo resultados concretos. El estudio experimental se desarrolló en los laboratorios de Denwood Holdings Perú Metal SAC. Los resultados obtenidos al emplear la técnica de mezcla (blending) en contraste con el tratamiento individual de la chasca revelaron una mejora en la calidad de los concentrados de plomo, plata y zinc. Aunque se observó una mejora en la recuperación de plomo y plata, no se evidenciaron mejoras significativas en la recuperación de zinc.

Además, se encontró que la dosificación de los A3418 y A208 mejoró la recuperación del plomo y la plata, pero no tuvo efectos positivos en la recuperación del zinc. Por otro lado, se observó que, al disminuir la dosificación de los depresores, se mejoró la calidad del concentrado de plomo y zinc, pero no se encontraron mejoras en la calidad del concentrado de zinc en lo que respecta al plomo y la plata.

(Henry, 2018) en su tesis intitulado “Optimización de la Flotación Polimetálica en la planta concentradora Mallay” señala que la optimización de flotación consiste en cuantificar el rendimiento del proceso de flotación mediante el empleo de un modelo adecuado que relacione la recuperación y/o ley de la especie mineral valiosa con las variables controlables del proceso.

En el proceso de flotación, las variables consideradas están interrelacionadas y carecen de independencia entre sí debido a estas interacciones. Por lo tanto, el desafío principal reside en diseñar estrategias efectivas para identificar estas interacciones mediante pruebas experimentales. Antes de implementar mejoras, observó la necesidad de ajustar el tamaño de partícula en la molienda a un 70% de malla -200, seguido por la optimización de la dosificación de reactivos para la recuperación de Pb-Ag. Los resultados del diseño experimental, utilizando un diseño factorial, demostraron que se logra una recuperación óptima del 92.12% de Pb-Ag al mantener un equilibrio adecuado en la dosificación de A-242, A-3418 y una granulometría del 70% - 200 mallas. En cuanto a la recuperación de Zinc, se destaca la importancia de considerar la dosificación de Z-11 y CuSO₄ junto con la misma granulometría, logrando una recuperación cercana al 91% de Zinc. El análisis de varianza resalta la relevancia de todas las variables y sus interacciones en la optimización del proceso de flotación, donde el equilibrio en los reactivos según los niveles máximos y mínimos resulta fundamental para obtener recuperaciones óptimas.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Mineral

Los minerales son sustancias inorgánicas sólidas y naturales con una composición química definida y una estructura cristalina ordenada. Se forman a través de procesos geológicos en la corteza terrestre y pueden encontrarse en rocas, suelos y sedimentos. Los minerales son la base de la mayoría de los materiales que utilizamos en nuestra vida diaria, desde metales como el hierro y el cobre hasta gemas como el diamante y el cuarzo. Tienen propiedades físicas y químicas únicas que los distinguen, como dureza, color, brillo y reactividad química. Los minerales se utilizan en una amplia gama de industrias, incluyendo la construcción, la electrónica, la joyería, la agricultura y la medicina.

Su estudio es fundamental en la geología y la minería para comprender la historia de la Tierra y para la extracción sostenible de recursos minerales.

Dureza de mineral

Se refiere a la resistencia de la superficie de un mineral al rayado. Es una medida de la dureza del mineral y está determinada por la escala de Mohs, que va del 1 al 10, siendo 1 el más blando y 10 el más duro. La escala de Mohs se basa en el principio de que una sustancia puede rayar a otras que sean más blandas, pero no a las que sean más duras. Por ejemplo, el talco tiene una dureza de 1 y puede rayarse con todos los demás minerales, mientras que el diamante tiene una dureza de 10 y puede rayar todos los demás minerales. La escala no es lineal, lo que significa que la diferencia de dureza entre dos minerales puede no ser proporcional a sus posiciones en la escala. La dureza de un mineral es una propiedad importante que se utiliza para identificar y clasificar minerales y está determinada por la composición y estructura del mineral.

2.2.2. Minerales polimetálicos

Un mineral polimetálico es un mineral que contiene varios metales preciosos o valiosos en su composición. Estos metales pueden incluir cobre, oro, hierro, molibdeno, zinc, plata y otros. La cantidad de metales presentes en el mineral, o ley del mineral, es importante para determinar la viabilidad económica de la extracción y procesamiento del mineral. La ley del mineral se mide en relación con la densidad o peso atómico del mineral o metal determinado, y puede expresarse en unidades de medida como gramos por tonelada.

En la minería, el término mena se refiere al mineral que contiene suficiente concentración de uno o más metales valiosos para justificar su extracción y procesamiento. Por lo tanto, un mineral polimetálico puede ser una mena si contiene suficiente cantidad de varios metales valiosos. La ley de la

mena se refiere a la cantidad de contenido de un determinado metal que se encuentra en la mena, y la ley de un yacimiento se refiere a la medida de la mena que se encuentra en un yacimiento.

Algunos ejemplos de minerales polimetálicos son:

Minerales con cobre, molibdeno y azufre: estos minerales se encuentran comúnmente en depósitos hidrotermales y a menudo se asocian con depósitos de pórfido de cobre, que son un tipo de depósito mineral que contiene cobre, oro y molibdeno.

Minerales con cobre, zinc y azufre: estos minerales también se encuentran comúnmente en depósitos hidrotermales y a menudo están asociados con la actividad volcánica.

Minerales con plomo, plata y zinc: estos minerales también se encuentran en depósitos hidrotermales y suelen estar asociados con depósitos de plomo-zinc, que son un tipo de depósito mineral que contiene plomo, zinc y plata.

Minerales con cobre, plomo, zinc y azufre: estos minerales se encuentran en depósitos hidrotermales y suelen estar asociados con la actividad volcánica

2.2.3. Molienda de minerales

Proceso de reducir el volumen promedio de partículas sólidas en una muestra de roca por medios mecánicos al tamaño deseado. Este proceso es un paso fundamental en la extracción de minerales y forma parte del proceso completo de fraccionamiento de la roca necesario para exponer las partículas del mineral deseado. La reducción del tamaño de partícula se logra dividiendo o fragmentando la muestra utilizando diferentes tipos de molinos, como molinos de bolas, molinos autógenos y molinos semiautógenos, dependiendo del tipo de mineral. El principal objetivo de los circuitos de molienda es reducir el tamaño del mineral para procesos de concentración (flotación, gravimétrica o magnética) y/o lixiviación en tanques. Los circuitos más utilizados en la actualidad son los molinos de bolas, que pueden usarse en primaria, secundaria y remolienda, y

utilizan como medio de molienda bolas de hierro con diámetros que van desde 4 a $\frac{3}{4}$ pulgadas para la molienda gruesa y fina, respectivamente. También se utilizan molinos semiautógenos (SAG), que utilizan menos bolas de hierro y más del mismo material como medio de molienda.

2.2.4. Pruebas de moliendabilidad

Se refiere a la facilidad o dificultad con la que un mineral puede ser molido o molido hasta un tamaño específico. Es una propiedad importante en el procesamiento de minerales, ya que afecta la energía requerida para la molienda y la eficiencia del proceso de molienda. La moliendabilidad de un mineral se puede determinar mediante diversas pruebas, como la prueba del índice de trabajo de Bond, que mide la energía requerida para moler una masa determinada de material desde un tamaño de alimentación específico hasta un tamaño de producto del 80% pasando de 100 micras.

La prueba se realiza en un molino de laboratorio estandarizado y los resultados se utilizan para calcular el índice de trabajo, que es una medida de la moliendabilidad del mineral. También se pueden utilizar otras pruebas, como la prueba del molino SAG y la prueba IsaMill, para determinar la moliendabilidad de minerales. Estas pruebas son importantes para optimizar el proceso de molienda y reducir el consumo de energía en las operaciones de procesamiento de minerales.

2.2.5. Curvas de moliendabilidad

La curva de moliendabilidad es una herramienta utilizada en la molienda de minerales para evaluar la dureza o resistencia al desgaste de un mineral durante el proceso de molienda. La curva se obtiene mediante la realización de pruebas de moliendabilidad, como el test de Bond, que mide la energía necesaria para reducir una muestra de mineral a un tamaño específico.

La curva de moliendabilidad permite determinar el índice de trabajo de molienda, que es una medida de la energía necesaria para reducir el tamaño de partícula del mineral.

Este índice se utiliza para diseñar y optimizar circuitos de molienda, seleccionar equipos adecuados y predecir el consumo de energía en el proceso de molienda.

La curva de moliendabilidad también se utiliza para determinar la eficiencia del proceso de molienda y la capacidad de los equipos de molienda.

Una curva de moliendabilidad adecuada indica que el mineral se está moliendo de manera eficiente y que los equipos de molienda están funcionando correctamente.

Por el contrario, una curva de moliendabilidad inadecuada puede indicar problemas en el proceso de molienda, como un desgaste excesivo de los equipos o una baja eficiencia de molienda

2.2.6. Flotación de minerales

La mejor definición de flotación de minerales es que es un proceso selectivo utilizado en la concentración de minerales que se basa en la adhesión selectiva de los minerales a burbujas de aire en una pulpa acuosa. Este método de procesamiento de minerales se fundamenta en las diferentes propiedades superficiales de los minerales, permitiendo la separación de minerales complejos. La flotación es un proceso eficaz y ampliamente utilizado en la industria minera para la separación de minerales valiosos de los minerales de diseño, formando un concentrado y un relave respectivamente. En la flotación, se utilizan reactivos químicos para generar superficies hidrofóbicas en los minerales valiosos, lo que facilita su separación de los minerales no deseados.

2.2.7. Proceso químico de flotación de minerales

El proceso químico de flotación implica la modificación de las propiedades superficiales de los minerales, lo que permite la separación de

minerales valiosos de los materiales de desecho. Este proceso se logra mediante la adición de reactivos químicos, como recolectores, espumantes, depresores y activadores, que modifican las propiedades superficiales de los minerales y promueven la formación de una espuma estable. Los reactivos utilizados en la flotación juegan un papel crucial en el proceso, ya que determinan la selectividad y eficiencia de la separación. La selección y optimización de reactivos es un aspecto clave del proceso químico de flotación, ya que impacta directamente en el rendimiento general del proceso. Además, el control de los parámetros del proceso, como el pH, la temperatura y el flujo de aire, es esencial para lograr un rendimiento óptimo de la flotación. En general, el proceso químico de flotación es un sistema complejo y dinámico que requiere un conocimiento profundo de la química de la superficie de los minerales y las interacciones entre los reactivos químicos y las superficies minerales.

2.2.8. Efecto de los reactivos de flotación

Los reactivos de flotación son sustancias químicas utilizadas en el proceso de flotación de minerales para modificar las propiedades superficiales de las partículas minerales y facilitar la separación selectiva de los minerales de interés de la ganga. Estos reactivos desempeñan roles específicos y se clasifican en diferentes categorías según su función en el proceso de flotación.

- 1. Colectores:** Son reactivos que se adsorben selectivamente en la superficie de los minerales de interés, formando una capa hidrofóbica que facilita su adhesión a las burbujas de aire. Los colectores aumentan la hidrofobicidad de los minerales valiosos, permitiendo su separación de la ganga.
- 2. Espumantes (Frothers):** Estos reactivos se utilizan para estabilizar la espuma generada durante la flotación, mejorando la formación y estabilidad de la espuma. Los espumantes reducen la tensión superficial del agua y promueven la formación de burbujas de aire finas y estables.
- 3. Depresores:** Los depresores son reactivos que se utilizan para inhibir la

flotación de minerales no deseados, evitando su adhesión a las burbujas de aire. Estos reactivos ayudan a controlar la selectividad del proceso de flotación al suprimir la flotación de minerales indeseables.

