# UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

## FACULTAD DE INGENIERÍA

## ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

# T E S I S

**Ensayos de molienda y flotación para el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron – Pasco – 2025**

**Para optar el título profesional de**

**Ingeniero Metalurgista**


**Autores:**

**Bach. Lessly Marienela BRAVO CALIXTO**

**Bach. Víctor Yordan ESTRELLA SERRANO**

**Asesor:**

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA**


**Cerro de Pasco – Perú – 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**

# T E S I S

## Ensayos de molienda y flotación para el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron – Pasco – 2025

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

| | |
|---|---|
| **Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO** | **Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS** |
| **PRESIDENTE** | **MIEMBRO** |

**Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ**
**MIEMBRO**

**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

**Facultad de Ingeniería**

**Unidad de Investigación**

## INFORME DE ORIGINALIDAD N° 043-2026-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:

Presentado por:

**Bach. Lessly Marienela BRAVO CALIXTO**

**Bach. Víctor Yordan ESTRELLA SERRANO**

Escuela de Formación Profesional:

**Ingeniería Metalúrgica**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

Título del trabajo:

Ensayos de molienda y flotación para el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron – Pasco – 2025

**Asesor**

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA**

Índice de Similitud

**24 %**

Calificativo:

**APROBADO**

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity

Cerro de Pasco, 15 de julio del 2026

Firma Digital UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN [AVANZADA]

Firmado digitalmente por PALOMINO ISIDRO Ruben Edgar FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15.07.2026 20:56:55 -05:00

## DEDICATORIA

A Dios, por guiar mis pasos y darme fortaleza en cada desafío.

A mis padres, Jaime y Elizabeth, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser el pilar de este logro.

A mis hermanas, Kimberly y Ángeles, por su cariño y compañía en todo momento.

A mis familiares y amigos, por su confianza y motivación para no rendirme, A todos ustedes, les dedico este logro.

A mi mamá Yolanda Calixto, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi mayor inspiración en cada etapa de mi vida.

A mi familia, por su confianza y motivación permanente.

Y a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por concederme el don de la vida, la salud y la sabiduría, pilares fundamentales que me han permitido alcanzar esta etapa de mi formación y mantenerme firme ante las dificultades que se presentaron a lo largo del camino.

Guardo un especial reconocimiento y agradecimiento a la memoria del Ing. José Luis Hurtado E., cuyo respaldo, consejos y enseñanzas dejaron una huella importante en mi formación académica y personal. Su legado permanece presente en mi recuerdo, así como en los valores y conocimientos que compartió con quienes tuvimos el privilegio de conocerlo.

De igual manera, expreso mi más sincero agradecimiento a la Ing. Cinthya Cotrina J. por su apoyo constante, su generosidad al compartir sus conocimientos y las oportunidades que me brindó, contribuyendo significativamente a mi crecimiento personal y desarrollo profesional.

Agradezco también a la Ing. Melanie Valdiviezo R. por brindarme la oportunidad de integrarme a su equipo de trabajo, por la confianza depositada en mí y por su permanente motivación. Su insistencia, acompañamiento y estímulo fueron importantes para que pudiera culminar satisfactoriamente esta etapa de mi formación.

Finalmente, expreso mi gratitud a todos mis amigos de la promoción Félix Lewandoski, quienes formaron parte de este recorrido y contribuyeron, de una u otra manera, a mi crecimiento y aprendizaje. Gracias por compartir experiencias, momentos y enseñanzas que permanecerán como parte importante de este camino.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulada “Ensayos de molienda y flotación para el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron – Pasco – 2025” donde el objetivo es Determinar los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación para mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron, cuya investigación es aplicada del tipo de investigación es experimental con enfoque cuantitativo.

Las pruebas metalúrgicas y estudios mineralógicos al Mineral Polimetálico, cuyos contenidos de valores son; Ag **140,85** gr/ton, Cu **011**%, Pb **1,25**%, Zn **6,52**%, Fe **14,82**%, Mn **6,97**% y As **0,17**%, el contenido de óxidos es **14,20**% PbOx, y **5,47**% ZnOx. De acuerdo con los resultados el work índex comparativo presenta **14,55 kw-h/TM**, valor por debajo del estándar (budget = 13,0 KW-h/TM) lo cual se caracteriza de una dureza duro.

Los resultados obtenidos en las evaluaciones muestran un comportamiento geometalúrgico regular de este mineral en respuesta a las condiciones fisicoquímicas estándares, las cuales se muestra los resultados de los concentrados obtenidos: cobre con calidad de **19,69**% con 8 616,79 g/t de plata, 17,20 % de plomo, 5,22 % de zinc y 8,37 % de hierro con recuperación de **66,16**%; plomo con calidad de 57,42%, con 2 991,72 g/t Ag, 0,64 % de Cu, 6,33 % de zinc y 14,14 % de hierro con **81,19%** de recuperación; zinc con calidad de **55,46%**, con 364,0 g/t de Ag, 0,04 % de cobre, 0,61 % de plomo y 3,10 % de hierro con recuperación de **77,33 %,** la recuperación acumulada de plata es de **83,08 %**.

La plata está muy correlacionada positivamente al cobre y plomo (+31,39 y +145,87) valores favorables lo cual nos indicaría alta recuperación de plata con buenas concentraciones, la plata está muy correlacionada positivamente con antimonio y bismuto ($Ag\text{-}Sb^{=}$ +24,63) y ($Ag\text{-}Bi^{=}$ +19,58) se podría predominar posible presencia de argento tetraedrita ($Ag_{10}(Fe,Zn)_2Sb_4S_{13}$) mineralógicamente según la regresión estadística, la plata está muy

correlacionada positivamente al plomo (+145,87) valor favorable lo cual nos indicaría alta recuperación de plata con buenas concentraciones, la plata tiene una alta correlación con antimonio (Ag-$Sb^{=}$ +24,63) posible presencia de pirargirita ($Ag_3SbS_3$), el cobre muestra una correlación positiva entre los elementos de plomo y antimonio (Cu-$Pb^{=}$ +34,08, Cu-$Sb^{=}$ +64,90 y Pb-$Sb^{=}$ +25,64), el cual se podría denominar posible presencia de Bournonita ($PbCuSbS_3$), la plata, cobre y plomo con zinc muestra una correlación negativa (Ag-$Zn^{=}$ -6,09, Cu-$Zn^{=}$ -6,53 y Pb-$Zn^{=}$ -6,26), el cual es un dato para tener en cuenta donde podría afectar en el circuito bulk con alta activación de zinc y poder controlar con las etapas de limpiezas.

Este comportamiento metalúrgico es contrastado con los ensayes químicos con los cuales se realizan las regresiones estadísticas y con la microscopia óptica cualitativa se realiza la identificación mineralógica, en cuanto a la mineralogía de la rodocrosita y alabandita no se podría identificar a simple vista con el estudio del microscopio, según al análisis de las leyes con regresión estadística muestran las correlaciones negativas con los valores de interés donde se podría predominar presencia de rodocrosita porque no afecta las calidades y recuperación, todo esto por el contenido de manganeso en la cabeza (6,97 %).

En términos generales el tratamiento de este mineral presenta comportamiento metalúrgico regular debido principalmente por la ley que presenta y la cinética de flotación controlada; la cual afecta las recuperaciones del concentrado de zinc y calidad del cobre. Por lo tanto, el tratamiento de este mineral debe ser considerado para nuestro proceso con mayor blending para el buen performance metalúrgico.

**Palabras clave**: Ensayos de molienda, flotación, minerales polimetálicos, recuperación de minerales.

## ABSTRACT

The present research work titled “Grinding and flotation tests for the improvement of the recovery of polymetallic minerals at the Huaron mining company – Pasco – 2025” where the objetive is to determine the operational parameters in the grinding and flotation tests to improve the recovery of polymetallic minerals at the Huaron mining company whose research is applied, of an experimental type with a quantitative approach.

The metallurgical tests and mineralogical studies on the polymetallic mineral, which have the following values: Ag 140,85 g/t, Cu 0,11 %, Pb 1,25 %, Zn 6,52 % Fe 14,82 %, Mn 6,97 % and As 0,17 %, the oxide content is 14,20 % PbOx, and 5,47 % ZnOx. According to the results, the comparative work index is 14,55 kw-h/TM, a value below the standard (Budget= 13,0 kw-h/TM), which is characterized by hard hardness.

The results obtained from the evaluations show a regular geometallurgical behavior of this mineral response to standard physicochemical conditions, which show the results of the concentrates pained: copper with a quality of 19,69 % with 8 616,79 g/t of silver, 17,20 % lead, 5,22 % Zinc, and 8,37 % iron with a recovery of 66,16 %; lead with a quality of 57,42 %, with 2 991,72 g/t Ag, 0,64 % Cu, 6,33 % zinc, and 14,14 % iron with a recovery of 81,19 %; zinc a quality of 55,46 %, with 364,0 g/t of Ag, 0,04 % cooper, 0,61 % lead, and 3,10 % iron with a recovery of 77,33 %, the accumulated recovery of silver is 83,08 %.

Silver is very positively correlated with copper and lead (+31,39 and +145,87), favorable values which indicate high silver recovery with good concentrations. Silver is also very positively correlated with antimony and bismuth (Ag-Sb= +24,63) and (Ag-Bi= + 19,58), indicating a possible presence of argentotetrahedrite ($Ag_{10}(Fe,Zn)_2Sb_4S_{13}$) mineralogically according to the statistical regression. Silver is very positively correlated with lead (+145,87), a favorable value which indicates high silver recovery with good concentrations Silver has a high correlation with antimony (Ag-Sb= +24,63) suggesting a posible presence of pyrargyrite

($Ag_3SbS_3$). Copper shows a positive cerrelation between lead and antimony elements (Cu-Pb= +34,08, Cu-Sb= +64,90 and Pb-Sb= +25,64), which could be referred to as a possible presence of Bournonite (PbCuSbS3), silver, copper, and lead with zinc shows a negative correlation (Ag-Zn= -6,09, Cu-Zn= -6,53, and Pb-Zn= -6,26), which is a piece of information to consider where it could affect the bulk circuit with high zinc activation and controlled with cleaning stages.