4. **Activadores:** Los activadores son reactivos que se emplean para mejorar la flotación de minerales específicos que requieren una activación previa para su flotación efectiva. Estos reactivos modifican la superficie de los minerales, facilitando su adhesión a las burbujas de aire.
5. **Modificadores:** Los modificadores son reactivos que se utilizan para ajustar las propiedades superficiales de los minerales y controlar selectiva de los minerales de interés de la ganga. Estos reactivos desempeñan roles específicos y se clasifican en diferentes categorías según su función en el proceso de flotación.
6. **Colectores:** Son reactivos que se adsorben selectivamente en la superficie de los minerales de interés, formando una capa hidrofóbica que facilita su adhesión a las burbujas de aire. Los colectores aumentan la hidrofobicidad de los minerales valiosos, permitiendo su separación de la ganga.
7. **Espumantes (Frothers):** Estos reactivos se utilizan para estabilizar la espuma generada durante la flotación, mejorando la formación y estabilidad de la espuma. Los espumantes reducen la tensión superficial del agua y promueven la formación de burbujas de aire finas y estables.
8. **Depresores:** Los depresores son reactivos que se utilizan para inhibir la flotación de minerales no deseados, evitando su adhesión a las burbujas de aire. Estos reactivos ayudan a controlar la selectividad del proceso de flotación al suprimir la flotación de minerales indeseables.
9. **Activadores:** Los activadores son reactivos que se emplean para mejorar la flotación de minerales específicos que requieren una activación previa para su flotación efectiva. Estos reactivos modifican la superficie de los minerales, facilitando su adhesión a las burbujas de aire.

10. Modificadores: Los modificadores son reactivos que se utilizan para ajustar las propiedades superficiales de los minerales y controlar la selectividad del proceso de flotación. Estos reactivos pueden alterar la química de la superficie de los minerales para mejorar la separación selectiva.

La selección y dosificación adecuada de los reactivos de flotación son fundamentales para optimizar el rendimiento del proceso y lograr una separación eficiente de los minerales de interés. La interacción entre los diferentes reactivos y las condiciones de operación, como el pH, la temperatura y la agitación, influyen en la eficacia de la flotación y en la calidad del concentrado obtenido. Por lo tanto, el conocimiento y control de los reactivos de flotación son esenciales para el éxito de la operación de flotación en la industria minera.

2.2.9. Pruebas de flotación batch

Las pruebas de flotación batch, conocidas también como pruebas de ciclo, son pruebas a pequeña escala que se realizan en circuito abierto para analizar y explorar nuevas condiciones de operación en el proceso de flotación de minerales.

Estas pruebas permiten obtener resultados que pueden replicarse en ciertas condiciones de operación a mayor escala. En el contexto de la metalurgia y la minería, las pruebas de flotación discontinua son fundamentales para evaluar la eficacia de los reactivos de flotación, determinar la cinética de flotación y optimizar los parámetros de operación de las celdas de flotación. Estas pruebas proporcionan información valiosa para el diseño y la optimización de los circuitos de flotación, así como para la selección de equipos y reactivos adecuados en el procesamiento de minerales.

2.2.10. Cinética de flotación

La cinética de flotación se refiere al estudio de los mecanismos y procesos que ocurren durante la flotación de minerales y su relación con el

tiempo. La cinética de flotación es un aspecto fundamental en el procesamiento de minerales, ya que permite comprender y optimizar el rendimiento de los procesos de flotación.

La cinética de flotación se basa en el principio de que las partículas minerales se adhieren a las burbujas de aire y flotan en la superficie del agua, mientras que las partículas no deseadas se hunden. Este proceso se ve influenciado por diversos factores, como la velocidad de formación de burbujas, la adhesión de partículas a las burbujas, el tiempo de contacto entre las partículas y las burbujas, y la velocidad de ascenso de las burbujas con las partículas adheridas.

La cinética de flotación se estudia mediante la realización de pruebas de flotación discontinua, en las que se mide la cantidad de mineral flotado en función del tiempo. Estas pruebas permiten obtener información sobre la velocidad de flotación y la eficiencia del proceso, así como sobre los factores que influyen en el mismo.

La cinética de flotación se describe mediante diferentes modelos matemáticos, como el modelo de Langmuir, el modelo de Freundlich y el modelo de Elovich, entre otros. Estos modelos permiten predecir el comportamiento del proceso de flotación en función de diferentes variables, como la concentración de reactivos, el tamaño de partícula y la velocidad de agitación.

La cinética de flotación es una herramienta importante en el diseño y optimización de los procesos de flotación, ya que permite evaluar el impacto de diferentes variables en el rendimiento del proceso y determinar las condiciones óptimas de operación. Además, la cinética de flotación es útil en la evaluación de la eficiencia de diferentes reactivos y equipos de flotación, así como en la selección de los parámetros de operación adecuados para cada tipo de mineral.

La cinética de flotación es el estudio de los mecanismos y procesos que ocurren durante la flotación de minerales y su relación con el tiempo. La cinética

de flotación es un aspecto fundamental en el procesamiento de minerales, ya que permite comprender y optimizar el rendimiento de los procesos de flotación. La cinética de flotación se estudia mediante la realización de pruebas de flotación por lotes y se describe mediante diferentes modelos matemáticos. La cinética de flotación es una herramienta importante en el diseño y optimización de los procesos de flotación, ya que permite evaluar el impacto de diferentes variables en el rendimiento del proceso.

2.2.11. Recuperación metalúrgica

La recuperación metalúrgica de concentrados polimetálicos se refiere al proceso de separar y concentrar los metales valiosos de una mezcla de minerales. La flotación por espuma es una técnica utilizada en la recuperación metalúrgica de concentrados polimetálicos.

Las partículas de minerales hidrofóbicas se adhieren a las burbujas de aire y flotan en la superficie de la pulpa, mientras que las partículas hidrofílicas se hunden.

La recuperación metalúrgica de concentrados polimetálicos se logra mediante la separación de los minerales de interés de la ganga y la concentración de estos minerales en un concentrado. La flotación por espuma es una técnica eficaz para la recuperación metalúrgica de concentrados polimetálicos, ya que permite la separación selectiva de los minerales de interés de la ganga y la concentración de estos minerales en un concentrado.

La recuperación de concentrados de minerales se refiere al proceso de separar y concentrar los metales valiosos de un mineral crudo. La fórmula para calcular la recuperación de concentrados se basa en la ley del mineral en la alimentación, la ley del mineral en el concentrado y la ley del mineral en el relave. La fórmula es:

$$\text{Recuperación} = (\text{Ley del mineral en el concentrado} - \text{Ley del mineral en el relave}) / (\text{Ley del mineral en la alimentación} - \text{Ley del mineral en el relave}) \times 100$$

Esta fórmula se utiliza para calcular la eficiencia de la separación de los metales valiosos del mineral crudo. La ley del mineral en la alimentación se refiere a la concentración de metales valiosos en el mineral crudo antes del proceso de separación. La ley del mineral en el concentrado se refiere a la concentración de metales valiosos en el concentrado después del proceso de separación. La ley del mineral en el relave se refiere a la concentración de metales valiosos en el relave después del proceso de separación.

La recuperación de concentrados es una medida importante de la eficiencia del proceso de separación de metales valiosos del mineral crudo. La recuperación de concentrados se utiliza para evaluar la eficiencia de diferentes procesos de separación y para optimizar el proceso de separación para maximizar la recuperación de metales valiosos.

La recuperación de concentrados se utiliza en la industria minera para evaluar la eficiencia del proceso de separación de metales valiosos del mineral crudo. La recuperación de concentrados se utiliza para evaluar la eficiencia de diferentes procesos de separación y para optimizar el proceso de separación para maximizar la recuperación de metales valiosos. La recuperación de concentrados es una medida importante de la eficiencia del proceso de separación de metales valiosos del mineral.

2.3. Definición de términos básicos.

- **Work index:** El índice de trabajo es una medida de la energía necesaria para moler un material hasta un tamaño determinado. Se utiliza en la industria minera para evaluar la eficiencia de los circuitos de molienda y para diseñar y optimizar los procesos de trituración y molienda de minerales. Se expresa en unidades de energía por unidad de masa, como

kWh/tonelada.

- **Cinética de flotación;** se refiere al estudio de los procesos y velocidades de las reacciones que ocurren durante la flotación de minerales. Comprende la evaluación de la velocidad de flotación de los minerales, la adhesión a las burbujas de aire y la formación de la espuma. La cinética de flotación es crucial para comprender y optimizar los procesos de separación en la industria minera.
- **Constante de equilibrio:** en el contexto de la flotación de minerales es un parámetro que describe la relación entre las concentraciones de los reactivos y productos de una reacción de flotación en equilibrio. Esta constante es fundamental para entender la termodinámica de la flotación y para predecir el comportamiento de los minerales en el proceso.
- **Molienda de minerales:** es un proceso de reducción de tamaño de las partículas minerales mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Se realiza para liberar los minerales valiosos de la ganga y para preparar el material para procesos posteriores, como la flotación. La molienda puede realizarse en seco o en húmedo, y se utiliza una variedad de equipos como molinos de bolas, molinos SAG y trituradoras.
- **Flotación batch:** es una prueba a pequeña escala que se realiza en circuito abierto para evaluar nuevas condiciones de operación en el proceso de flotación de minerales. Estas pruebas permiten obtener resultados que pueden extrapolarse a una escala mayor y son fundamentales para el diseño y la optimización de los circuitos de flotación.
- **Concentración de minerales:** es el proceso de separar los minerales valiosos de la ganga para producir un concentrado enriquecido con los metales de interés. Se utilizan técnicas como la flotación, la gravimetría y la separación magnética para lograr una alta concentración de los

minerales valiosos.

- **Contenido metálico:** se refiere a la cantidad de metal presente en un mineral o concentrado, expresada generalmente en porcentaje de metal por peso. Es un parámetro importante en la industria minera para determinar la calidad y el valor de un mineral o concentrado.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La evaluación de acuerdo a las pruebas metalúrgicas del mineral de la veta Llacsacocha hará posible la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huarón - Pan American Silver Pasco – 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La evaluación del grado de moliendabilidad del mineral de la veta Llacsacocha es un factor determinante para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huarón - Pan American Silver Pasco – 2024.
- b. La evaluación mediante pruebas de flotación batch del mineral de la veta Llacsacocha permite encontrar parámetros para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huarón - Pan American Silver Pasco – 2024.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

Evaluación metalúrgica

2.5.2. Variables dependientes

Recuperación Metalúrgica

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente			
Evaluación metalúrgica	La evaluación metalúrgica es realizada con la finalidad de poder conocer la respuesta metalúrgica del mineral, de tal forma que podamos evaluar la el grado de molienda asi como la cinética de reacción, eficiencia y eficacia	Grado de molienda	Micras
		Cinética de Flotación	Tiempo / Recuperación
Variable dependiente			
Recuperación Metalúrgica	Razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa de material útil contenido en la alimentación, y se expresa como: Dónde: C = Peso del concentrado. c = Ley del mineral útil en el concentrado.	Recuperación Metalúrgica: $R = \frac{Cc}{Ff} \times 100$	C= peso del concentrado
			c = ley del mineral en el concentrado
			F=peso de la alimentación
			f = ley de mineral en la alimentación

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El proyecto de investigación expone una forma de investigación aplicada tecnológica en la cual se emplea el conocimiento científico y tecnológico para encontrar soluciones prácticas a problemas tecnológicos específicos. (Sampieri, 2010) menciona que la investigación aplicada tecnológica, se ubica en un nivel intermedio entre la investigación pura y la investigación de desarrollo. La investigación aplicada tecnológica tiene como objetivo principal generar conocimiento científico aplicable y utilizable en la resolución de problemas tecnológicos específicos.

Este tipo de investigación se caracteriza por su enfoque práctico y su relación directa con la solución de problemas técnicos y tecnológicos.

3.2. Nivel de Investigación

La presente investigación corresponde a un nivel descriptivo – explicativo.

Es descriptiva porque permite describir el comportamiento metalúrgico del mineral polimetálico de la veta Llacsacocha, a través de la determinación de sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, tales como la ley de cabeza,

grado de moliendabilidad, índice de trabajo, cinética de flotación y recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn, mediante pruebas metalúrgicas de laboratorio.

Asimismo, es explicativa porque analiza y explica la relación que existe entre las variables del proceso metalúrgico (molienda y flotación batch) y la recuperación de los metales valiosos, permitiendo comprender cómo las condiciones operativas influyen en la eficiencia del proceso de concentración.

3.3. Método de investigación

El método de investigación utilizado es el método científico, con un enfoque cuantitativo.