This metallurgical behavior is contrast with chemical tests which are used for statistical regressions, and with qualitative optical microscopy for mineralogical identification. As for the mineralogy of rhodochrosite and alabandite, it could not be identified at first glance using the microscope. According to the analysis of the laws with statistical regresión, negative correlations are shown with the values of interest where the presence of rhodochrosite could predominate because it does not affect the qualities and recovery, all this due to the manganese content in the head (6,97 %).

In general terms the treatment of this mineral shows regular metallurgical behavior mainly due to the grade it presents and the controlled flotation kinetics; which affects the recoveries of the zinc concentrate and the quality of the copper. Therefore, the reamend of this mineral should be considered for our process with greater blending foot Good metallurgical performance.

**Keywords:** Milling tests, flotation, polymetallic minerals, recovery of minerals.

# INTRODUCCIÓN

La empresa minera Huaron se dedica a la explotación de yacimientos minerales polimetálicos haciendo de ella una operación de exploración, explotación y tratamiento metalúrgico en su planta concentradora, luego lo comercializa, en esa línea se procede a realizar evaluaciones metalúrgicas del mineral que se encuentra en la etapa de exploración y desarrollo de un yacimiento.

Durante esta etapa, se han identificado zonas mineralizadas y se han recolectado muestras representativas del mineral. La justificación para llevar a cabo esta evaluación radica en la necesidad de comprender las propiedades y características del mineral con el fin de optimizar su procesamiento y maximizar la recuperación de los metales valiosos presentes en el depósito.

Mediante la evaluación metalúrgica, se busca determinar los métodos y técnicas de procesamiento más eficientes, así como establecer los parámetros de diseño y operación adecuados.

La evaluación metalúrgica proporciona información crucial para evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto, así como para mitigar los riesgos asociados al procesamiento del mineral y optimizar los resultados metalúrgicos.

La investigación se desarrolló del siguiente modo:

**CAPÍTULO I:** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, formulación de los objetivos, justificación, limitaciones de la investigación.

**CAPÍTULO II:** MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos.

**CAPÍTULO III:** METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN, se da a conocer las pautas a seguir para la obtención y tratamiento de datos descriptivos seguidos.

**CAPÍTULO IV:** RESULTADOS y DISCUSIÓN, se presenta en tablas y gráficos los resultados de las pruebas metalúrgicas, para luego contrastar con la investigación realizada.

# ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

**CAPÍTULO I**

**PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. Identificación y determinación del problema ..... 1

1.2. Delimitación de la investigación ..... 3

1.3. Formulación del problema ..... 4

1.3.1. Problema general ..... 4

1.3.2. Problemas específicos ..... 4

1.4. Formulación de objetivos ..... 4

1.4.1. Objetivo general ..... 4

1.4.2. Objetivos específicos ..... 4

1.5. Justificación de la investigación ..... 5

1.6. Limitaciones de la investigación ..... 5

**CAPÍTULO II**

**MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de estudio ..... 7

2.2. Bases teóricas – científicas ..... 9
2.3. Definición de términos básicos ..... 16
2.4. Formulación de hipótesis ..... 18
2.4.1. Hipótesis general ..... 18
2.4.2. Hipótesis específicas ..... 18
2.5. Identificación de Variables ..... 18
2.6. Definición operacional de variables e indicadores ..... 19

## CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación ..... 20
3.2. Nivel de investigación ..... 20
3.3. Métodos de investigación ..... 21
3.4. Diseño de investigación ..... 21
3.5. Población y muestra ..... 21
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... 22
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación. ..... 23
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos ..... 23
3.9. Tratamiento estadístico ..... 24
3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica ..... 24

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo ..... 26
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados ..... 33
4.3. Prueba de hipótesis ..... 49
4.4. Discusión de resultados ..... 53

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

# ÍNDICE DE TABLAS

Página

**Tabla 1.** Símbolo mineralógico de los minerales ..... 28

**Tabla 2**. Tipo de clasificación de los minerales ..... 29

**Tabla 3.** Ensayos Químicos ..... 33

**Tabla 4.** Tiempo de Molienda malla -200 55% ..... 35

**Tabla 5.** Determinación de Work Index -200 55% ..... 36

**Tabla 6.** Balance metalúrgico antes de iniciar las pruebas ..... 38

**Tabla 7.** Condiciones para la Prueba de Flotación Batch ..... 40

**Tabla 8**. Cinéticas de Flotación Bulk ..... 44

**Tabla 9.** Porcentaje de distribución acumulada calculada ..... 44

**Tabla 10.** Cinéticas de flotación zinc ..... 47

**Tabla 11.** Porcentaje de distribución acumulada calculada de zinc ..... 47

**Tabla 12.** Tipo y dosificación de reactivos expresados en g/t. ..... 50

**Tabla 13.** Prueba Batch Mineral Polimetálico ..... 51

**Tabla 14.** Regresiones cinética selectivo circuito bulk ..... 54

**Tabla 15.** Regresiones cinética selectiva circuito zinc ..... 56

**Tabla 16.** Malla valorada de relave final ..... 58

**Tabla 17.** Regresión ..... 59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

**Figura 1.** Concentrado de Bulk malla +400 ..... 29

**Figura 2.** Concentrado de Bulk malla +400 ..... 30

**Figura 3.** Concentrado Zn malla +400 ..... 31

**Figura 4.** Concentrado Zinc malla +400 ..... 31

**Figura 5.** Relave Final malla +400 ..... 32

**Figura 6.** Relave Final malla +400 ..... 32

**Figura 7.** Curva de Moliendabilidad ..... 35

**Figura 8.** Esquema general de pruebas ..... 39

**Figura 9.** Curva de Cinética Bulk ..... 45

**Figura 10.** Calidad – recuperación Bulk ..... 45

**Figura 11.** Cinética de flotación zinc ..... 48

**Figura 12.** Cinética de valores zinc ..... 48

# CAPÍTULO I

# PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Identificación y determinación del problema

La empresa minera Huaron, ubicada en el departamento de Pasco – Perú y operada por Pan American Silver Huaron, se dedica al tratamiento de minerales polimetálicos complejos que contienen principalmente plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), plata (Ag) y pequeñas cantidades de oro (Au). Esta unidad minera trabaja con minerales de origen hidrotermal, muchas veces con asociaciones mineralógicas finamente diseminadas y complejas, lo cual representa un gran desafío para las etapas de concentración por flotación.

La Empresa Minera Huaron procesa minerales polimetálicos complejos que contienen principalmente plomo, zinc, cobre y plata. Sin embargo, durante las operaciones de beneficio mineral se presentan variaciones en los resultados metalúrgicos, reflejadas en recuperaciones inferiores a las esperadas y pérdidas de valores metálicos en los relaves. Estas deficiencias pueden estar asociadas a una inadecuada liberación de los minerales valiosos durante la etapa de molienda, así como a condiciones operativas no optimizadas en el proceso de flotación.

La eficiencia de la molienda influye directamente en el grado de liberación de las especies minerales, mientras que la flotación depende de variables como el tamaño de partícula, la dosificación de reactivos, el pH de operación, el tiempo de acondicionamiento y las características mineralógicas del mineral alimentado. Cuando estas variables no son adecuadamente controladas, se generan pérdidas metalúrgicas que afectan la recuperación de los metales de interés y disminuyen la rentabilidad del proceso.

En este contexto, surge la necesidad de realizar ensayos metalúrgicos de molienda y flotación que permitan evaluar y optimizar las condiciones de operación para incrementar la recuperación de los minerales polimetálicos procesados en la Empresa Minera Huaron.

La Empresa Minera Huaron enfrenta el desafío de maximizar la recuperación de minerales polimetálicos debido a la complejidad mineralógica de los yacimientos y a las variaciones operativas presentes en las etapas de molienda y flotación. Estas condiciones pueden generar una liberación insuficiente de los minerales valiosos y una baja selectividad durante la separación por flotación, ocasionando pérdidas de contenido metálico en los relaves y una disminución de la eficiencia metalúrgica.

Ante esta situación, resulta necesario determinar cómo las condiciones de molienda y flotación influyen en la recuperación de los minerales polimetálicos, con el propósito de establecer parámetros operativos óptimos que permitan mejorar el desempeño del proceso de concentración.

## 1.2. Delimitación de la investigación

### Delimitación Espacial:

La presente investigación se desarrollará en el laboratorio metalúrgico de la empresa minera Huaron, ubicada en el distrito de Huayllay, provincia y región de Pasco – Perú.

### Delimitación Temporal:

El estudio abarco un periodo de análisis y ejecución experimental comprendido entre los meses de setiembre del 2024 a febrero del 2025**,** considerando las fases de diagnóstico, preparación de muestras, ejecución de ensayos de molienda y flotación, y análisis de resultados.

### Delimitación Temática:

La investigación se centró en la evaluación de los parámetros operacionales de molienda (como tiempo de molienda y tamaño de partícula) y de flotación (dosificación de reactivos, pH, tiempo de acondicionamiento, tiempo de flotación), con el fin de mejorar la recuperación metalúrgica de los minerales polimetálicos, principalmente plomo, zinc, cobre y plata.

No se abordarán otros procesos unitarios como la clasificación, sedimentación, filtrado ni fundición, ni se consideraron aspectos económicos, ambientales o legales del proceso.

### Delimitación Metodológica:

El estudio se basará en una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental, utilizando pruebas batch de flotación en celdas de laboratorio, análisis granulométrico, determinación de liberación mineralógica (mediante microscopía) y evaluación de leyes de cabeza, concentrado y relave mediante análisis químicos convencionales.

## 1.3. Formulación del problema

### 1.3.1. Problema general

¿Cómo influye los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación en el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron?

### 1.3.2. Problemas específicos

a. ¿Cuál es el efecto del tamaño de partícula (producto de la molienda) sobre la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre?
b. ¿Qué tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos?
c. ¿Qué tipo de minerales constituye el mineral polimetálico que permita el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron?

## 1.4. Formulación de objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación para mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron

### 1.4.2. Objetivos específicos

a. Determinar el tamaño de partícula (producto de la molienda) sobre la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre.
b. Determinar el tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos.

c. Determinar el tipo de minerales que constituye el mineral polimetálico que permita el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron.

## 1.5. Justificación de la investigación

La recuperación eficiente de minerales polimetálicos como plomo, zinc, cobre y plata es un factor crítico para la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras, especialmente en yacimientos complejos como los que explota la empresa minera Huaron. En este contexto, la evaluación de los procesos de molienda y flotación representa una oportunidad estratégica para maximizar el aprovechamiento de los recursos minerales y reducir pérdidas de valores metálicos en el relave.

La presente investigación se justifica en la necesidad de ejecutar ensayos metalúrgicos en laboratorio que permitan identificar y ajustar los factores operacionales que afectan directamente la recuperación metalúrgica. Estos ensayos permitirán determinar la granulometría ideal para una adecuada liberación de minerales, así como las condiciones óptimas de flotación que favorezcan la selectividad y eficiencia del proceso.

Por tanto, esta investigación es relevante no solo para la evaluación del desempeño metalúrgico de la empresa minera Huaron, sino también para fortalecer su competitividad, sostenibilidad operativa y compromiso con la gestión eficiente de los recursos minerales.

## 1.6. Limitaciones de la investigación

**Acceso restringido a información operativa confidencial:** Algunos datos técnicos y productivos de la planta concentradora Huaron pueden estar sujetos a restricciones internas de confidencialidad, lo cual limita la comparación directa entre los resultados de laboratorio y los resultados reales de planta.

**Variable mineralógica:** La composición mineralógica del mineral polimetálico puede variar significativamente entre frentes de explotación, lo que podría influir en la representatividad de las muestras utilizadas en los ensayos y limitar la extrapolación de resultados a toda la operación.

**Condiciones de laboratorio distintas a planta concentradora:** Las condiciones controladas en laboratorio (por ejemplo, celdas de flotación batch, pequeñas cantidades de muestra) no siempre replican exactamente las condiciones operativas de planta, lo cual puede generar desviaciones entre los resultados experimentales y los resultados a escala industrial.

**Disponible:** Aunque se busca realizar la evaluación de diferentes reactivos y sus combinaciones, la disponibilidad de algunos colectores, modificadores o espumantes puede estar sujeta a stock, presupuesto o políticas de adquisición de la empresa.

**Restricciones de tiempo y recursos humanos:** El desarrollo de los ensayos experimentales y su análisis dependerá del cronograma de actividades, la disponibilidad de equipos y personal técnico calificado, lo cual puede limitar el número de pruebas o repeticiones que se pueden realizar dentro del período establecido.

**No se consideran factores económicos ni ambientales:** Esta investigación se enfoca exclusivamente en parámetros técnicos para mejorar la recuperación metalúrgica. No contempla el análisis económico de costos/beneficios de la implementación de mejoras, ni el impacto ambiental asociado a cambios en reactivos o procesos.

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes de estudio

**Aramburú Rojas** V. S. Y **Tiburcio Alva R. M.** (2020) en el repositorio de la UNMSM, donde se aprueba la tesis titulada Optimización en la Recuperación de Zinc de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú – Huancavelica cuyo resumen manifiestan que "El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal optimizar la recuperación de zinc en la segunda etapa de flotación de minerales polimetálicos de la empresa Mines and Metals Trading Perú donde su recuperación promedio anual de Zinc es de 82 %. En la planta concentradora se realizaron dos muestreos la primera de mineral fresco en la faja N°01 que alimenta a la molienda primaria y las de pulpa se obtuvieron de las colas de flotación bulk Pb/Ag. Durante el estudio se realizó pruebas preliminares de flotación con la finalidad de seleccionar las variables independientes más influyentes en la variable dependiente haciendo uso del programa estadístico MINITAB. Se realizaron pruebas de flotación variando la dosificación de sulfato de cobre(g/TM) y tiempo de remolienda(minutos). Con los resultados obtenidos se realiza la optimización con el

Diseño Hexagonal, obteniendo valores máximos de sulfato de cobre de 351,06 g/TM y tiempo de remolienda de 5,06 minutos. Con estos resultados se obtiene una recuperación teórica de 95,54%".

**Mamani León, E. R**. (2018) en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa se aprueba la tesis titulada Evaluación y optimización del proceso de flotación de minerales polimetálicos de la compañía minera Kolpa S.A. cuyo resumen da a conocer que "La tesis trata sobre como optimizar la dosificación de reactivos de flotación para obtener una mayor recuperación de los metales Cu, Pb y Zn en los concentrados. La tesis se divide en: Generalidades o Introducción: Donde se describe la ubicación y distribución de alas diversas operaciones que se realiza en la planta concentradora. Descripción de la planta concentradora: Donde se describe las operaciones específicas para cada sección intervinientes en la planta concentradora. Estudio Fenomenológico de Flotación: Donde se estudian todas las fases por la cual el mineral tiene que ser sometido para alcanzar la liberación de la partícula valiosa Desarrollo experimental: En este capítulo se describe el procedimiento experimental que se desarrolló en el laboratorio metalúrgico para optimizar la recuperación de la partícula valiosa mediante el método factorial con tres variables que son el sulfato de cobre, xantato, Z-11 y pH. Conclusiones y Recomendaciones: Finalmente se llega optimizar la recuperación de los concentrados mediante el control de parámetros intervinientes en la flotación polimetálica".

**Ortega Evangelista D. A. Y Salvador Villanueva B. P.** (2025) en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión se ha sustentado la tesis titulada Ensayos sucesivos de chancado y zarandeo hasta obtener una granulometría 100 % - malla 10 Tyler, en cuyo resumen dan a conocer que "El estudio se llevó a cabo en la planta de concentración de Santa Ana S.A.C., en un laboratorio, con el objetivo de

optimizar la recuperación de óxido de cobre a través de la flotación. El mineral extraído de la mina Zorro I se sometió a una preparación mecánica para obtener muestras de 1500 gramos, que luego se analizaron para determinar su composición mineralógica. Los resultados mostraron que la mayor parte del óxido de cobre se encontraba asociado con la ganga cuarcífera, lo que facilitaría su liberación en las etapas posteriores de conminución. Se realizaron pruebas para controlar la granulometría del producto de la molienda, y se investigaron variables como el pH de la pulpa, los colectores, el espumante, el tiempo de residencia y la velocidad de agitación. Después de realizar múltiples pruebas experimentales, se determinó que la recuperación de cobre estaba en función de dos variables clave: el grado de molienda y la velocidad de agitación de la pulpa. La optimización final del proceso se llevó a cabo con una velocidad de agitación de 925 rpm y una granulometría de 92% - malla 100 Tyler. Los resultados mostraron que la máxima recuperación del óxido de cobre fue de 68,00%, con una granulometría de 94% - malla 100 Tyler y una agitación de 915 rpm. Esta recuperación es superior a la reportada en la planta concentradora, que es de 60 65%. La investigación demostró que la optimización de la flotación puede mejorar significativamente la recuperación de óxido de cobre. Los resultados de este estudio pueden ser aplicados en la planta concentradora para mejorar la eficiencia del proceso 15 de flotación y aumentar la producción de óxido de cobre. La recuperación óptima del óxido de cobre es crucial para la industria minera, y este estudio contribuye a la mejora de la tecnología de flotación".

## 2.2. Bases teóricas – científicas

### 2.2.1. Contexto de los minerales polimetálicos en Huaron

La Unidad Minera Huaron, operada por la empresa Pan American Silver, se ubica en la región Pasco, Perú, y es reconocida por la explotación de yacimientos

hidrotermales de tipo vetiforme, ricos en minerales polimetálicos. Los principales minerales de interés económico son la galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita ($CuFeS_2$), pirita ($FeS_2$) y sulfosales argentíferos. Estos minerales se presentan en una ganga compuesta principalmente por cuarzo, baritina y carbonatos, lo que complica su tratamiento metalúrgico y demanda procesos específicos de concentración (Pan American Silver, 2022).

Los minerales polimetálicos presentan un desafío técnico debido a su asociación íntima entre sulfuros y la variabilidad mineralógica entre zonas de la mina. Esto obliga a realizar evaluaciones constantes mediante ensayos de molienda y flotación para adaptar el tratamiento a las características del mineral y maximizar la recuperación metalúrgica (Valenzuela & Soto, 2017).

### 2.2.2. Minerales Polimetálicos y su Importancia Económica

Los minerales polimetálicos son aquellos que contienen más de un metal valioso, como plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), y en muchos casos, plata (Ag) y oro (Au). Estos minerales suelen encontrarse en asociaciones complejas que requieren procesos metalúrgicos selectivos para su recuperación eficiente. La empresa minera Huaron, ubicada en la región Pasco – Perú, explota cuerpos minerales polimetálicos con predominancia de esfalerita, galena, calcopirita y sulfosales de plata, lo que requiere una estrategia de procesamiento adecuada para maximizar la recuperación de valores (Valenzuela y Soto, 2017).

### 2.2.3. Molienda como etapa clave en la liberación de minerales

La molienda es una de las etapas críticas en el procesamiento de minerales, ya que tiene como objetivo principal reducir el tamaño de partícula hasta lograr la liberación adecuada de las especies minerales de interés. La eficiencia de esta etapa influye directo (Gupta y Yan, 2006).

Según Wills y Finch (2016), la liberación insuficiente del mineral produce bajas recuperaciones, mientras que una molienda excesiva genera partículas finas (slimes) que pueden afectar negativamente la flotación. En el caso de minerales polimetálicos, se requiere un control riguroso del tamaño de molienda, ya que cada mineral puede liberarse en rangos granulométricos diferentes.

> *"La* optimización *del tamaño de molienda busca maximizar la liberación del mineral valioso y minimizar la generación de lamas, que afectan la selectividad y eficiencia de la flotación"* (Wills, B. A., & Finch (2016) p. 68.

### 2.2.4. Fundamentos de la molienda en el procesamiento de minerales

La molienda es una operación unitaria que tiene como objetivo la reducción del tamaño de partícula del mineral previamente chancado, con el propósito de liberar los minerales valiosos de la ganga. Este proceso se lleva a cabo en molinos de bolas, molinos SAG o molinos de barras, dependiendo de la capacidad y tipo de mineral tratado. (Wills & Finch, 2016).

La eficiencia de la molienda se evalúa mediante pruebas de laboratorio que determinan la distribución granulométrica del producto molido y el grado de liberación mineralógica. La liberación es clave para la flotación, ya que partículas no completamente liberadas pueden no responder a los reactivos, disminuyendo la recuperación (Wills & Finch, 2016).

> *“La liberación adecuada de las especies minerales valiosas es condición indispensable para lograr una recuperación eficiente en los procesos posteriores, como la flotación”* (Gupta & Yan, 2006, p. 148).