El método científico se aplicó de manera sistemática mediante la observación, formulación de hipótesis, experimentación y análisis de resultados, a partir de pruebas metalúrgicas realizadas en laboratorio, tales como ensayos de moliendabilidad, determinación del Work Index, pruebas de flotación batch y análisis de la cinética de flotación.

El enfoque cuantitativo se sustenta en la obtención y análisis de datos numéricos provenientes de los ensayos químicos, balances metalúrgicos, porcentajes de recuperación y leyes de concentrado, los cuales fueron procesados mediante herramientas estadísticas para validar las hipótesis planteadas.

3.4. Diseño de investigación

El proyecto de investigación a ejecutarse presenta un diseño de investigación explicativa, (Hernández, 2006) menciona que una investigación explicativa se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

(N.Kerlinger , 1975) define como población al conjunto completo de elementos o individuos que comparten una o varias características comunes y

que se consideran relevantes para el estudio en cuestión, la población puede ser finita o infinita, dependiendo de si se encuentran todos los elementos dentro del alcance del estudio o no. La población estará conformada por Mineral Zona Media NV 180 Estructura Veta Llacsacocha TJ 249C.

3.5.2. Muestra

(Hernandes Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 1997), la muestra es un subconjunto representativo seleccionado de la población total, que se utiliza para obtener información y realizar inferencias sobre la población en su conjunto. La muestra debe ser seleccionada de forma aleatoria, utilizando métodos estadísticos adecuados, para asegurar que sea representativa y generalizable a la población., con esta definición la muestra estará constituida por 50 kilogramos de la población.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Este proyecto de investigación empleará una amplia gama de equipos de medición e instrumentos de laboratorio para analizar las propiedades minerales e investigar el proceso de flotación. Los materiales necesarios incluyen cristalería de varios tamaños, buretas, pipetas, tamices y equipos como reactores de flotación, agitadores, calentadores y básculas precisas. El estudio práctico incluirá pruebas de flotación de laboratorio, que comprenden la preparación de muestras, la adición de reactivos, la mezcla de la suspensión mineral en el reactor de flotación, la formación de espuma y la separación de minerales de la espuma.

El proyecto tiene como objetivo medir la recuperación de metales en la sección de flotación, así como las concentraciones de cobre, plomo y zinc ricos en plata en muestras antes y después del proceso de flotación.

También se analizará la cinética de flotación para comprender cómo cambia la recuperación del metal con el tiempo durante el proceso. En esencia, este proyecto de investigación utilizará tecnología de medición y equipos de

laboratorio para realizar experimentos de flotación y analizar la cantidad de espuma y su impacto en la recuperación de metales. Se analizará la ley mineral, recuperación de metales y cinética de flotación. Las pruebas se realizarán en el Laboratorio Metalúrgico Pan American Silver Huarón en el distrito de Huayllay, Provincia y Región de Pasco.

El uso de diversos equipos de medición e instrumentos de laboratorio en el proyecto de investigación resalta la importancia de la tecnología para analizar las propiedades minerales y comprender el proceso de flotación. El estudio práctico implicará la realización de pruebas de flotación, que incluyen la preparación de muestras minerales, la adición de reactivos, la mezcla de suspensiones minerales en el reactor de flotación, la formación de espuma y la separación de minerales de la espuma. El objetivo del proyecto es medir la recuperación de metales en la sección de flotación, así como las concentraciones de cobre, plomo y zinc ricos en plata en muestras antes y después del proceso de flotación. También se analizará la cinética de flotación para comprender cómo cambia la recuperación del metal con el tiempo durante el proceso.

El uso de básculas, calentadores y agitadores precisos en el proyecto de investigación indica la importancia de controlar las condiciones en el proceso de flotación. Al analizar la cantidad de espuma y su impacto en la recuperación de metales, el proyecto pretende optimizar el proceso de flotación y aumentar la recuperación de metales valiosos. El análisis de la ley mineral, la recuperación de metales y la cinética de flotación proporcionará información valiosa sobre el proceso de flotación y ayudará a mejorar la eficiencia de la recuperación de metales.

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

Las pruebas metalúrgicas se llevaron a cabo en los laboratorios de la empresa minera Pan American Silver Huarón, situada en el distrito de Huallay, en el departamento y provincia de Pasco. Durante este proceso, las muestras fueron manipuladas con meticulosidad para garantizar la precisión de los datos y cálculos obtenidos en el marco de esta investigación. Es importante destacar que los equipos empleados en estas pruebas contaron con certificaciones de calidad otorgadas por los proveedores correspondientes, asegurando así la fiabilidad y exactitud de los resultados obtenidos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Aplicaremos nuestros conocimientos teóricos y prácticos para examinar y procesar la información recopilada de las pruebas metalúrgicas, analizando diversas situaciones, circunstancias y cantidades. Este análisis nos ayudará a identificar los elementos que influyen en la eficacia de la recuperación, al modificar la variable controlada y evaluar su impacto en la variable dependiente. Para agilizar estos procesos, haremos uso de hojas de cálculo y programas de estadística.

3.9. Tratamiento estadístico.

Para realizar los análisis estadísticos, se utilizarán modelos tabulares y gráficos para procesar los datos, junto con software como Minitab 19 y Ms-Excel 2020. Se encontrarán medidas de tendencia central, como la media, la mediana y la moda, y medidas de dispersión, como la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Estas medidas ayudarán a resumir y analizar la distribución de datos en el conjunto de información. Además, se aplicarán el coeficiente de correlación y las pruebas de T-Student como herramientas para probar las hipótesis de investigación y determinar la fuerza y relevancia de las

relaciones encontradas. Estos métodos permitirán evaluar la relación entre variables y obtener conclusiones estadísticas en estudios de correlación.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

La orientación ética del proceso de investigación es mostrar veracidad contradictoria en su ejecución, teniendo presentes los valores y respetando las referencias fuente y la originalidad del autor sobre el tema tratado.

Las investigaciones respetarán los conocimientos y derechos de los autores y harán referencia adecuada a todos los factores para que nuestras ideas, experimentos de laboratorio y trabajos correspondan a investigaciones que afecten directamente al medio ambiente, la seguridad humana y el entorno laboral. y participar indirectamente

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Metodología de trabajo

- La muestra fue entregada por el área de geología. A continuación, se procede con el secado y chancado de la muestra a 100% malla -6 ASTM. Luego, se realiza el homogenizado y cuarteo de la muestra para realizar los ensayos químicos, que representarán las leyes de cabeza de los elementos Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Mn, Bi, PbOx y ZnOx.
- Se procede a validar las leyes de cabeza para proseguir con la evaluación geométrica. Se determina el Work Index comparativo, tiempo cero y tiempo diez minutos tanto para el mineral como para el cuarzo. Además, se determina el tiempo de molienda para alcanzar 55% malla -200 ASTM para el circuito bulk y rougher Zn I, con cuatro tiempos de molienda: tiempo cero, 10, 15 y 20 minutos. Se realiza una remolienda al relave rougher Zn I para alcanzar 60% malla -200 ASTM con bolas de acero 1.5".
- Se determina el análisis de malla valorado del tiempo cero (mineral

chancado a malla -6) del mineral de cabeza, con el propósito de determinar la distribución de leyes dentro de las mallas de estudio y para determinar el perfil granulométrico de la muestra.

- En seguida, se procede a calibrar el potenciómetro para la medición del pH. Se preparan los reactivos a diferentes concentraciones, manteniendo el estándar de planta concentradora.
- Se realiza la etapa de cinética de flotación, trabajando con un kilo de muestra en una celda de 2 litros. Se determina la tendencia del comportamiento metalúrgico con tiempos de 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 y 5.0 minutos tanto para la flotación bulk como para la flotación zinc.
- Obtenidos los productos de flotación secos, estos son enviados para sus ensayos químicos a laboratorio químico y se prepara el balance de cinética de flotación. Del relave de la prueba de cinética de flotación se realiza el análisis de malla valorado para determinar asociaciones mineralógicas y determinar la recuperación por mallas en el relave.
- Se realiza nueva prueba de cinética de flotación para la preparación de las briquetas de los concentrados bulk, zinc y relave, de acuerdo con la ley de cabeza. Se preparan las briquetas para determinar por microscopia óptica la presencia de minerales mixtos, inclusiones, asociaciones y libres.
- A continuación, se procede a realizar la prueba de flotación Batch en una celda de 4.1 litros, con dos kilos de muestra, a un porcentaje de sólidos de 32.5% con los reactivos estándares a dosificaciones del proceso. Obtenidos los productos de flotación secos, estos son enviados para sus respectivos ensayos a laboratorio químico. Con los resultados de los ensayos químicos se elabora el balance

metalúrgico batch proyectado.

- Finalmente, se prepara, revisa, entrega, discute y difunde el informe geo- metalúrgico.

4.1.2. Identificación del mineral

El Análisis Químico permite la composición química y la composición química de un mineral es fundamental para su identificación.

Tabla 2. *Ensayo químico del mineral*

Ag (GR/TON)	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As	%Sb	%Mn	%Bi	%PbO	%ZnO
160.99	0.21	0.61	3.90	8.20	0.28	0.04	1.99	0.04	0.15	0.06
%Ox Pb	25.37	Wl=	13.43	Kw-h/TM						
%Ox Zn	1.45									

El análisis de los resultados de la ley de cabeza revela varios aspectos relevantes que pueden influir en el proceso de extracción de metales. A continuación, se presentan los comentarios más destacados:

Plata: El contenido de plata es de 160.99 gr/ton, lo que supera significativamente el rango habitual de 144.78 gr/Tn. Esto puede considerarse una ley de cabeza alta que podría afectar negativamente el desplazamiento del proceso.

Cobre: El contenido de cobre es de 0.21%, lo que se encuentra por debajo del rango habitual de 0.49%. Esto puede indicar una menor cantidad de cobre disponible para el proceso.

Plomo: El contenido de plomo es de 0.61%, lo que se encuentra por debajo del rango habitual de 1.57%. Sin embargo, el 25.37% del plomo ensayado se presenta en forma de óxidos, lo que es un valor considerablemente alto para la ley de cabeza. Esto puede afectar negativamente la extracción del plomo.

Zinc: El contenido de zinc es de 3.90%, lo que se encuentra por encima del rango habitual de 2.44%. Aunque el 1.45% del zinc ensayado se presenta

en forma de óxidos, lo que es un valor considerablemente bajo con respecto a la ley de cabeza y considerable con respecto a nuestro proceso, esto puede influir en la eficiencia de la extracción.

Hierro: El contenido de hierro es de 8.20%, lo que se encuentra dentro de los rangos normales para nuestro proceso. Es importante controlar la calidad de los concentrados para asegurar un proceso eficiente. Contaminantes: El contenido de arsénico es de 0.28% y el de manganeso es de 1.99%, ambos valores se encuentran dentro de los rangos habituales. Sin embargo, estos contaminantes pueden perjudicar el rendimiento metalúrgico si no se manejan adecuadamente.

Podríamos mencionar que los resultados de la ley de cabeza revelan una combinación de valores altos y bajos que pueden influir en el proceso de extracción de metales. Es importante considerar estos resultados para ajustar y optimizar el proceso para obtener los mejores resultados posibles.

4.1.3. Porcentaje de arcilla de la muestra

La determinación de arcilla en una muestra de mineral polimetálico se puede realizar mediante técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas. A continuación, se presentan los pasos y métodos utilizados para determinar la presencia de arcilla en estas muestras:

Muestreo y Preparación:

- Se toman muestras representativas del mineral polimetálico.
- Se realizan análisis de cabeza del mineral para obtener una muestra que represente al total del mineral.

Análisis de Difractogramas:

- Se utilizan difractogramas de rayos X para identificar los minerales presentes en la muestra.
- Los difractogramas muestran una serie de picos o reflexiones que reflejan

las propiedades estructurales y composicionales de los minerales.

- La identificación de compuestos se realiza mediante la comparación de las posiciones, forma e intensidad de los picos obtenidos para cada mineral registrado en el difractograma.

Tabla 3. *Porcentaje de arcilla de la muestra*

	W	66.8051276
	100/W	1.49689109
	Y	-0.90785058
	ao	-3.25742333
	b	0.50382834
	D micrones	106
	LND	4.66343909
% arcillas	100-w	33.2

El porcentaje de arcilla está en 33.2 %.