En el caso de Huaron, se ha observado que una molienda hasta 80% bajo 75 micrones permite una buena liberación de galena y esfalerita. Sin embargo, la variabilidad del mineral hace necesario realizar ensayos de molienda periódicamente

para ajustar el $P_{80}$ (tamaño de corte) ideal para cada campaña minera (Pan American Silver, 2022).

### 2.2.5. Flotación selectiva de minerales polimetálicos

La flotación es el principal método de concentración para minerales polimetálicos. Su éxito depende de factores como la química del sistema, la secuencia de flotación, el tipo de reactivos utilizados y las condiciones operativas del circuito. En minerales complejos como los de Huaron, se emplean secuencias diferenciales para separar galena, esfalerita, calcopirita y sulfosales de plata. (Crozier, 1992; Fuerstenau et al., 2007).

La flotación selectiva requiere una cuidadosa dosificación de colectores, depresores y modificadores de pH para lograr una separación eficiente. Por ejemplo, el uso de cianuro y sulfato de zinc como depresores en la flotación de esfalerita permite flotar primero la galena y luego el zinc, con ayuda de colectores específicos como el xantato y el Aerophine (Crozier, 1992; Fuerstenau et al., 2007).

> *"El control de la química del medio, especialmente el pH y la concentración de iones metálicos, es esencial para la flotación selectiva de sulfuros complejos"* (Fuerstenau, 2007, p. 158).

### 2.2.6. Principios de flotación de minerales polimetálicos

La flotación es un proceso fisicoquímico que permite la separación de minerales valiosos de la ganga mediante la adhesión selectiva de estos a burbujas de aire. Este proceso se lleva a cabo en celdas de flotación, donde se emplean reactivos que modifican la superficie de los minerales, haciéndolos hidrofóbicos o hidrofílicos según convenga (Fuerstenau et al., 2007).

Según Crozier, (1992) Los reactivos principales en flotación son:

- **Colectores**: como xantatos y ditiocarbamatos, que promueven la hidrofobicidad de sulfuros.
- **Espumantes**: como MIBC, que estabilizan la espuma.
- **Depresores**: como cianuro de sodio o sulfato de zinc, que inhiben la flotación de ciertos minerales para permitir la flotación selectiva.

En la flotación de minerales polimetálicos, se emplea una secuencia diferencial que consiste en:

1. **Primera etapa**: Flotación de plomo (galena), deprimido el zinc y el cobre.
2. **Segunda etapa**: Activación del zinc con sulfato de cobre y flotación de la esfalerita.
3. **Tercera etapa (opcional)**: Recuperación del cobre o plata asociada a sulfosales o pirita (Crozier, 1992).

*"El éxito de la flotación selectiva depende del uso secuencial y balanceado de reactivos, así como del conocimiento del comportamiento electroquímico de cada especie mineral"* (Fuerstenau et al., 2007, p. 159).

### 2.2.7. Interacción entre molienda y flotación

Existe una interdependencia fundamental entre el grado de molienda y la eficiencia de flotación. Una molienda insuficiente impide la adecuada liberación del mineral, reduciendo la flotabilidad. En contraste, una sobre molienda genera lamas (slimes), que disminuyen la selectividad de los reactivos, contaminan los concentrados y aumentan las pérdidas en relaves (Wills & Finch, 2016).

En ensayos metalúrgicos de Huaron se ha observado que el aumento de finos reduce la recuperación de plomo y zinc, debido a la pasivación de partículas ultrafinas y su arrastre mecánico hacia relaves. Por ello, los ensayos de molienda y flotación deben evaluarse de forma conjunta. (Huamán, López & Espinoza, 2019)

*"La optimización del tamaño de molienda debe equilibrar la liberación efectiva del mineral valioso con la minimización de lamas, garantizando así una flotación eficiente"* (Wills & Finch, 2016, p. 225).

### 2.2.8. Importancia de los ensayos metalúrgicos en Huaron

En la práctica industrial, los ensayos de laboratorio de molienda y flotación permiten:

- Determinar el tamaño óptimo de molienda ($P_{80}$) para lograr la máxima recuperación.
- Evaluar la dosificación y tipo de reactivos adecuados para cada tipo de mineral.
- Simular condiciones operativas de planta a escala de laboratorio.
- Establecer parámetros de control para la operación a nivel industrial.

Estos ensayos permiten desarrollar planes de mejora continua en la planta concentradora de Huaron, reduciendo costos de operación, mejorando la recuperación de metales valiosos y minimizando las pérdidas en relave (Valenzuela & Soto, 2017).

Además, constituyen la base técnica para implementar tecnologías complementarias como circuitos de molienda secundaria, celdas columna o reactivos alternativos como los colectores tipo fosfinato (Aerophine 3418A), cuya eficiencia en minerales complejos ha sido demostrada en pruebas piloto (Pan American Silver, 2022).

### 2.2.9. Sección reactivos

Se inicia con la preparación de los reactivos, para luego almacenarlos en los tanques de alimentación, de donde son alimentados gradualmente de acuerdo a la dosificación requerida.

**Reactivos utilizados:**

**$ZnSO_4$.-** El sulfato de zinc deprime los sulfuros de zinc, es adicionado en los molinos y en las limpiezas del concentrado bulk.

**NaCN.-** El cianuro de sodio deprime la pirita, es adicionado conjuntamente con el sulfato de zinc. En separación lo usamos para deprimir al cobre.

**Z-6.-** El colector xantato amílico de potasio es usado para darles propiedades hidrofóbicas a los sulfuros, es adicionado en el tercer scavenger de bulk.

**Z-11.-** El colector xantato isobutil propílico es usado para darle a los sulfuros cualidades hidrofóbicas, es usado en diferentes puntos.

**F-70.-** Es adicionado en la cabeza de flotación bulk, con la finalidad de formar espumas y cargar en ellas los sulfuros colectados.

**CAL.-** Es usado para variar el pH de la pulpa y dar las condiciones necesarias para la flotación, se adiciona a la cabeza zinc y última limpieza de zinc.

**$Na_2Cr_2O_7$.-** El bicromato de sodio es un depresor de sulfuro de plomo y es usado en el circuito de separación.

**Tylose (CMC).-** El carboximetylcelulose es un reactivo orgánico que actúa como depresor de plomo, además de ser aglomerante.

**Fosfato Monosódico. -** Es un reactivo que se utiliza en el circuito de separación con la finalidad de deprimir los insolubles y parte del zinc presentes en el concentrado bulk.

**Dispersogen HOE-500.-** Este reactivo es utilizado como dispersante de lamas y es adicionado a la alimentación del molino.

**Sulfuro de Sodio.-** Es utilizado para formar una capa de sulfuro de plomo en los minerales oxidados de plomo y así poder recuperarlos, es adicionado en la alimentación del molino.

## 2.3. Definición de términos básicos

**Molienda:** Proceso de reducción de tamaño de las partículas minerales mediante la acción mecánica de cuerpos moledores (bolas o barras) en equipos como molinos. En el contexto de la empresa minera Huaron, la molienda permite liberar los minerales valiosos (galena, esfalerita, calcopirita) contenidos en una matriz de ganga, para facilitar su posterior recuperación por flotación.

**$P_{80}$:** Tamaño de partícula en micrones al cual el 80 % del material pasa a través de un tamiz. Es un parámetro clave para controlar la molienda y lograr una liberación adecuada de los minerales. Por ejemplo, un $P_{80}$ de 75 μm indica que el 80 % del mineral ha sido reducido a menos de 75 micras.

**Liberación:** Grado en el que los minerales valiosos se encuentran físicamente separados de la matriz.

**Flotación:** Técnica de concentración que permite la separación de minerales valiosos mediante su adhesión a burbujas de aire en presencia de reactivos químicos. En Huaron, se utiliza flotación diferencial para recuperar primero la galena (plomo), luego la esfalerita (zinc) y, en la flotación bulk se flota plomo, cobre, plata para luego realizar la flotación diferencial.

**Ensayos metalúrgicos:** Pruebas experimentales realizadas en laboratorio para evaluar el comportamiento de un mineral bajo distintas condiciones de molienda, flotación, reactivos y tiempos de residencia. Estos ensayos permiten determinar parámetros óptimos para maximizar la recuperación metalúrgica.

**Recuperación metalúrgica:** Porcentaje de un metal valioso que es recuperado del mineral tratado y concentrado en un producto útil, como el concentrado de plomo o zinc. Se calcula como la relación entre el contenido metálico del concentrado y el contenido metálico total del mineral de alimentación.

**Reactivos de flotación:** Sustancias químicas utilizadas para modificar las superficies de los minerales durante la flotación. Los más comunes son:

- **Colectores** (como xantatos y Aerophine 3418): promueven la hidrofobicidad del mineral valioso.
- **Espumantes** (como MIBC): estabilizan la espuma.
- **Depresores** (como cianuro o sulfato de zinc): inhiben la flotación de ciertos minerales no deseados.

**Concentrado:** Producto de la flotación que contiene un alto porcentaje de minerales valiosos. En la minera Huaron, se generan concentrados de plomo, zinc y en algunos casos cobre con contenidos económicamente aprovechables.

**Relave:** Material descartado del proceso de flotación, compuesto principalmente por ganga y pequeñas cantidades de minerales no recuperados. La reducción de pérdidas de valores metálicos en el relave es uno de los objetivos de la mejora metalúrgica.

**Secuencia de flotación:** Orden específico en el cual se realizan las etapas de flotación para recuperar selectivamente los distintos minerales presentes en el mineral polimetálico. En Huaron, típicamente se sigue una secuencia: plomo → zinc → cobre.

**Cinética de flotación:** Velocidad con la que un mineral es recuperado durante el proceso de flotación. Se analiza mediante pruebas en diferentes tiempos para modelar el comportamiento del mineral y optimizar la operación.

**Ensayos de flotación batch:** Pruebas realizadas en laboratorio a escala reducida con una cantidad fija de mineral, para simular las condiciones de flotación industrial. Sirven para comparar resultados entre distintas condiciones de reactivos, pH, tiempos, etc.

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

Si determinamos los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación entonces podemos mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron

### 2.4.2. Hipótesis específicas

a. Si determinamos el tamaño de partícula (producto de la molienda) entonces mejoramos la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre.

b. Si determinamos el tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) entonces nos permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos.

**c.** Si determinamos el tipo de minerales que constituye el mineral polimetálico entonces nos permite el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron.

## 2.5. Identificación de Variables

### 2.5.1. Variable Independiente

Ensayos de molienda y flotación

### 2.5.2. Variable Dependiente

Mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicadores |
|---|---|---|---|---|
| **Independiente Ensayos de molienda y flotación** | Se realizará pruebas de molienda y flotación | **Molienda**: Se medirá mediante el P80 obtenido por análisis granulométrico con tamices. | Tamaño de partícula | P80 pasante en micras |
| | | **Flotación**: Se evaluará por la recuperación metalúrgica, ley del concentrado, tiempo de flotación, tipo y dosis de reactivos usados. | Grado de liberación | % de liberación |
| | | | Recuperación | Recuperación de Zinc |
| **Dependiente Mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos** | Se realizará balances metalúrgicos, Observación en microscopía óptica. | Se medirá como el porcentaje de recuperación de plomo, zinc y plata obtenido en los ensayos de flotación batch, calculado mediante balance metalúrgico (masa × ley). | Ley de concentrado | % de contenido cumplido |
| | | | Selectividad de flotación | Razón Pb/Zn o Zn/Cu en el concentrado |

# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

## 3.1. Tipo de investigación

La investigación que se realiza en los ensayos de molienda y flotación para mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron corresponde a:

**Investigación aplicada, de tipo experimental y con enfoque cuantitativo.**

- **Aplicada**, porque se orienta a resolver un problema práctico en un contexto específico: mejorar la eficiencia metalúrgica de una planta de procesamiento de minerales.
- **Cuantitativa**, porque se utilizan datos numéricos y análisis estadísticos para obtener conclusiones objetivas y medibles. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014)

## 3.2. Nivel de investigación

La presente investigación corresponde al nivel explicativo, debido a que busca determinar la influencia de las variables operativas de molienda y flotación sobre la recuperación de minerales polimetálicos, identificando las relaciones de causa y efecto

entre las condiciones de operación y los resultados metalúrgicos obtenidos. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014)

## 3.3. Métodos de investigación

**Método cuantitativo**, porque permite controlar y modificar las variables del proceso (como el tiempo de molienda, la granulometría, el pH, y la dosificación de reactivos de flotación) para observar su efecto sobre la recuperación metalúrgica. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014)

## 3.4. Diseño de investigación

**Diseño experimental** porque se manipulan una o más variables independientes (granulometría, dosificación de reactivos) para evaluar su efecto sobre variables dependientes (como la recuperación metalúrgica o la ley del concentrado). Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014)

## 3.5. Población y muestra

### Población

La población de estudio está constituida por la totalidad del mineral polimetálico proveniente de la Empresa Minera Huaron que es procesado en la planta concentradora y que presenta características mineralógicas y metalúrgicas representativas del yacimiento. Esta población comprende el mineral alimentado al circuito de molienda y flotación, susceptible de ser sometido a evaluaciones experimentales para determinar las condiciones óptimas de procesamiento y recuperación de metales valiosos.

### Muestra

La muestra estará conformada por una cantidad representativa de mineral polimetálico obtenida mediante un procedimiento de muestreo adecuado a partir de la alimentación de la planta concentradora de la Empresa Minera Huaron. Dicha muestra

será preparada mediante etapas de chancado, homogenización y cuarteo, con la finalidad de garantizar su representatividad para los ensayos de molienda y flotación.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron muestras de mineral en cantidad suficiente (30 kilos) para realizar las pruebas metalúrgicas programadas, evaluando diferentes condiciones operativas de molienda y flotación. Cada ensayo experimental constituyo una unidad de análisis, permitiendo determinar la influencia de las variables de operación sobre la recuperación de los minerales valiosos contenidos en el mineral polimetálico. Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. (2014).

## 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Sampieri et al. (2014), la técnica de recolección de datos es "la manera específica de obtener la información", mientras que el instrumento es "el recurso material que se emplea para recogerla". En investigaciones cuantitativas experimentales, la precisión de los instrumentos es clave para la validez de los resultados. Se utilizan técnicas e instrumentos específicos para obtener datos cuantitativos y confiables**.**

Técnicas de recolección de datos:

1. **Observación directa y sistemática:**

   Para registrar el comportamiento del mineral en cada etapa del proceso (liberación, formación de espuma, selectividad, etc.).

2. **Medición físico-química y metalúrgica:**

   Mediante análisis de laboratorio, se obtienen datos sobre leyes, recuperaciones, distribución de tamaño, pH, entre otros.

3. **Registro técnico-experimental:**

   Se emplean hojas de registro o software de adquisición de datos para documentar condiciones operativas y resultados de cada prueba.

**Instrumentos de recolección de datos:**

1. **Balanza digital:** Para pesar muestras y concentrados con precisión.
2. **Molino de bolas:** Para realizar la molienda controlada de las muestras.
3. **Celda de flotación Denver:** Para ejecutar pruebas de flotación.
4. **Tamices y agitadores granulométricos:** Para determinar la distribución de tamaños de partícula.
5. **pH-metro:** Para controlar y registrar el pH de la pulpa durante la flotación.
6. **Dosificadores de reactivos:** Para agregar colectores, espumantes y modificadores en dosis controladas.
7. **Filtro de vacío:** Para el secado de concentrados y relaves.

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

Según el reglamento de grados y títulos lo manifiesta que es opcional ya que la investigación realizada no requiere de validación y confiabilidad de expertos.

## 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Según Sampieri et al. (2014), "el análisis de los datos cuantitativos implica convertir los datos en números y luego aplicar procedimientos estadísticos para analizarlos, con el fin de responder a las preguntas de investigación y probar hipótesis" (p. 422).

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se manifiestan así:

1. **Cálculos metalúrgicos básicos**
    - Cálculo d**e** recuperación metalúrgica**,** leyes de concentrado y relave**,** distribución de masa y metal**.**
    - Aplicación de balances de masa y metal para verificar la consistencia de los resultados.
2. **Análisis estadístico descriptivo**

- Permite identificar tendencias y variabilidad en los datos de recuperación y leyes.

3. **Análisis comparativo de resultados**
   - Comparación de resultados entre diferentes condiciones operativas o formulaciones de reactivos.
   - Análisis gráfico mediante curvas de distribución.

## 3.9. Tratamiento estadístico

Según Sampieri et al. (2014), "el tratamiento estadístico es un conjunto de procedimientos numéricos que se aplican a los datos recopilados, con el objetivo de organizar, resumir, analizar e interpretar los resultados obtenidos en una investigación cuantitativa" (p. 422). El tratamiento estadístico permite "establecer relaciones, probar hipótesis y tomar decisiones informadas con base en evidencia" (p. 425).

## 3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica

Según Bunge (2000), "toda investigación científica debe regirse por principios éticos, entre ellos la veracidad, la responsabilidad social, el respeto a los derechos de otros, y el uso racional y consciente de los recursos" (p. 74). El compromiso ético incluye "no falsear datos, respetar la propiedad intelectual y actuar con responsabilidad ante el medio ambiente" (p. 76).

Principios éticos aplicables:

1. **Veracidad y transparencia**

   Reportar datos de manera honesta, sin manipulación ni omisión de resultados desfavorables.

2. **Confidencialidad**
   - Proteger la información técnica o sensible de la empresa minera Huaron, respetando los convenios o acuerdos de confidencialidad.

3. **Responsabilidad ambiental y operativa**
    - Evitar el uso excesivo o innecesario de reactivos químicos.
    - Manejo adecuado de residuos generados en los ensayos de flotación.
4. **Respeto a la propiedad intelectual y autoría**
    - Reconocer adecuadamente las fuentes bibliográficas, procedimientos técnicos y aportes de los autores o colaboradores.
5. **Uso ético de los recursos humanos y materiales**
    - Asegurar que los ensayos no perjudiquen la operación industrial normal ni expongan al personal a riesgos innecesarios.

# CAPÍTULO IV

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Descripción del trabajo de campo

El estudio de investigación llevada a cabo se inicia con la recepción de muestras de mineral polimetálico en el laboratorio químico metalúrgico, de la planta concentradora de la compañía mineral Huaron. Dando a conocer el tratamiento de la siguiente manera:

- La muestra fue entregada por el área de geología.
- Se procede con el secado y chancado de muestra a 100% malla -6 ASTM.
- A continuación, se realiza el homogenizado y cuarteo de la muestra para realizar los ensayes químicos el cual representará como ley de cabeza (Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Mn, Bi, PbOx y ZnOx).
- Validación de las leyes de cabeza, de acuerdo con las leyes promedio característico de la especie mineralógica, para proseguir con la evaluación geometalúrgica.
- Determinación del Work Index comparativo, tiempo cero y tiempo diez minutos tanto al Mineral como al Quarzo.

- Determinación del tiempo de molienda para alcanzar 55% malla -200 ASTM para el circuito bulk y rougher Zn I, se determina con cuatro tiempos de molienda, tiempo cero, 10, 15 y 20 min; se realiza una remolienda al relave rougher Zn I para alcanzar 60% malla -200 ASTM con bolas de acero 1.5".
- Determinación del 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 prepara los reactivos a diferentes concentraciones manteniendo el estándar de planta concentradora.
- Etapa de cinética de flotación, se trabaja con un kilo de muestra, se trabaja en celda de 2 litros con un kilo de muestra para determinar 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 ensayes químicos a laboratorio químico y preparar el balance de cinética de flotación.
- Del relave de la prueba de cinética de flotación se realiza el análisis de malla para determinar asociaciones mineralógicas y determinar la recuperación por mallas en el relave.
- Se realiza 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 hace una o dos limpiezas, se prepara las briquetas para determinar por microscopia óptica presencia de minerales mixtos, inclusiones, asociaciones y libres.