4.1.4. Pruebas de moliendabilidad

Las pruebas de molienda se realizaron con 1000 gramos y 500 c.c. de agua, lo que permitió obtener una pulpa en molienda con un contenido de 67% de sólidos. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis granulométrico correspondiente para determinar el grado de molienda a 55% de malla -200. Para lograr este objetivo, se realizaron cuatro pruebas a diferentes tiempos de molienda (0, 10, 15 y 20 minutos) en el circuito bulk y rougher Zn I. Además, se efectuó una remolienda al relave rougher Zn I para alcanzar un contenido de 60% de malla -200 ASTM utilizando bolas de acero de 1.5" en pruebas batch. En cuanto a la cinética, el corte de malla -200 es del 55%.

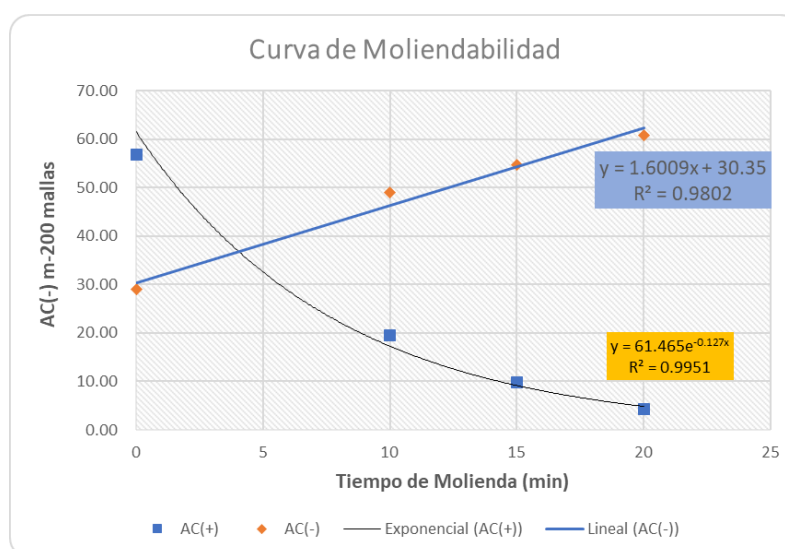
La muestra se procesó en un molino de 8.58"x11.22" con una carga de bolas de acero de 20,000.00 gr. Los resultados de las cuatro pruebas para estimar el tiempo de molienda óptimo se presentan en el cuadro N°2.

Tabla 4. Tiempo de moliendabilidad malla -200 55%

TIEMPO DE MOLIENDA	m-200	m+65
	AC(-)	AC(+)
0	28.96	56.76
10	48.98	19.52
15	54.68	9.86
20	60.82	4.32
15.40	55	8.70
T mol 55% malla -200 = 15.40 min		

Las curvas de moliendabilidad se mostrará a continuación en el siguiente grafico:

Gráfico 1. Curvas de moliendabilidad (Ac vs tiempo de moliendabilidad)



Obteniendo los datos de Moliendabilidad se determina la ecuación de regresión de datos de tiempo vs. pasante (-m200), en el cual se obtiene la siguiente relación lineal:

$$Y = 2.0831X + 23.37$$

Se determinó que el tiempo de molienda óptimo es de 15.40 minutos para alcanzar un corte de malla de 55% -m200, lo que indica el momento adecuado para iniciar el proceso de flotación bulk y rougher Zn I. Además, se

encontró que, al incrementar la remolienda al relave de Rougher Zn I en 10 minutos, se logró un corte de malla de 60% en pruebas batch.

4.1.5. Determinación de work index comparativo

Para caracterizar la dureza del mineral o Índice de Trabajo se utilizó el método comparativo con cuarzo, que tiene un Índice de Trabajo de 13.6 kWh-h/TC. En este sentido, se determinaron el tamaño de alimentación promedio F80 (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P80 luego de la molienda, para ambas muestras (cuarzo y mineral Zona Media NV 180 Estructura Veta Llacsacocha TJ 249C). El tiempo de molienda fue de 10 minutos. Los siguientes datos son resultados del análisis granulométrico:

- F80 cuarzo: 1453 micrones (100% malla -6)
- P80 cuarzo: 262 micrones
- F80 mineral: 1239 micrones (100% malla -6)
- P80 mineral: 209 micrones

La ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente: $Wi = \frac{P_{80}}{F_{80}}$ Donde Wi es el Índice de Trabajo y P80 y F80 son los tamaños de producto y alimentación, respectivamente. Al aplicar esta ecuación a los datos obtenidos, se puede calcular el Índice de Trabajo del mineral, lo que permitirá evaluar su dureza en comparación con el cuarzo.

Gráfico 2. Formula de Bond

$$13.6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ cuarzo}}} \right) = Wi \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ mineral}}} \right)$$

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 $Wi = 12.18 \text{ Kw-h/TC}$ o 13.43 KW-h/TM , el cual será

el indicador del índice de dureza del mineral, cuyo valor lo clasifica como mineral de dureza media.

Tabla 5. Tabla de dureza del mineral

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

4.1.6. Prueba de flotación batch selectiva

Procedimiento de flotación batch selectiva

El procedimiento de flotación batch selectiva es una técnica utilizada en la industria minera para separar y concentrar los diferentes minerales valiosos presentes en un mineral. Este método permite obtener concentrados individuales de cada mineral de interés, como cobre, plomo y zinc.

Obtención de concentrados

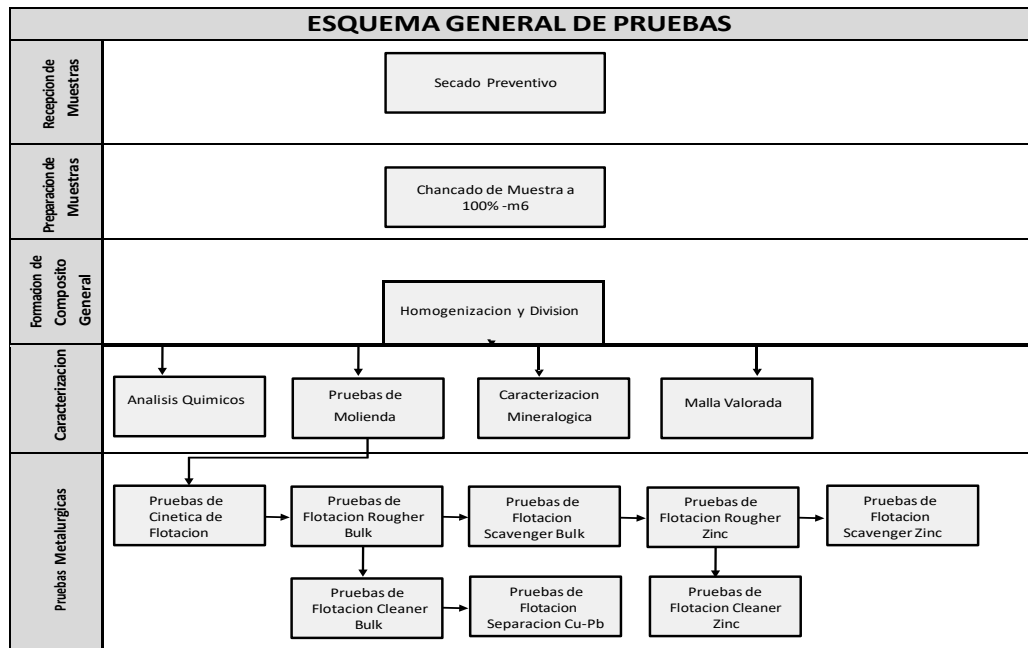
En el caso específico mencionado, el procedimiento de flotación batch selectiva permitió la obtención de concentrados de cobre, plomo y zinc a partir del mineral procesado. Estos concentrados contienen una mayor concentración de los valores metálicos de interés en comparación con el mineral original.

Balance metalúrgico

Para calcular el balance metalúrgico, se considera la recuperación total como la sumatoria de las recuperaciones de cada metal (cobre, plomo y zinc) en los concentrados obtenidos durante el proceso de flotación. La recuperación se refiere a la cantidad de metal recuperado en los concentrados en relación con la cantidad de metal presente en el mineral de alimentación.

Es importante tener en cuenta que el balance metalúrgico se realiza para un periodo de tiempo específico, generalmente durante los tiempos de flotación estándares establecidos para el proceso. Estos tiempos de flotación son determinados por pruebas metalúrgicas previas y se mantienen constantes durante la operación normal de la planta de procesamiento.

Gráfico 3. Esquema general de pruebas



Las condiciones de flotación para la prueba de flotación batch se muestra a continuación:

Tabla 6. Condiciones de las pruebas de flotación batch

Reactivos gr/ton										
Nombre:	Tiempo (min)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS	ZnSO4
molienda	15.40	7.86	30.00							
Ro-Bk	3.00			12.50			25.0			200.00
Scv- Bk	2.00			2.50						
1° Cl Bk	2.00		5.00							
2° Cl Bk	2.00									
3° Cl Bk	2.00									
Ac Zn 1°	3.00	10.50			900.00					
Ac Zn 2°	2.00				300.00	175.00				
Ro Zn	3.00			17.50			12.5			
Scv- Zn	2.00			2.50		25.00				
1° Cl Zn	2.00	11.50			300.00					
2° Cl Zn	2.00	11.60			250.00					
3° Cl Zn	2.00	11.60			250.00					
1 Ac Sep Pb/Cu	5.00							0.50	60.00	
Ro Sep Pb/Cu	3.00									
Scv Sep Pb/Cu	2.00						1.6		10.00	
1 Cl Sep	2.00						1.6		10.00	
Total de reactivos en gr/ton			35.00	35.00	2,000.00	200.00	40.58	0.50	80.00	200.00

Molienda:

- ✓ Peso de mineral: 1 Kg
- ✓ Agua: 500 CC
- ✓ Tiempo de molienda: 15.40 minutos
- ✓ Cianuro de sodio: 30 gr/Tn

- ✓ Granulometría: 55% -200 mallas
- ✓ pH: 7.86

Flotación Rougher Bulk:

- ✓ pH de flotación: 8.10
- ✓ sulfato de zinc: 200 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6: 12.5 gr/Tn
- ✓ Espumante H-150: 25 gr/Tn
- ✓ Tiempo Acond: 2 minutos
- ✓ Flotación: 3 minutos

Flotación scavenger bulk:

- ✓ Z-11/Z-6: 2.5 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación: 2 minutos

Flotación Cleaner bulk I:

- ✓ Cianuro de sodio : 5 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación Cleaner bulk II:

- ✓ Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación Cleaner bulk III:

- ✓ Tiempo de flotación: 2 minutos

Flotación Rougher Zinc:

- ✓ Cal: 900 gr/Tn
- ✓ pH de flotación: 10.50
- ✓ sulfato de Cobre: 175 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6: 17.5 gr/Tn
- ✓ Espumante H-150 : 12.5 gr/Tn
- ✓ Tiempo Acond : 5 minutos
- ✓ Flotación : 3 minutos

Flotación scavenger zinc:

- ✓ sulfato de Cobre: 25 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6: 2.5 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación: 2 minutos
- ✓ Cal: 300 gr/Tn

Flotación Cleaner zinc I:

- ✓ Cal: 300 gr/Tn
- ✓ pH: 11.50
- ✓ Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación Cleaner zinc II:

- ✓ Cal: 250 gr/Tn
- ✓ pH: 11.50
- ✓ Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación Cleaner zinc III:

- ✓ Cal: 250 gr/Tn
- ✓ pH: 11.60
- ✓ Tiempo de flotación: 2 minutos

Flotación Rougher Separación:

- ✓ RCS: 60 gr/Tn
- ✓ carbón: 1 gr/Tn
- ✓ H-150: 1.6 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación: 3 minutos

Flotación scavenger Separación:

- ✓ RCS: 10 gr/Tn
- ✓ carbón: 0 gr/Tn
- ✓ H-150: 1.6 gr/Tn

- ✓ Tiempo de flotación: 2 minutos

Flotación Cleaner Separación:

- ✓ RCS: 10 gr/Tn
- ✓ carbón: 0 gr/Tn
- ✓ H-150: 1.6 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación: 2 minutos
 - Consumo de Reactivos en el Proceso de Flotación En el cuadro anterior, se destacan los tiempos de molienda y los porcentajes de malla -200 para alcanzar un nivel de dureza media en pruebas metalúrgicas de laboratorio. Además, se presentan los valores de preparación de los reactivos utilizados en el proceso de flotación:
 - CNNa y mezcla de xantatos: Preparados al 1%.
 - Cal, sulfato de cobre y sulfato de zinc: Preparados al 10%.
 - Espumante H-150: Preparado al 100%.
 - Consumo de Reactivos
 - Cianuro de sodio: 35 gr/ton, utilizado para controlar la activación de zinc y hierro en el proceso de flotación.
 - Cal: 2000 gr/ton, un valor que se encuentra por debajo de los rangos habituales de 2,500 gr/Tn debido al pH de 8.10.
 - Sulfato de cobre: 200 gr/ton, dentro de los rangos habituales de 194 gr/Tn.
 - Consumo de reactivos: Se mantiene el estándar.

4.1.7. Cinética de flotación bulk / zinc

En los siguientes cuadros se muestran las cinéticas de flotación de los valores de interés del Mineral Zona Media NV 180 Estructura Veta Llacsacocha

TJ 249C en las etapas de flotación bulk y zinc con corte de malla -200 mallas

55%:

Tabla 7. Cinética de flotación bulk

Time	PRODUCTO	% Peso	Ensayos										% Recuperación									
			Aggr %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn %	Al %	Si %	Ca %	Na %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn %	Al %	Si %	Ca %	Na %
0.25	Espeuma 1 Bk	0.68	2582.14	0.32	30.48	1.07	18.13	0.67	12.58	0.22	0.28	0.28	20.89	0.23	21.03	0.38	1.75	0.18	3.04	4.95	8.94	
0.5	Espeuma 3 Bk	0.90	1731.52	0.45	14.58	1.97	19.07	0.77	12.64	0.19	0.28	0.28	18.89	0.81	16.88	1.38	2.44	0.28	4.87	5.01	8.78	
1	Espeuma 3 Bk	0.88	1482.01	0.41	10.83	2.21	20.34	0.79	13.71	0.18	0.17	0.17	19.43	7.91	14.38	1.52	2.55	0.28	5.17	4.85	7.71	
2	Espeuma 4 Bk	3.76	949.19	0.21	4.05	2.21	20.64	1.12	12.18	0.08	0.07	0.07	24.78	17.33	23.58	5.48	11.84	1.77	19.82	9.48	13.84	
3	Espeuma 5 Bk	1.72	306.19	0.13	1.79	2.23	18.03	1.88	9.32	0.08	0.05	0.05	6.31	9.85	4.85	2.98	4.41	1.38	6.87	4.09	4.28	
5	Espeuma 6 Bk	3.22	164.68	0.10	1.09	2.08	17.47	1.91	8.33	0.05	0.03	0.03	4.38	9.88	3.87	3.57	9.52	1.78	7.93	3.17	3.43	
	Balance-Bk	88.84	0.00	0.03	0.19	1.18	5.86	2.48	1.35	0.03	0.01	0.01	9.48	47.88	13.48	83.87	73.29	94.35	91.91	88.88	91.22	
	Cal. Cal.	100.00	83.39	0.85	0.68	1.28	7.53	2.37	2.35	0.03	0.03	0.03	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Gráfico 4. Cinetica de flotación bulk

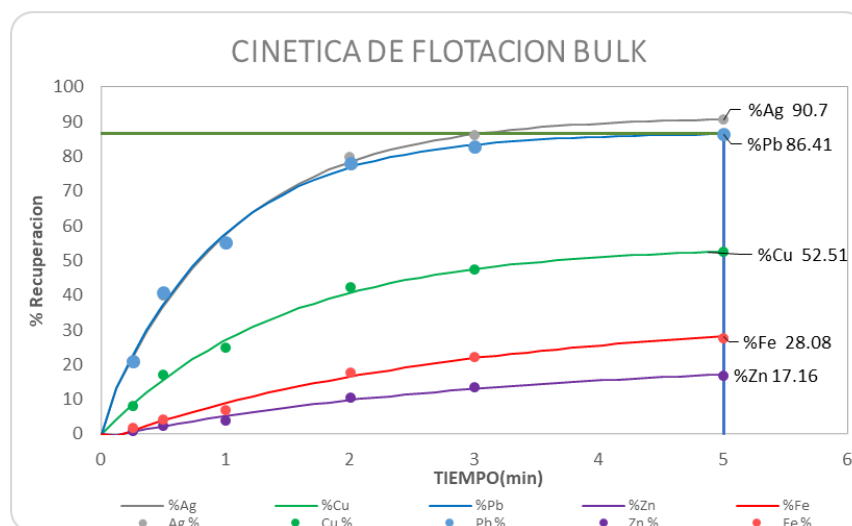
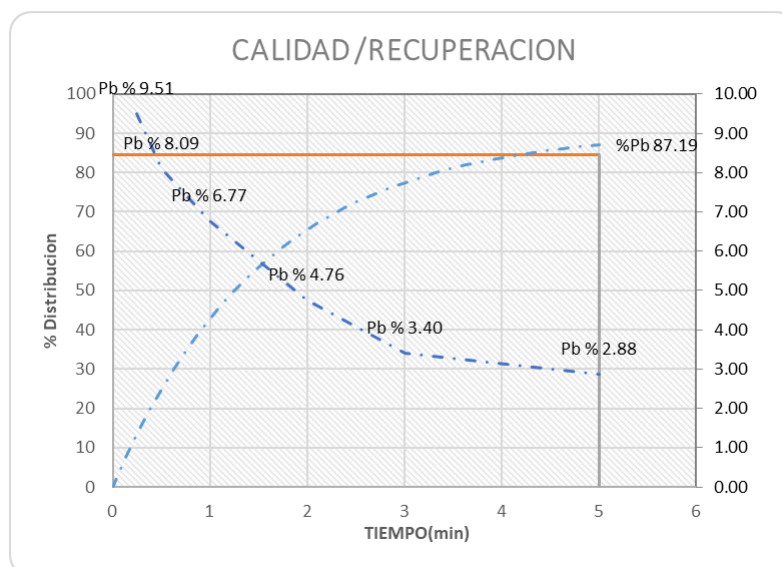


Gráfico 5. Calidad de recuperación bulk



La cinética de flotación de los valores de cobre, plomo y plata muestra una mayor velocidad de flotación, influenciada por la asociación mineralógica de estos elementos. Se estima que, después de un período de flotación acumulado de 5 minutos, la distribución sea del 83.90% de cobre, el 87.19% de plomo y el 84.3% de plata.

Por otro lado, los valores de fierro muestran una velocidad de flotación acelerada en comparación con los valores de interés, lo que se traduce en una distribución de 57.38% después de 5 minutos de flotación acumulada.

La velocidad de flotación de los valores de zinc es rápida, con una activación de 38.51% como distribución, lo que podría afectar negativamente el concentrado bulk.

Finalmente, la concentración de valores de plomo muestra un índice de enriquecimiento acelerado, lo que se traducirá en una recuperación considerable para el proceso en comparación con la ley de cabeza.

Tabla 8. Cinéticas de flotación zinc

time	PRODUCTO	% Peso	Ensayes									% Recuperacion								
			Ag gr/ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%
0.25	Espuma 1 Zn	2.33	170.16	0.20	0.62	40.79	6.87	0.73	0.22	0.07	0.03	12.24	11.61	12.23	30.63	3.57	0.74	3.94	4.34	6.17
0.5	Espuma 2 Zn	2.38	162.20	0.20	0.58	34.63	8.30	0.93	0.29	0.05	0.02	11.92	11.77	11.67	26.55	4.41	0.96	5.34	3.41	4.70
1	Espuma 3 Zn	3.38	126.70	0.15	0.47	19.25	10.39	1.54	0.33	0.04	0.01	13.24	12.53	13.51	21.00	7.85	2.27	8.62	4.02	3.54
2	Espuma 4 Zn	4.71	90.16	0.10	0.32	8.16	10.77	2.03	0.29	0.05	0.05	13.11	12.20	12.79	12.39	11.31	4.17	10.60	6.60	19.02
3	Espuma 5 Zn	4.41	56.21	0.07	0.19	2.32	8.98	2.38	0.26	0.07	0.01	7.66	7.90	7.14	3.30	8.85	4.58	8.98	8.94	3.98
5	Espuma 6 Zn	5.64	52.27	0.06	0.18	0.95	9.27	2.31	0.25	0.06	0.02	9.11	9.11	8.66	1.73	11.66	5.66	10.77	9.76	9.53
	Relave- Final	77.15	13.73	0.02	0.05	0.18	3.04	2.43	0.09	0.03	0.01	32.72	34.89	33.99	4.40	52.35	81.63	51.76	62.92	53.05
	Cab. Cal.	100.00	32.38	0.04	0.12	3.10	4.48	2.30	0.13	0.04	0.012	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
% Distribución Acumulada (Calculada)																				
			%Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	Mn%	As%	Sb%	Bi%									
			14.02	13.57	13.8	33.3	4.3	1.1	8.5	4.7	5.4									
			22.5	21.6	22.5	54.9	8.3	2.2	10.8	7.1	10.1									
			35.7	34.1	35.8	78.0	15.4	4.3	15.4	11.6	18.2									
			51.8	49.6	51.4	91.8	27.1	8.3	24.6	19.6	30.2									
			59.8	57.5	59.0	94.2	36.0	12.0	33.8	26.4	38.2									
			65.9	63.8	64.5	94.7	47.7	18.6	52.1	37.2	47.2									

Gráfico 6. Cinetica de flotación zinc

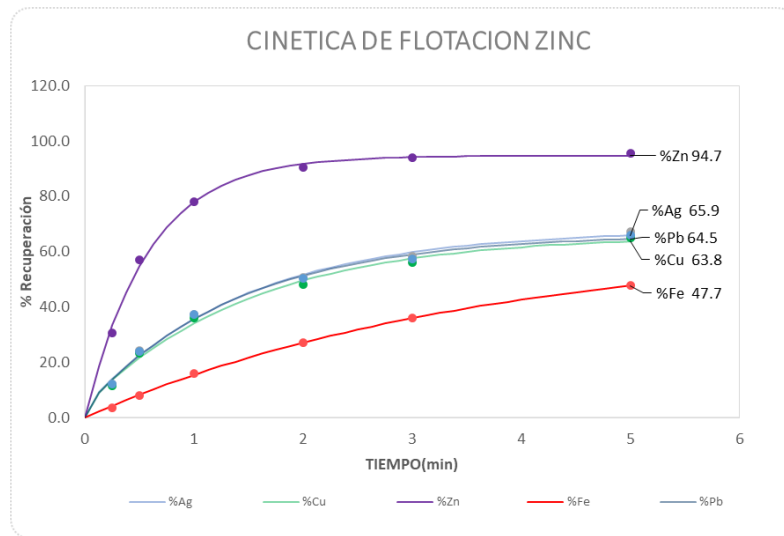
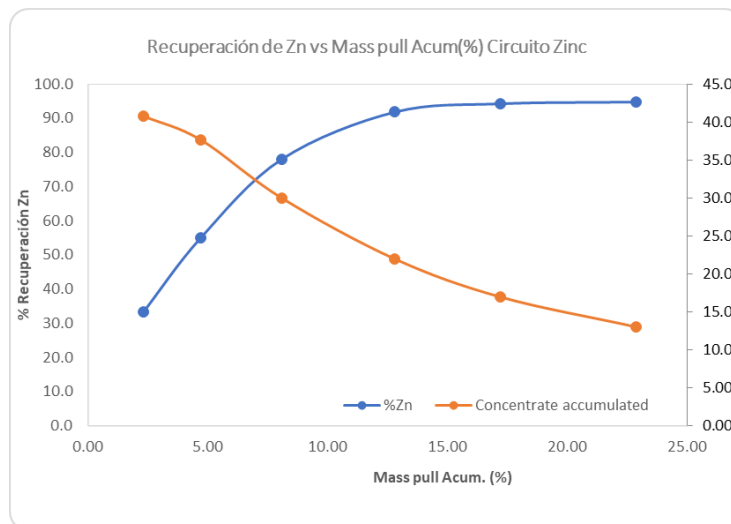


Gráfico 7. Cinética de valores de zinc



Del análisis de los cuadros y gráficos anteriores se pueden extraer los siguientes comentarios:

- Los valores de zinc presentan una velocidad de flotación acelerada, lo que permite identificar tendencias claras y se estima una recuperación del 94.7% para un período acumulado de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de cobre, plomo y plata es relativamente lenta, y se estiman distribuciones de 63.8% de cobre, 64.5% de plomo y 65.9% de plata para un período acumulado de 5 minutos.