- A continuación, se procede a realizar la prueba de flotación Batch se trabaja en 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 ensayes a laboratorio químico. Con los resultados de los ensayes químicos se elabora el balance metalúrgico batch proyectado. En el trabajo de investigación se ha realizado estudios de microscopia óptica, cuyo resultado damos a conocer de la siguiente manera:

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 1.** *Símbolo mineralógico de los minerales*

| Minerales | Fórmula | Abreviatura |
|---|---|---|
| **Esfalerita** | ZnS | **ef** |
| **Galena** | PbS | **gn** |
| **Calcopirita** | $CuFeS_2$ | **cp** |
| **Cerusita** | PbCO | **crs** |
| **Pirita** | $FeS_2$ | **py** |
| **Arsenopirita** | FeAsS | **apy** |
| **Marcasita** | $FeS_2$ | **mc** |
| **Magnetita** | $Fe_3O_4$ | **mt** |
| **Hematita** | $Fe_2O_3$ | **hm** |
| **Goethita** | FeO.OH | **gt** |
| **Gangas** | | **GGs** |

Nota: Elaborado por los tesistas

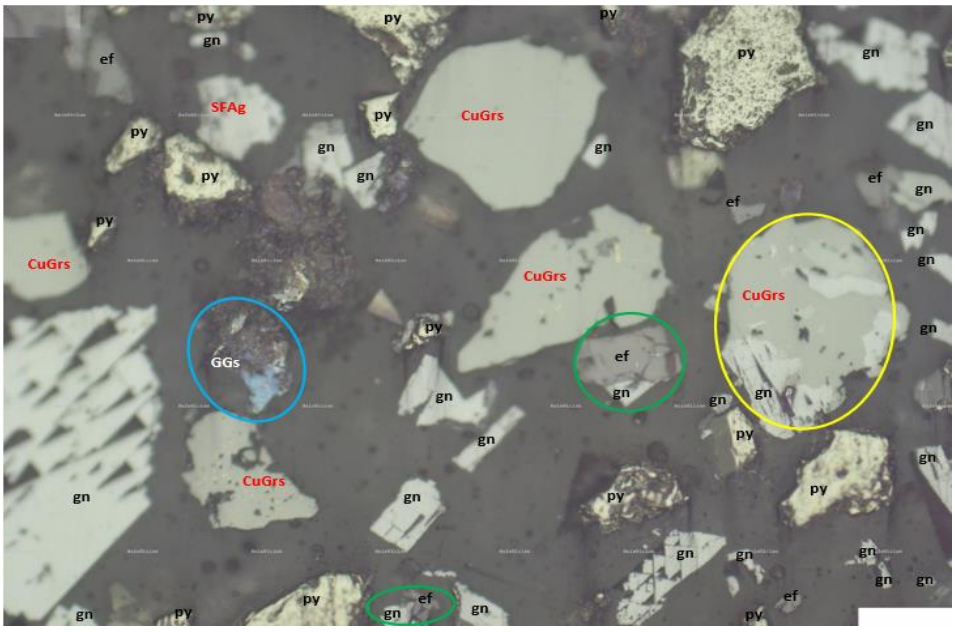
**Tabla 2**. *Tipo de clasificación de los minerales*

| Tipo de Clasificación | Nombre de Mineral | Fórmula |
|---|---|---|
| **Minerales de Mena** | Esfalerita | ZnS |
| | Hematita | $Fe_2O_3$ |
| | Galena | PbS |
| | Galena argentífera | PbAgS |
| | Tetraedrita | $(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$ |
| | Calcopirita | $CuFeS_2$ |
| | Bornita | $Cu_5FeS_4$ |
| | Covelita | CuS |
| | Electrum | Au |
| | Calcosina | $Cu_2S$ |
| **Minerales de Ganga** | Arsenopirita | FeAsS |
| | Pirita | $FeS_2$ |
| | Cuarzo | $SiO_2$ |
| | Rodonita | $MnSiO_3$ |

Nota: Elaborado por los tesistas

De los estudios de microscopia óptica se obtuvieron las siguientes figuras:

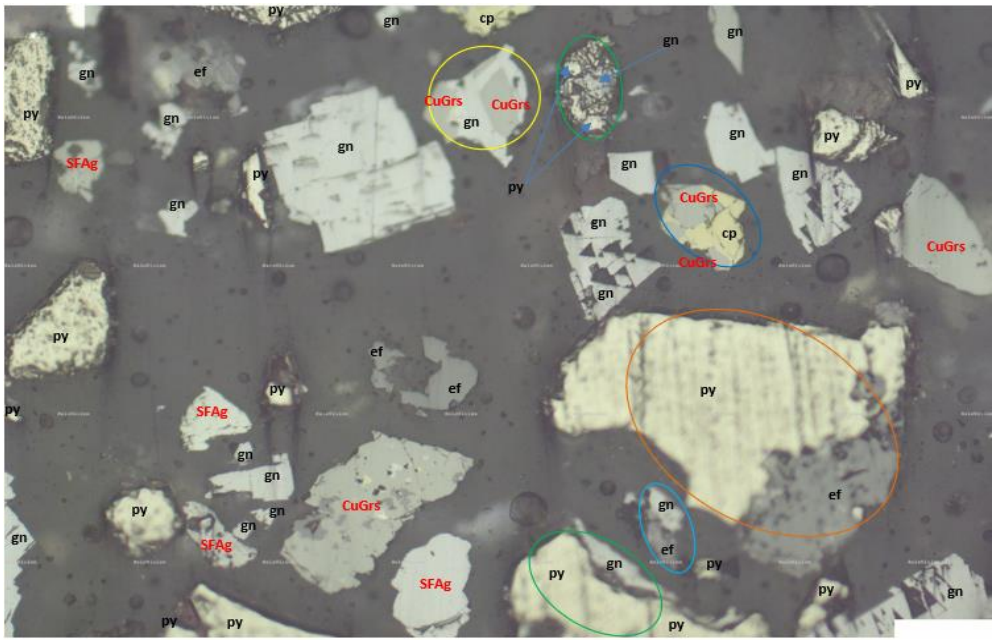
**Figura 1.** *Concentrado de Bulk malla +400*




Nota: Elaborado por los tesistas

En la imagen se observa dentro del área celeste presencia de partícula de covelita juntamente con pirita y ganga (**cv**), dentro de las áreas verdes se observa partículas mixtas de galena – esfalerita (**gn/ef**) y dentro del área amarillo una partícula mixta de galena – cobre gris (**gn/CuGrs**). Completando la vista se observa partículas libres esfalerita (**ef**), sulfosal de plata (**SFAg**), cobre gris (**CuGrs**), galena (**gn**) y pirita (**py**).

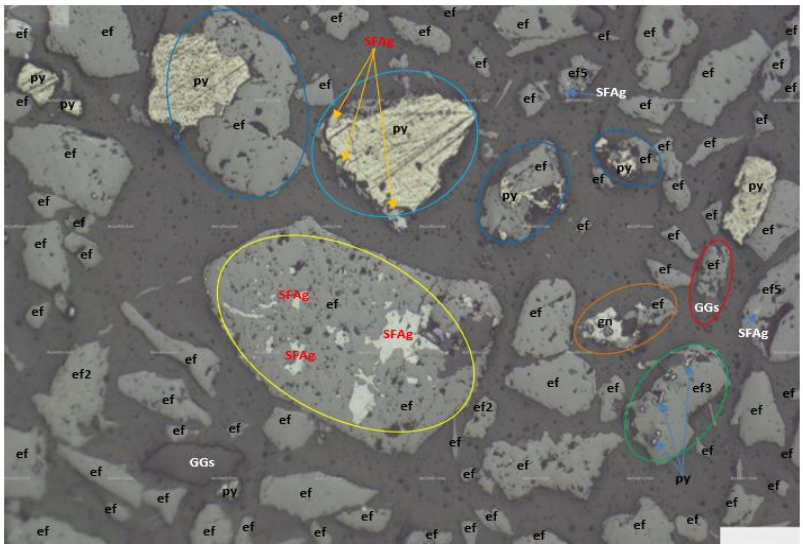
**Figura 2.** *Concentrado de Bulk malla +400*




Fuente: Elaborado por los tesistas

En la imagen se observa dentro del área anaranjada una partícula mixta de esfalerita – pirita (**ef/py**), dentro del área celeste una partícula mixta de esfalerita – galena (**ef/gn**), dentro del área azul mixto de calcopirita – cobre gris (**cp/CuGrs**), dentro de las áreas verdes partículas mixtas de galena – pirita (**gn/py**) y dentro del área amarillo partícula mixta de cobre gis – galena (**CuGrs/gn**). Completando la vista se observa partículas libres de sulfosales de plata (**SFAg**), cobre gris (**CuGrs**), calcopirita (**cp**), esfalerita (**ef**), galena (**gn**) y pirita (**py**).

**Figura 3.** *Concentrado Zn malla +400*

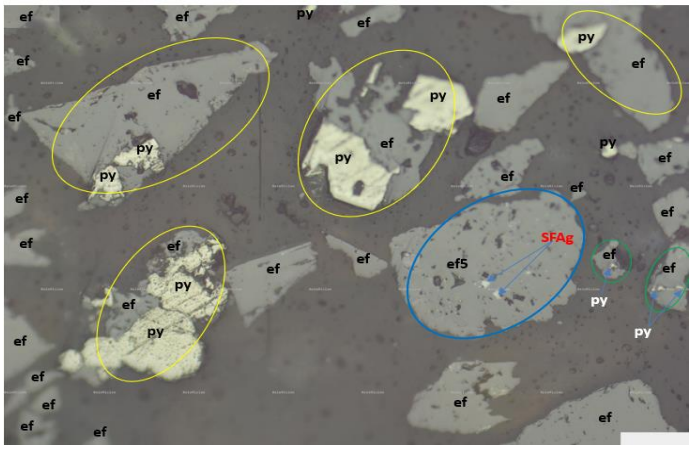



Nota: Elaborado por los tesistas

En la imagen se observa dentro de las áreas azules partículas mixtas de esfalerita – pirita (**ef/py**), dentro del área amarilla una partícula de esfalerita con ocluidas de sulfosales de plata (**SFAg…ef**), dentro del área anaranjada partícula mixta de galena – esfalerita (**gn/ef**), dentro del área rojo mixto de esfalerita – ganga (**ef/GGs**), dentro del área celeste partícula de pirita con inclusiones de sulfosal de plata (**SFAg…py**) y dentro del área verde esfalerita tipo3 (**ef3**: inclusiones de pirita en esfalerita).

Completando la vista se observa partículas libres esfalerita (**ef**), ganga (**GGs**) y pirita (**py**).