- La cinética del hierro se muestra acelerada, lo que podría afectar la calidad del concentrado de zinc. Sin embargo, se estima una distribución de 47.7%.
- Los valores de zinc muestran un índice de enriquecimiento acelerado debido a la flotabilidad. Es importante considerar los elementos contaminantes y que la cinética de flotación acelerada del hierro no afecta significativamente la recuperación de zinc.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los resultados de las evaluaciones muestran el comportamiento metalúrgico de los valores de Ag, Cu, Pb y Zn a las condiciones fisicoquímicas estándares de la evaluación, obteniéndose los concentrados de plomo y zinc con contenido de plata cuyos resultados fueron:

El concentrado de cobre presenta una calidad del 16.59% y un contenido de plata de 10573.63 gr/ton. El desplazamiento de plomo es del 7.37%, el contenido de zinc es del 5.01%, el contenido de arsénico es del 1.59% y el contenido de antimonio es del 1.52%. La recuperación es del 74.38%, lo que indica una calidad muy baja debido a la relación de ley de cabeza bajo. Debido a la mala relación de ley de cabeza entre cobre y plomo, y a la baja ley de cabeza de cobre, no se obtiene una separación óptima.

El concentrado de plomo tiene una calidad del 41.77% y un contenido de plata de 1974.79 gr/ton. El contenido de cobre es del 1.75%, la activación de zinc es del 9.09%, el contenido de arsénico es del 0.48% y el contenido de antimonio es del 0.49%. La recuperación es del 70.78%, lo que indica una calidad muy baja debido a la baja ley de cabeza. Sin embargo, la recuperación es favorable con respecto al proceso y la concentración de arsénico es baja, lo que no perjudicaría al concentrado.

El concentrado de zinc tiene una calidad del 53.10% y un contenido de plata de 162.86 gr/ton. El contenido de cobre es del 0.22%, el contenido de

plomo es del 0.67%, el contenido de fierro es del 4.23% y el contenido de manganeso es del 0.42%. La recuperación es del 85.21%, lo que indica una recuperación y calidad considerables para nuestro proceso.

La presencia de fierro como sulfuro perjudica la performance metalúrgica de los concentrados de cobre y plomo, ya que afecta negativamente la ley de cabeza que presenta la muestra.

La recuperación acumulada de plata es del 81.99%, lo que es considerable debido a la ley de cabeza que presenta y está relacionada con la ley de plomo en la cabeza.

4.2.1. Regresiones entre elementos químicos

Con el conjunto de ensayos químicos (espumas) correspondientes a cada etapa, se lleva a cabo una regresión lineal entre pares de elementos químicos con el objetivo de establecer correlaciones y determinar el valor estadístico t-student que refleje la significancia de la correlación. Para evaluar la significancia, se considera el signo del valor estadístico t-student. Si este valor es mayor a 2.57 (G.L 5) y positivo, hay una gran probabilidad de encontrar una relación mineralógica. Por otro lado, si es negativo, se trata de un desplazamiento indebido causado por el proceso de flotación.

En el cuadro N°7 se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos, lo que permite analizar y comprender mejor las relaciones entre los elementos químicos involucrados en el proceso de flotación.

Tabla 9. Regresiones cinética selectiva circuito bulk

RESUMEN DE DATOS	Interacción	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Ag-Mn	Ag-As	Ag-Sb	Ag-Bi	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Cu-Mn
	Correlación	0.999	0.95	0.55	0.11	0.41	0.56	0.99	0.99	0.96	0.56	0.12	0.42
	T-Student	88.26	8.94	-2.19	0.69	-1.66	2.26	27.90	24.77	9.83	-2.24	0.73	-1.71
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Cu-As	Cu-Sb	Cu-Bi	Pb-Zn	Pb-Fe	Pb-Mn	Pb-As	Pb-Sb	Pb-Bi	Zn-Fe	Zn-Mn	Zn-As
	Correlación	0.57	0.991	0.995	0.57	0.26	0.59	0.72	0.920	0.968	0.04	0.12	0.16
	T-Student	2.32	21.57	27.20	-2.32	1.19	-2.41	3.22	6.76	11.08	-0.42	0.73	-0.88
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Zn-Sb	Zn-Bi	Fe-Mn	Fe-As	Fe-Sb	Fe-Bi	Mn-As	Mn-Sb	Mn-Bi	As-Sb	As-Bi	Sb-Bi
	Correlación	0.54	0.56	0.84	0.71	0.07	0.15	0.97	0.34	0.46	0.50	0.61	0.98
	T-Student	-2.16	-2.24	-4.53	3.13	0.55	0.83	-11.34	-1.45	-1.83	2.00	2.50	14.58

A continuación, se presentan los comentarios sobre el cuadro anterior:

Correlación positiva entre plata, cobre y plomo:

La plata muestra una alta correlación positiva con el cobre y el plomo, con valores de +88.26 y +8.94 respectivamente. Esto sugiere una alta recuperación de plata con buenas concentraciones.

Correlación entre plata y antimonio:

La plata también está muy correlacionada positivamente con el antimonio (Ag-Sb = +27.90). Esto podría indicar la presencia de minerales como la argentotetraedrita (Ag₁₀(Fe,Zn)₂Sb₄S₁₃) o la pirargirita (Ag₃SbS₃).

Correlación entre cobre, plomo y antimonio:

El cobre muestra una correlación positiva con el plomo y el antimonio, con valores de +9.83 y +21.57 respectivamente. Esto podría sugerir la presencia de la bournonita (PbCuSbS₃).

Conclusiones:

Las altas correlaciones positivas entre los valores de plata, cobre, plomo, hierro, bismuto y antimonio indican una relación con la presencia de un mayor contenido de plata. Esto podría estar relacionado con la presencia de sulfosales de plata (SFAg), también conocidas como Cobres Grises.

Resumen de regresiones:

En el cuadro N° 11 se presenta un resumen de las regresiones entre pares de elementos químicos

Tabla 10. Regresiones cinéticas selectiva circuito de zinc.

RESUMEN DE DATOS	Interacción	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Ag-Mn	Ag-As	Ag-Sb	Ag-Bi	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Cu-Mn
	Correlación	0.996	1.00	0.97	0.27	0.98	0.00	0.10	0.04	0.99	0.97	0.30	0.98
	T-Student	31.09	47.78	11.04	-1.22	-13.49	0.05	-0.68	0.40	20.38	12.11	-1.30	-14.57
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Cu-As	Cu-Sb	Cu-Bi	Pb-Zn	Pb-Fe	Pb-Mn	Pb-As	Pb-Sb	Pb-Bi	Zn-Fe	Zn-Mn	Zn-As
	Correlación	0.00	0.09	0.03	0.96	0.25	0.97	0.00	0.11	0.03	0.44	0.99	0.02
	T-Student	0.04	-0.63	0.33	9.75	-1.17	-11.87	0.04	-0.72	0.38	-1.78	-25.98	-0.28
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Zn-Sb	Zn-Bi	Fe-Mn	Fe-As	Fe-Sb	Fe-Bi	Mn-As	Mn-Sb	Mn-Bi	As-Sb	As-Bi	Sb-Bi
	Correlación	0.02	0.03	0.39	0.56	0.36	0.01	0.01	0.05	0.03	0.70	0.02	0.04
	T-Student	-0.32	0.32	1.61	2.28	-1.49	0.20	0.20	0.45	-0.34	-3.06	-0.30	-0.38

Del cuadro anterior se comenta:

- La plata tiene una correlación positiva con cobre (+31.09), la plata tiene una correlación positiva con zinc (+11.04),
- La plata tiene una correlación negativa con manganeso (-13.49).
- El cobre tiene correlación positiva con el zinc (+12.11); obteniendo estos datos de correlación y T Student se podría predominar la presencia de esfalerita de tipo2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita), dato a considerar que la presencia de cobre en el concentrado zinc será mayor el cual también afectaría con mayor desplazamiento.
- Zinc con manganeso muestra una correlación negativa (Zn-Mn= -25.98), dato para tener en cuenta esto podría afectar como contaminante al concentrado de zinc con alto ley de manganeso.

4.2.2. Estudio de microscopia óptica

Con el concentrado bulk, zinc y relave final se realizaron los estudios de microscopia óptica, para lo cual la muestra flotada fue deslamada a malla +400, secada, homogenizada, pesada en 15 gramos para la elaboración de las briquetas para el posterior pulido y estudio de microscopia.

Tabla 11. Descripción de minerales

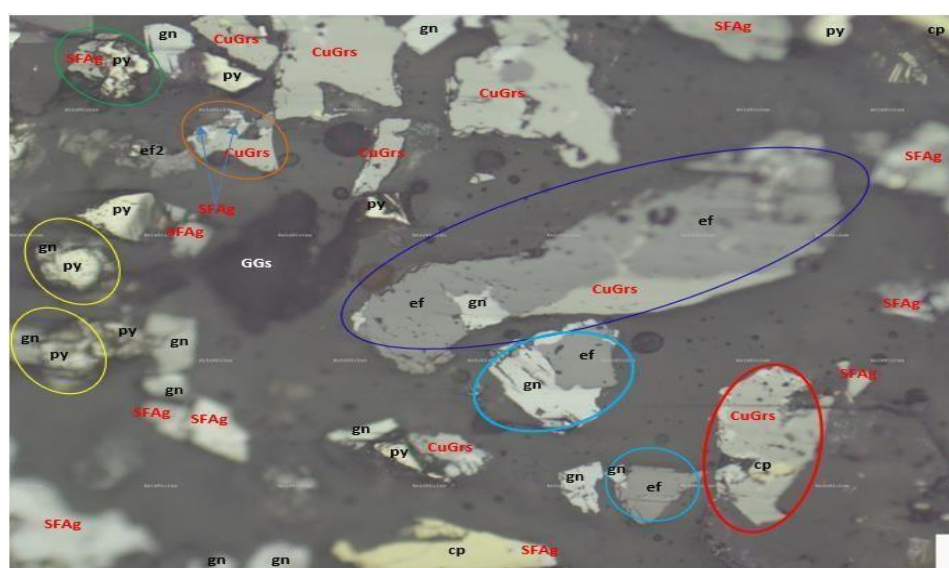
MINERALES	FORMULA	ABREVIATURA
Esfalerita	ZnS	ef
Galena	PbS	gn
Calcopirita	CuFeS ₂	cp
Cerusita	PbCO ₃	crs
Pirita	FeS ₂	py
Arsenopirita	FeAsS	apy
Marcasita	FeS ₂	mc
Magnetita	Fe ₃ O ₄	mt
Hematita	Fe ₂ O ₃	hm
Goethita	FeO.OH	gt
Gangas		GGs

Tabla 12. Clasificación del tipo de mineral

TIPO DE CLASIFICACIÓN	NOMBRE MINERAL	FÓRMULA
Minerales de Mena	Esfalerita o Blenda	ZnS
	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Galena	PbS
	Galena Argentífera	PbAgS
	Tetraedrita	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
	Calcopirita	CuFeS ₂
	Bornita	Cu ₅ FeS ₄
	Covelita	CuS
	Electrum	Au
	Calcosina	Cu ₂ S
Minerales de Ganga	Arsenopirita	FeAsS
	Pirita	FeS ₂
	Cuarzo	SiO ₂
	Rodonita	MnSiO ₃

De los estudios de microscopía óptica se obtuvieron las siguientes imágenes:

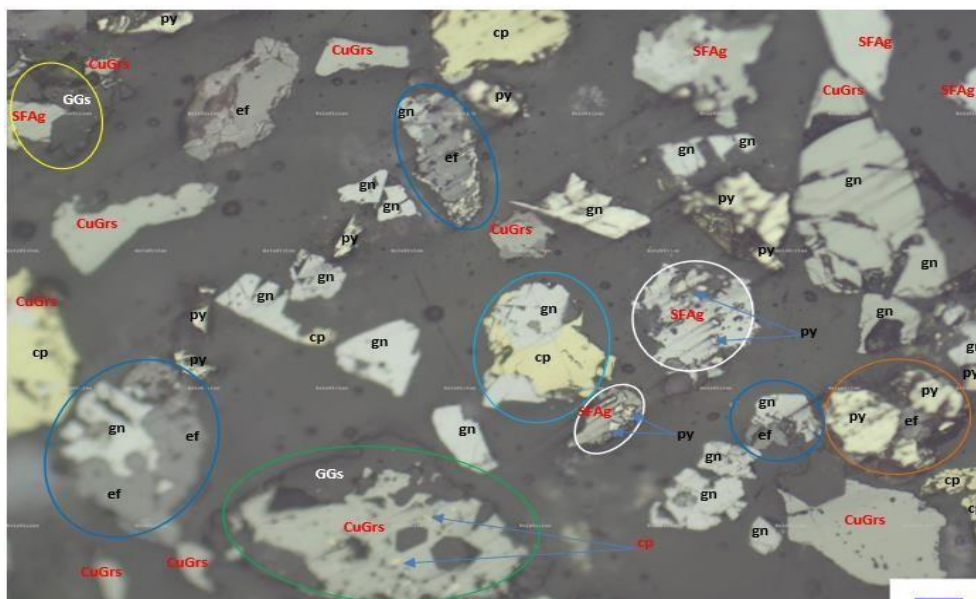
Gráfico 8. Concentrado de Bulk malla +400



En la imagen se observa dentro del área azul partícula mixta de cobre gris – galena – esfalerita (CuGrs/gn/ef), dentro de las áreas amarillas se observa partículas mixtas de galena – pirita (gn/py), dentro del área verde partícula mixta de sulfosal de plata – pirita (SFAg/py), dentro de las áreas celestes partículas

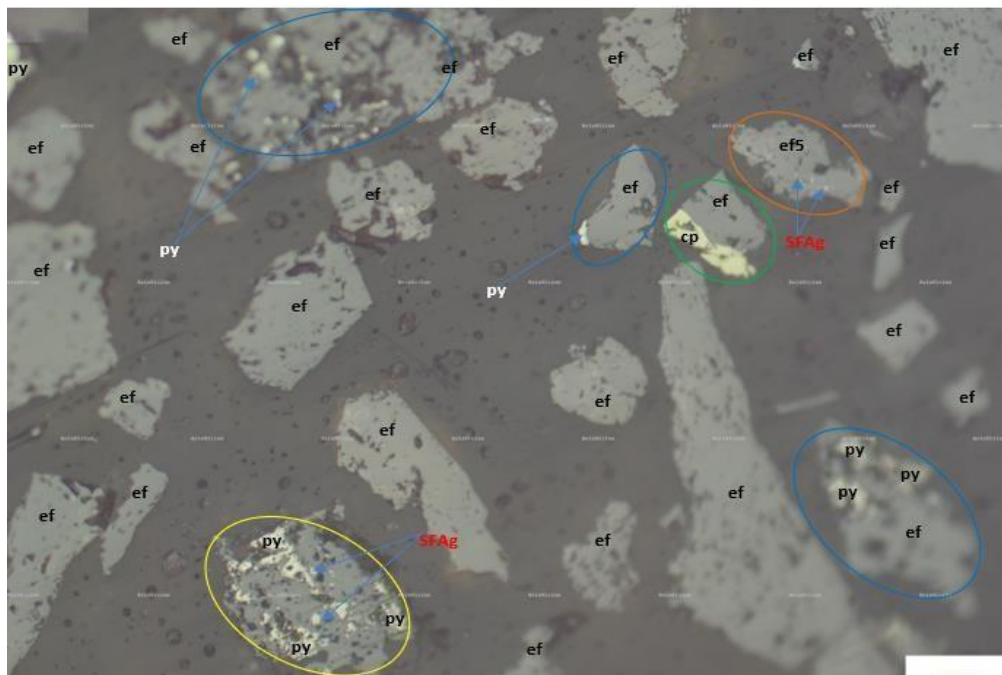
mixtas de galena – esfalerita (gn/ef), dentro del área rojo mixto de cobre gris – calcopirita (CuGrs/cp) y dentro del área anaranjado una partícula mixta de sulfosal de plata – cobre gris (SFAg/CuGrs). Completando la vista se observa partículas libres esfalerita (ef), sulfosal de plata (SFAg), cobre gris (CuGrs), calcopirita (cp), galena (gn), ganga (GGs), esfalerita tipo2 (ef2) y pirita (py).

Gráfico 9. *Concentrado de Bulk malla +400*



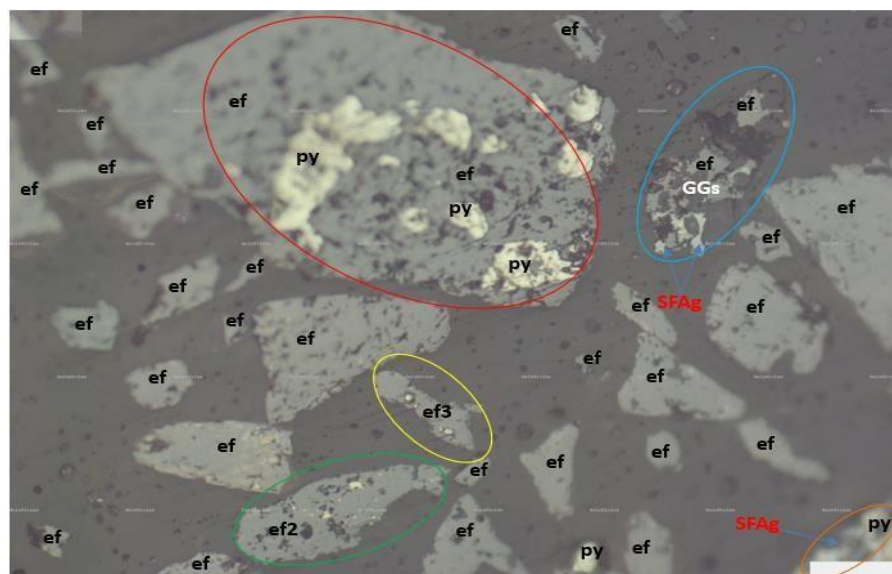
En la imagen se observa dentro del área anaranjada una partícula mixta de esfalerita – pirita (ef/py), dentro del área verde una partícula mixta de cobre gris – ganga (CuGrs/GGs), dentro del área celeste mixto de calcopirita – galena (cp/gn), dentro de las áreas azules partículas mixtas de galena – esfalerita (gn/ef), dentro de las áreas blancas partículas de sulfosal de plata con inclusiones de pirita (SFAg...py) y dentro del área amarillo partícula mixta de sulfosal de plata – ganga (SFAg/GGs). Completando la vista se observa partículas libres de sulfosales de plata (SFAg), cobre gris (CuGrs), calcopirita (cp), esfalerita (ef), galena (gn) y pirita (py).

Gráfico 10. Concentrado Zn malla +400



En la imagen se observa dentro del área verde una partícula mixta de esfalerita – calcopirita (ef/cp), dentro del área amarilla una partícula de esfalerita con inclusiones de pirita y sulfosales de plata (SFAg...py...ef), dentro de las áreas azules partícula de esfalerita tipo3 (ef3: inclusiones de pirita en esfalerita) y dentro del área anaranjado esfalerita tipo5 (ef5: inclusiones de sulfosal de plata en esfalerita). Completando la vista se observa partículas libres esfalerita (ef) y pirita (py).

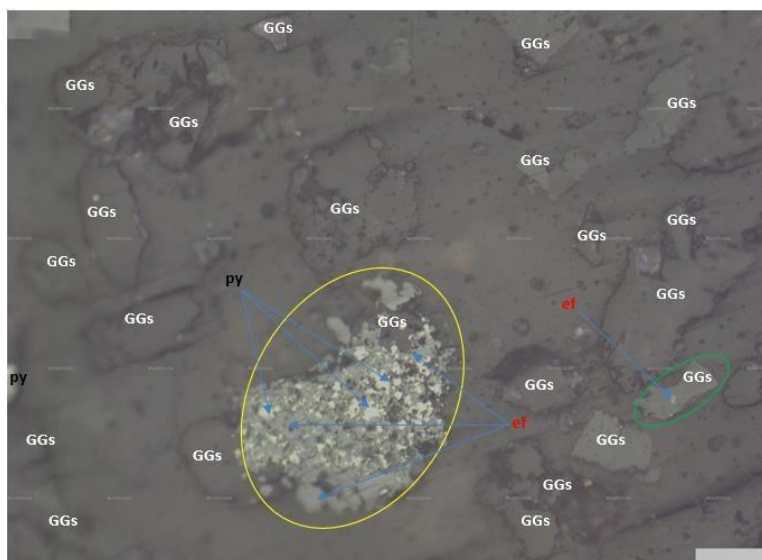
Gráfico 11. Concentrado zinc malla +400



En el gráfico se observa dentro del área roja una partícula mixta de esfalerita – pirita (ef/py), dentro del área celeste una partícula mixta de sulfosal de plata – esfalerita – pirita (SFAg/ef/GGs), dentro del área anaranjado partícula mixta de sulfosal de plata – pirita (SFAg/py), dentro del área verde partícula de esfalerita tipo2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita) y dentro del área amarillo una partícula de esfalerita tipo3 (ef3: inclusiones de pirita en esfalerita).

Completando la vista se observa partículas libres esfalerita (ef) y pirita (py).

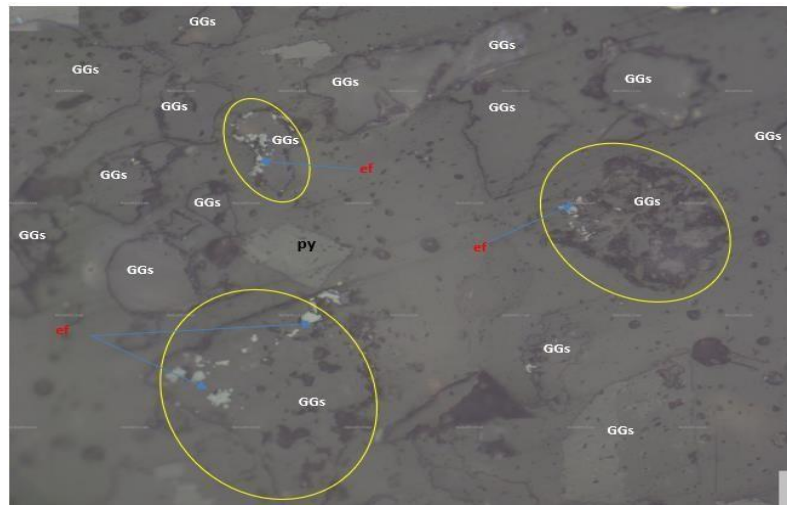
Gráfico 12. *Relave Final malla +400*



En el gráfico se observa dentro del área amarilla una partícula de esfalerita con inclusiones de pirita y ganga (py-GGs...ef) y dentro del área verde partícula de ganga con inclusiones de esfalerita (ef/py).

Completando la vista se observa partículas libres de pirita (py) y gangas (GGs).

Gráfico 13. Relave Final malla +400



En el grafico se observa dentro de las áreas amarillas partículas de ganga con inclusiones de esfalerita (ef...GGs). Completando la vista se observa partículas libres de gangas (GGs).