**Figura 4.** *Concentrado Zinc malla +400*

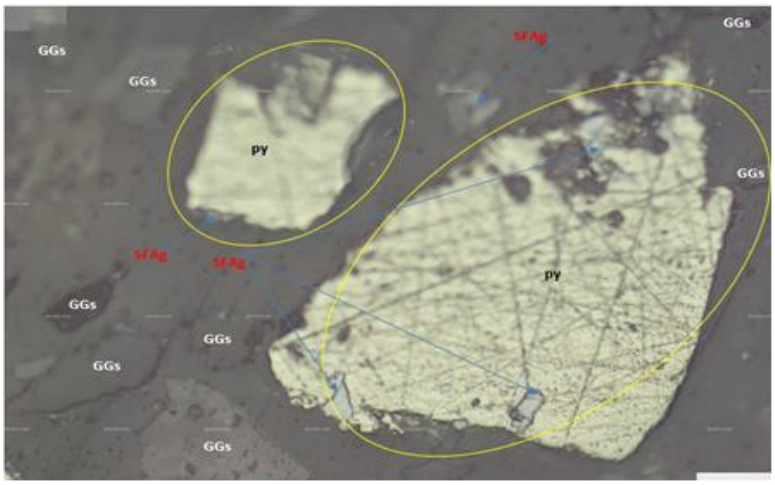



Nota: elaborado por los tesistas

En la imagen se observa dentro de las áreas amarillas partículas mixtas de esfalerita – pirita (**ef/py**), dentro de las áreas verdes partícula de esfalerita tipo3 (**ef3**: inclusiones de pirita en esfalerita) y dentro del azul una partícula de esfalerita tipo5 (**ef5**: inclusiones de sulfosal de plata en esfalerita).

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

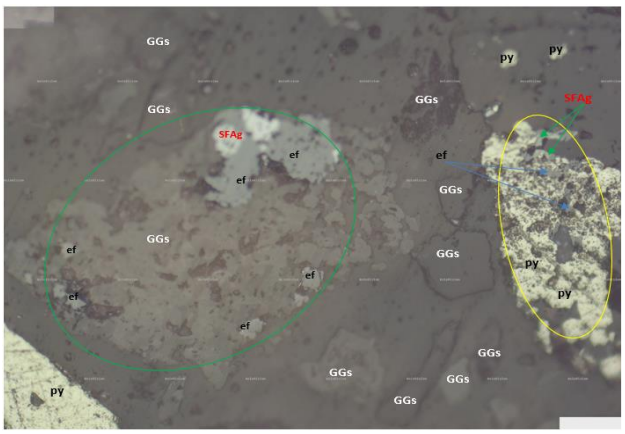
**Figura 5.** *Relave Final malla +400*




**Nota:** Elaborado por los tesistas

En la imagen se observa dentro de las áreas amarillas partículas de pirita con inclusiones de sulfosal de plata (**SFAg…py**) y también se observa partícula libre de sulfosal de plata (**SFAg**). Completando la vista se observa partículas libres de gangas (**GGs**).

**Figura 6.** *Relave Final malla +400*




Fuente: Elaborado por los tesistas

En la imagen se observa dentro del área amarilla partícula de pirita con inclusiones de esfalerita y sulfosal de plata (**ef-SFAg…py**) y dentro del área verde se observa partícula mixta de esfalerita – sulfosal de plata – ganga (**SFAg/ef/GGs**). Completando la vista se observa partículas libres de gangas (**GGs**) y pirita (**py**).

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Identificación del mineral

***Ensayos químicos de la muestra***

**Tabla 3.** *Ensayos Químicos*

| **Ag (g/t)** | **%Cu** | **%Pb** | **%Zn** | **%Fe** | **%As** | **%Sb** | **%Mn** | **%Bi** | **%PbO** | **%ZnO** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **140,85** | 0,11 | 1,25 | 6,52 | 14,82 | 0,17 | 0,06 | 6,97 | 0,02 | 0,18 | 0,36 |
| **%Ox Pb** | 14,20 | Wi | 12,48 kw-h/TM | | | | | | | |
| **% Ox Zn** | 5,47 | | | | | | | | | |

Nota: Elaborado por los tesistas

De la tabla anterior se describe los siguientes comentarios con respecto a la ley de cabeza:

- El contenido de los valores de plata es 140,85 g/t, valor por debajo del rango habitual con respecto al budget anual de 144,78 g/t, se puede considerar baja ley de cabeza con respecto a nuestro proceso.
- El contenido de los valores de cobre es 0,11 %, valor por debajo del rango habitual con respecto al budget de 0,49 %.
- El contenido de los valores de plomo es 1,25 %, valor por debajo del rango habitual con respecto al Budget anual de 1,57 %.
- El 14,20 % del plomo ensayado se presenta en forma de óxidos valor considerable alto para la ley de cabeza que presenta.

- El contenido de los valores de zinc es 6,52 %, valor por encima del rango habitual con respecto al Budget anual de 2,44 %.
- El 5,47 % del zinc ensayado se presenta en forma de óxidos valor considerable bajo con respecto a la ley de cabeza y considerable con respecto a nuestro proceso.
- El contenido de hierro es 14,82 % valor considerable alto con respecto a nuestro proceso lo cual podría afectar la calidad de los concentrados.
- El contenido de los valores de contaminantes arsénico (0,17 %) y manganeso (6,97 %) este valor se encuentra alto de los rangos habituales, lo cual podría perjudicar el performance metalúrgico.

### 4.2.2. Pruebas de Moliendabilidad

Las pruebas de molienda se realizaron con 1000 gramos de mineral y 500 centímetros cúbicos de agua con lo cual se obtiene una pulpa en molienda con 67 % de sólidos y posteriormente se realiza el análisis granulométrico correspondiente; para determinar el grado de molienda a 55 % de malla -200 se realizan 4 pruebas a diferentes tiempos de molienda (0, 10,15 y 20 minutos) para el circuito bulk y rougher Zn I; se realiza una remolienda al relave rougher Zn I para alcanzar 60 % malla -200 ASTM con bolas de acero 1,5” pruebas batch y en cuanto para la cinética el corte de malla -200 es de 55 %.

La muestra se trabajó en un molino de 8,58” x 11,22” con una carga de bolas de acero es de 20,000.00 gramos.

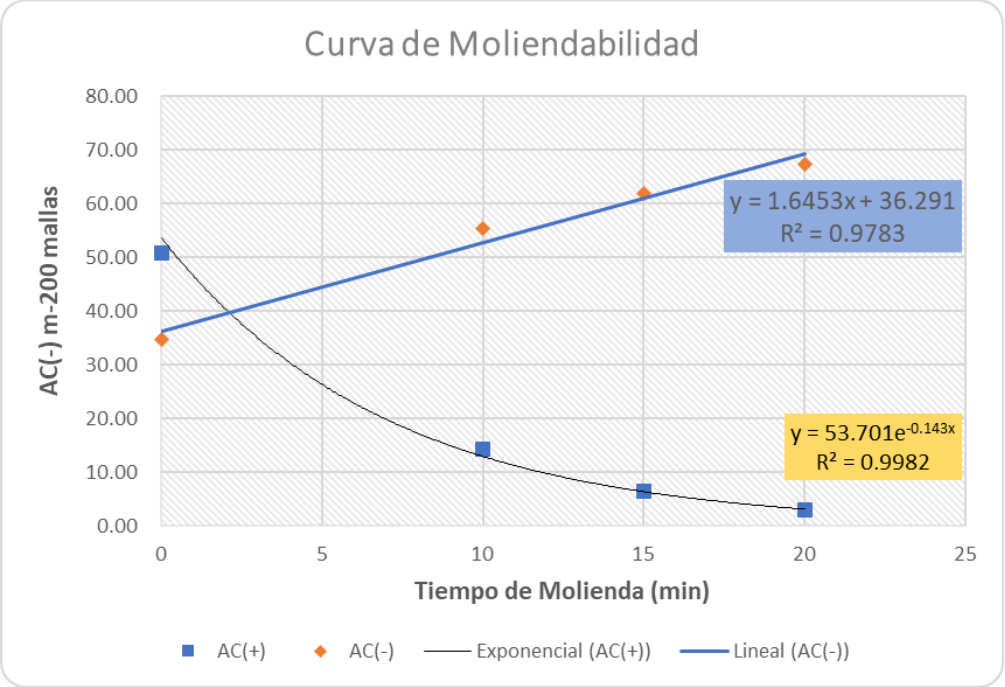
Los resultados de los cuatro tiempos para estimar el tiempo de molienda óptimo se presentan en el Tabla 4.

**Tabla 4.** *Tiempo de Molienda malla -200 55%*

| Tiempo de molienda | m - 200 | m+65 |
|---|---|---|
| | Ac (-) | Ac (+) |
| **0** | 34,80 | 50,88 |
| **10** | 55,30 | 14,28 |
| **15** | 61,82 | 6,42 |
| **20** | 67,28 | 2,92 |
| **11,37** | 55 | 10,81 |
| **Tiempo de Molienda -200 al 55 % = 11,37 minutos** | | |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

**Figura 7.** *Curva de Moliendabilidad*




Nota: Elaborado por los tesistas

Obtenido 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:

$$Y = 1.6453x + 36.291$$

Se obtiene que el tiempo de molienda óptimo es de **11.37 min** para alcanzar una malla de corte de 55% -m200, lo cual representa el tiempo para iniciar el proceso de flotación bulk y rougher Zn I; incrementando 10 min aprox. de remolienda al relave de Rougher Zn I se llega a una malla de corte 60% en pruebas batch.

### 4.2.3. Determinación del work índex comparativo.

Para caracterizar la dureza del mineral o Índice de Trabajo se usó el método comparativo con cuarzo que tiene un Índice de Trabajo de 13,6 kwh-h/TC. Para este mineral se determinó el tamaño de alimentación promedio $F_{80}$ (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto $P_{80}$ luego de la molienda, para ambas muestras (Cuarzo y Mineral Polimetálico) el tiempo de molienda fue de 10 minutos, los siguientes datos son resultados del análisis granulométrico:

$F_{80}$ cuarzo = 1 453 micrones (100% malla -6)

$P_{80}$ cuarzo = 262 micrones

$F_{80}$ mineral = 1 036 micrones (100% malla -6)

$P_{80}$ mineral = 178 micrones

La ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente:

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

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 = 11,32 Kw-h/TC o 14,55 KW-h/TM**, el cual será el indicador del índice de dureza del mineral, cuyo valor lo clasifica como mineral de dureza duro.

**Tabla 5.** *Determinación de Work Index -200 55%*

| Descripción | Límite 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 |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

### 4.2.4. Flotación de sulfuros

El procedimiento de flotación batch selectiva permite la obtención de los concentrados de los valores contenidos en el mineral que para este caso permitió la obtención de los concentrados de cobre, plomo y zinc, para el balance metalúrgico se considera la recuperación total a la sumatoria de recuperaciones de plata en los concentrados obtenidos en periodo de tiempos de flotación estándares.