4.2.3. Estudio de malla valorada relave final

Tabla 13. Distribución por mallas del relave final

Nº Mallas	Abertura um	K(80) = 171.0 µm				Leyes					% Distribucion por Mallas				
		%peso	%Ac(+)	%Ac(-)	K (80%)	Ag gr/Tn	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe
+ m 70	212	11.10	11.10	88.90	171.0	39.21	0.05	0.15	0.60	5.27	33.67	31.46	32.09	40.05	18.87
+ m 100	150	13.87	24.97	75.03	0.0	18.76	0.02	0.05	0.18	3.68	20.14	16.80	13.82	14.89	16.47
+ m 140	106	12.88	37.85	62.15	0.0	8.11	0.01	0.02	0.10	2.30	8.08	7.10	6.31	7.96	9.55
+ m 200	75	12.17	50.02	49.98	0.0	7.64	0.01	0.02	0.08	1.78	7.20	4.11	4.31	5.70	6.99
+ m 270	53	10.81	60.83	39.17	0.0	4.76	0.00	0.01	0.07	1.78	3.98	2.27	3.19	4.30	6.22
+ m 325	45	4.51	65.34	34.66	0.0	10.01	0.00	0.02	0.06	2.00	3.50	1.15	1.51	1.75	2.91
+ m 400	38	3.48	68.82	31.18	0.0	5.19	0.00	0.02	0.07	2.49	1.40	0.92	1.32	1.47	2.80
- m 400	0	31.18	100.00	0.00	0.0	9.13	0.02	0.06	0.13	3.60	22.04	36.20	37.44	23.88	36.18
Total		100.00	Cabeza Calculada		171.0	12.92	0.02	0.05	0.17	3.10	100	100	100	100	100

Del cuadro y grafico anterior se comenta:

- Con respecto a la plata en las mallas gruesas el cual corresponde mayor a malla +100 se presenta mayor distribución de 53.81%, en las mallas intermedias corresponde entre las mallas +140 y +400 esta con distribución de 24.15% y en la malla fina -400 esta con distribución de 22.04%; lo cual es importante el grado de liberación para minimizar la presencia de partículas mixtas en las mallas gruesas.
- Con respecto a Cu, Pb y Zn mayor distribución se muestra en las mallas

gruesas corresponde entre las mallas +100 y +70 esto muestra tendencias que necesita mejorar el grado de liberación para minimizar la presencia de partículas mixtas.

- En cuanto al fierro muestra que necesita incrementar el tiempo de molienda para minimizar la presencia de partículas mixtas con los elementos de interés

Tabla 14. (Regresiones Relave Final)

RESUMEN DE DATOS	Interacción	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Pb-Zn	Pb-Fe	Zn-Fe
	Correlación	0.85	0.85	0.81	0.70	0.99	0.98	0.91	0.99	0.91	0.83
	T-Student	4.70	4.72	4.19	3.03	16.73	15.51	3.03	15.51	6.26	4.50

Del cuadro anterior se comenta:

- Las correlaciones entre los elementos se encuentran altos el cual la recuperación de los elementos de interés se afectará las recuperaciones y esta correlación directa está en relación al grado de liberación.

4.3. Prueba de Hipótesis

Existe suficiente evidencia estadística obtenida de las pruebas realizadas de acuerdo al diseño experimental podemos afirmar que la evaluación del grado de moliendabilidad del mineral y realizando las pruebas de flotación batch el mineral de la veta Llacsacocha influye significativamente en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024, con esta premisa se presenta a continuación la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

Ho: Mediante la evaluación de pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha No se podrá realizar la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.

Ha: Mediante la evaluación de pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha Se podrá realizar la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.

Por ese motivo se acepta la hipótesis alternativa y se niega la hipótesis nula.

4.4. Discusión de resultados

(Hualpa Antoniete, 2018), en sus tesis intitulado “Concentración por flotación de minerales sulfurados: plata, plomo, cobre, zinc y oro en minerales polimetálicos”, el mineral utilizado en la presente tesis era un compuesto de mineral polimetálico proveniente de diferentes minas ubicadas en la zona de Huaraz-Ancash. Las variedades presentes en este mineral incluían calcopirita (CuFeS_2), galena (PbS) y esfalerita (ZnS), con presencia de oro y plata, en esta investigación en el circuito zinc la plata se presentó una correlación positiva con cobre (+31.09), la plata tiene una correlación positiva con zinc (+11.04), el cobre tiene correlación positiva con el zinc (+12.11); obteniendo estos datos de correlación y T Student se podría predominar la presencia de esfalerita de tipo2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita).

(Benites Laurente & Doloriega Flores, 2019) en su tesis intitulado “Tratamiento de minerales mediante el blending para mejorar la calidad de concentrado de plomo zinc de la minera Toropunto a nivel experimental-2019” el blending de mineral, no presento mejoras significativas en la recuperación de zinc. dosificaron de A3418 y A208 mejoró la recuperación de plomo y plata, pero no tuvo efectos positivos en la recuperación de zinc. Al disminuir la dosificación de los depresores, se mejoró la calidad del concentrado de plomo y zinc, pero no hubo mejoras en la calidad del concentrado de zinc en lo que respecta a plomo y plata, en las pruebas el tiempo y los reactivos fueron los siguientes; tiempo de molienda: 15.40 minutos para un 55% de malla -200, CNNA y xantatos al 1%, cal, sulfato de cobre y sulfato de zinc al 10%, y espumante H-150 al 100%,

teniendo un consumo de cianuro de sodio: 35 gr/ton, cal: 2000 gr/ton (por debajo del rango habitual debido al pH), sulfato de cobre: 200 gr/ton (dentro del rango habitual).

(Henry, 2018) en su tesis intitulado "Optimización de la Flotación Polimetálica en la planta concentradora Mallay" se observó la necesidad de ajustar el tamaño de partícula en molienda a 70% -200 mallas, el diseño factorial experimental demostró que se logra una recuperación óptima de 92.12% Pb-Ag manteniendo un equilibrio adecuado en la dosificación de A-242, A-3418 y 70% -200 mallas. Para recuperación de zinc, es importante considerar la dosificación de Z-11 y CuSO₄ junto a la misma granulometría, logrando cerca de 91% de recuperación de zinc, en la investigación se obtuvo como resultados en la prueba Batch un performance metalúrgico regular para los valores de los concentrados plata debido a la recuperación acumulada alcanzada (81.99%) la performance para los valores de zinc es buenos con respecto al lay de cabeza debido a las recuperaciones y calidades obtenidas.

CONCLUSIONES

A continuación, se presentan los comentarios y conclusiones sobre las evaluaciones metalúrgicas y los estudios microscópicos realizados al Mineral Zona Media NV 180 Estructura Veta Llacsacocha TJ 249C:

1. Dureza del Mineral: La dureza del mineral es de 13.43 kW-h/TM, lo que se considera una dureza media.
2. El análisis químico de la muestra indica la presencia de 0.21% de cobre, 0.61% de plomo, 3.90% de zinc y 160.99 gr/tn de plata. Estos valores están relacionados con la presencia de varios minerales, incluyendo galena, geocronita, calcopirita, cobres grises y secundarios, esfalerita y otros.
3. La recuperación de cobre, plomo y zinc es favorable, principalmente debido a que la ley de cabeza está por debajo de los resultados diarios y la calidad de los concentrados está dentro de los grados comerciales. La recuperación de plata es aceptable, influenciada por la ley de cabeza de plomo y la cinética de flotación. Sin embargo, la performance de plomo no es favorable debido a su baja calidad.
4. La regresión estadística muestra alta correlación entre plata y cobre, lo que sugiere una alta concentración de plata en el concentrado de cobre se realizó la prueba batch y obteniendo el balance metalúrgico general se muestra que el arsénico está en 1.59% con calidad de cobre 16.59%.
5. La cinética de flotación en la etapa Bulk muestra una flotabilidad acelerada para cobre, plomo y plata, influenciada por el contenido de estos valores en la cabeza. La velocidad de cinética de flotación para zinc es también acelerada, con una recuperación alta y calidad dentro de los grados comerciales.
6. En el circuito zinc la plata tiene una correlación positiva con cobre (+31.09), la plata tiene una correlación positiva con zinc (+11.04), el cobre tiene correlación positiva con el zinc (+12.11); obteniendo estos datos de correlación y T Student se podría predominar la presencia de esfalerita de tipo 2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita).

7. Prueba Batch: Los resultados de la prueba Batch muestran un performance metalúrgico regular para los valores de los concentrados de plata, con una recuperación acumulada del 81.99%. La performance para los valores de zinc es buena, con recuperaciones y calidades obtenidas dentro de los grados comerciales.

RECOMENDACIONES

1. La recuperación de cobre, plomo y zinc es favorable, mientras que la recuperación de plata es aceptable. Se recomienda optimizar los procesos de flotación para mejorar la recuperación de plata.
2. Los resultados sugieren la presencia de varios minerales, incluyendo galena, geocronita, calcopirita, cobres grises y secundarios, esfalerita y otros. Se recomienda realizar estudios adicionales para determinar la mineralogía exacta y su impacto en la recuperación de metales.
3. La cinética de flotación es acelerada para cobre, plomo y plata, lo que sugiere que se pueden mejorar los procesos de flotación para aumentar la recuperación de estos metales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*.

Caracas - Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A.

Hernandes Sampieri, R., Fernandez Collado , C., & Baptista Lucio, P. (1997).

METODOLOGÍA DELA INVESTIGACIÓN. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

N.Kerlinger , F. (1975). *Investigación del comportamiento: técnicas y metodología*.

Mexico: Nueva Editorial Interamericana.

Peñuelas, M. A. (2010). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN*. Mexico: D.R.

Universidad Autonoma de Sinalga.

Picoy Calero, M. A. (2019). *Evaluación metalúrgica a los minerales sulfurados para su recuperación de concentrados de plomo, zinc en la planta concentradora de la*

UNDAC – Cía. Minera Caolín – Pasco 2019 . Pasco - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Sampieri, R. H. (2010). *Metología de la Investigación*. Mexico: McGrawHi. Tamayo y

Tamayo, M. (2000). *El proceso de la investigación científica*. Mexico:

ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos

Tabla 15. Balance metalúrgico

Balance Metalúrgico Proyectado	%Peso	Ensayes										Recuperacion									
		Ag gr /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn %	As %	Bi %	Sb %		
Conc. Cu	0.96	10,573.63	16.59	7.37	5.01	21.41	0.12	1.59	1.52	1.66	62.87	74.38	11.48	1.23	2.50	0.06	5.32	36.40	39.66		
Conc. Pb	1.04	1,974.79	1.75	41.77	9.09	14.12	0.15	0.48	0.49	1.02	12.78	8.53	70.87	2.43	1.79	0.08	1.73	12.77	26.53		
Conc. Zn	6.26	162.86	0.22	0.67	53.10	4.23	0.42	0.17	0.10	0.02	6.33	6.39	6.86	85.21	3.23	1.35	3.65	16.25	3.37		
Relave Final	91.74	31.61	0.02	0.07	0.47	8.27	2.11	0.28	0.02	0.01	18.01	10.69	10.79	11.13	92.48	98.51	89.30	34.59	30.45		
Cab.(calculado)	100.00	160.99	0.21	0.61	3.90	8.20	1.96	0.29	0.04	0.04	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
		Recuperaciones																			
		%Ag	%Cu	%Pb	%Zn																
		81.99	74.38	70.87	85.21																

Fuente: Autoría propia

Tabla 16. Matriz de consistencia

Evaluación metalúrgica del mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pa American Silver Pasco – 2024.				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
¿Cómo evaluar mediante pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco –2024??	Evaluar mediante pruebas metalúrgicas el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024. .	La evaluación de acuerdo a las pruebas metalúrgicas del mineral de la veta Llacsacocha hara posible la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.	VARIABLE INDEPENDIENTE	
			Evaluación metalúrgica	Enfoque investigación cuantitativa. Tipo de investigación aplicada - tecnológico Nivel explicativo. Población: mineral - de la Ve Llacsacocha. Muestra: 50 kg de población proporcionada por empresa Pa American Silver Huaron
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿Cómo evaluar el grado de moliendabilidad del mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024?	Evaluar el grado de moliendabilidad del mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.	La evaluación del grado de moliendabilidad del mineral de la veta Llacsacocha será un factor determinante para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.		

¿ Cómo evaluar mediante pruebas de flotación batch el mineral de la veta Llacsacocha	Evaluar mediante pruebas de flotación batch el mineral de la veta Llacsacocha para la recuperación	La evaluación mediante pruebas de flotación batch del mineral de la veta Llacsacocha permitirá encontrar	Recuperación Metalúrgica	
para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024?	de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.	parámetros para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en planta concentradora Huaron - Pan American Silver Pasco – 2024.		

Fuente: Autoría propia

Panel Fotográfico