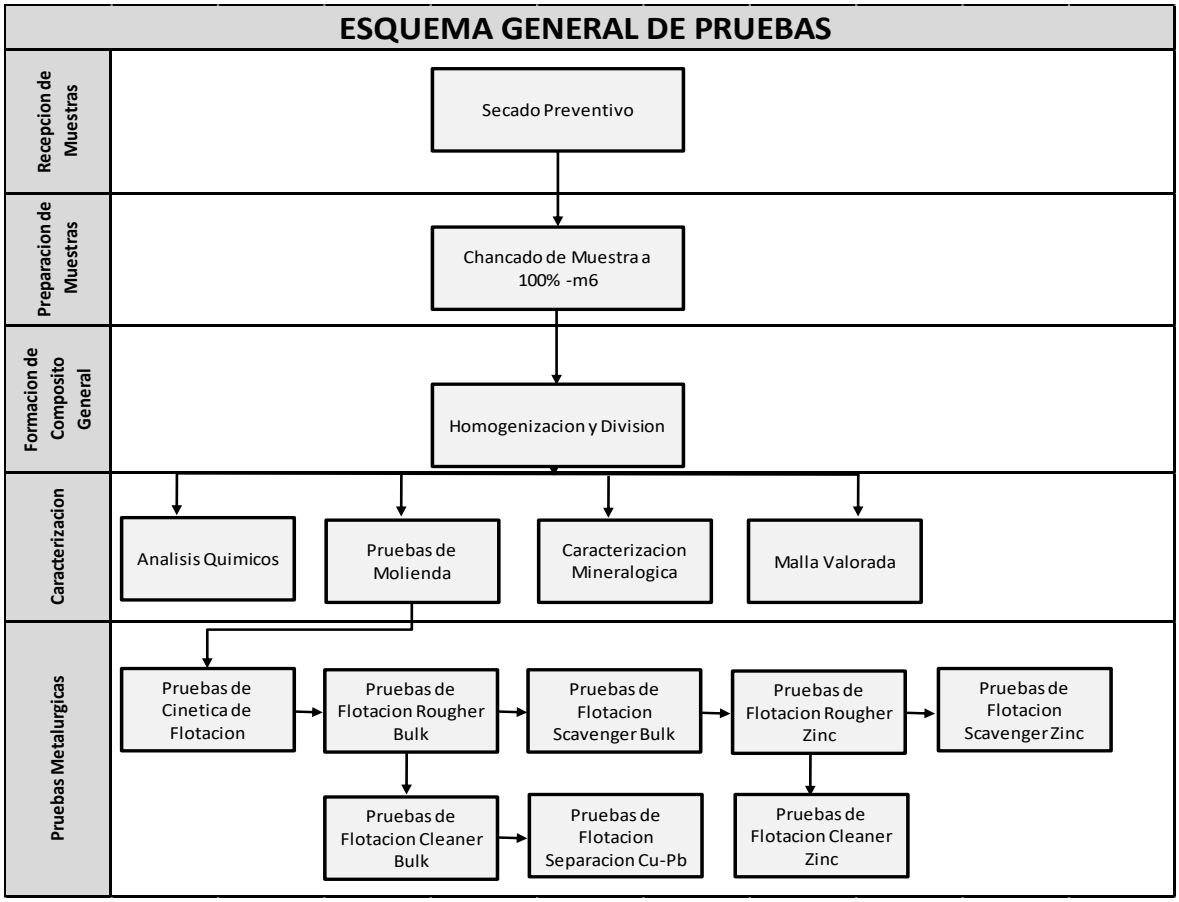
**Tabla 6.** *Balance metalúrgico antes de iniciar las pruebas*

| Balance Metalúrgico <.D | % Peso | Ensayes | | | | | | | | | % Recuperación | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ag (g/t) | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% |
| **Conc Cu** | 0,32 | 8 516 | 17,59 | 15,18 | 4,21 | 7,39 | 0,28 | 1,79 | 7,20 | 0,90 | 20,00 | 64,46 | 6,06 | 0,36 | 0,25 | 0,04 | 3,12 | 13,54 | 40,35 |
| **Conc Pb** | 1,81 | 2 981,52 | 2,74 | 59,46 | 7,29 | 15,12 | 0,21 | 0,46 | 0,49 | 0,55 | 39,58 | 12,48 | 80,09 | 1,78 | 1,64 | 0,04 | 4,26 | 39,40 | 18,13 |
| **Conc Zn** | 9,19 | 370,00 | 0,06 | 0,59 | 53,42 | 3,40 | 0,60 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 23,19 | 3,05 | 4,00 | 72,30 | 1,85 | 0,71 | 3,80 | 15,80 | 5,69 |
| **Relave final** | 88,68 | 2496 | 0,04 | 0,15 | 1,82 | 15,76 | 7,80 | 0,18 | 0,04 | 0,02 | 17,23 | 20,01 | 9,85 | 25,56 | 96,26 | 99,21 | 88,82 | 31,26 | 35,83 |
| **Cabeza Calculada** | 100,00 | 52,18 | 0,11 | 1,30 | 7,82 | 15,62 | 6,99 | 0,18 | 0,05 | 0,02 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

Comentario de la tabla anterior: Se hizo un balance metalúrgico de los resultados de la prueba de flotación de los minerales polimetálicos para conocer la ley y recuperación tomando en cuenta el tamaño de partícula dosificación de reactivos cuyos resultados nos arroja que la ley de cobre está en 17,59 % con una recuperación del 64,46 %, la ley de plomo 59,46 % cuya recuperación borde el 80,09 %, la ley de zinc está en 53,42 % y su recuperación de 72,30 %. Referente a los minerales que contiene hierro es está en 96,26 %, manganeso está en 99,21 % y arsénico en 88,82 % en relave lo que significa que no va causar penalidad en su comercialización.

**Figura 8.** *Esquema general de pruebas*




Nota: Elaborado por los tesistas

## a. Dosificación de reactivos

**Tabla 7.** *Condiciones para la Prueba de Flotación Batch*

| | | | Reactivos (g/t) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nombre** | Tiempo (min) | pH | NaCN | Z11/Z6 | Cal | $CuSO_4$ | H-150 | Carbón | RCS | $ZnSO_4$ |
| **Molienda** | 11,37 | 9,50 | 30,00 | | | | | | | |
| **Ro-Bk** | 3,00 | | | 12,50 | | | | | | 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 | 10,80 | | | 750 | | | | | |
| **Ac Zn 2°** | 2,00 | | | | 150 | 175,00 | | | | |
| **Ro Zn** | 3,00 | | | 17,50 | | | 12,50 | | | |
| **Scv Zn** | 2,00 | | | 2,50 | | 25,00 | | | | |
| **1° Cl Zn** | 2,00 | 11,60 | | | 400 | | | | | |
| **2° Cl Zn** | 2,00 | 11,60 | | | 350 | | | | | |
| **3° Cl Zn** | 2,00 | 11,60 | | | 250 | | | | | |
| **1 Ac Sep Cu/Pb** | 5,00 | | | | | | | 1,00 | 60,00 | |
| **Ro Sep Pb/Cu** | 3,00 | | | | | | | | | |
| **Scv Sep Pb/Cu** | 2,00 | | | | | | 1,60 | | 10,00 | |
| **1 Cl sep** | 2,00 | | | | | | 1,60 | | 10,00 | |
| **Total, de reactivos en g/t** | | | **35,00** | **35,00** | **1 900** | **200** | **40,58** | **1,00** | **80,00** | **200,0** |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

- Condiciones básicas de flotación

**Molienda:**

- ✓ Peso de mineral : 1 Kg
- ✓ Agua : 500 CC
- ✓ Tiempo de molienda : 11,37 minutos
- ✓ Cianuro de sodio : 30 g/t
- ✓ Granulometría : 55 % -200 mallas
- ✓ pH : 9,50

**Flotación Rougher Bulk:**

- ✓ pH de flotación : 10,10
- ✓ sulfato de zinc : 200 g/t
- ✓ Z-11/Z-6 : 12,5 g/t
- ✓ Espumante H-150 : 25 g/t
- ✓ Tiempo Acond : 2 minutos
- ✓ Flotación : 3 minutos

**Flotación scavenger bulk:**

- ✓ Z-11/Z-6 : 2,5 g/t
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

**Flotación Cleaner bulk I:**

- ✓ Cianuro de sodio : 5 g/t
- ✓ 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 g/t
- ✓ pH de flotación : 11,0
- ✓ Sulfato de Cobre : 175 g/t
- ✓ Z-11/Z-6 : 17,5 g/t
- ✓ Espumante H-150 : 12,5 g/t
- ✓ Tiempo Acond : 5 minutos
- ✓ Flotación : 3 minutos

**Flotación scavenger zinc:**

- ✓ Sulfato de Cobre : 0,5 g/t
- ✓ Z-11/Z-6 : 2,5 g/t
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

**Flotación Cleaner zinc I:**

- ✓ Cal : 400 g/t
- ✓ pH : 11,60
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos

**Flotación Cleaner zinc II:**

- ✓ Cal : 350 g/t
- ✓ pH : 11,60
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos

**Flotación Cleaner zinc III:**

- ✓ Cal : 250 g/t
- ✓ pH : 11,60
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

**Flotación Rougher Separación:**

- ✓ RCS : 60 g/t
- ✓ Carbón : 1 g/t
- ✓ H-150 : 1,6 g/t
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos

**Flotación scavenger Separación:**

- ✓ RCS : 10 g/t
- ✓ carbón : 0 g/t
- ✓ H-150 : 0 g/t

- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

**Flotación Cleaner Separación:**

- ✓ RCS : 10 g/t
- ✓ carbón : 0 g/t
- ✓ H-150 : 0 g/t
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

De las condiciones básicas de flotación se comenta lo siguiente con respecto al consumo de reactivos:

- Los tiempos de molienda establecidos para alcanzar los porcentajes de 55 % de malla -200 es de 11,37 minutos valor se podría considerar de dureza media en el desarrollo de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.
- Los reactivos CNNa y mezcla de xantatos fueron preparados al 1 %. La cal, el sulfato de cobre y el sulfato de zinc al 10 %. El espumante H-150 al 100 %.
- El consumo de cianuro de sodio es de 35 g/t, para controlar la activación de zinc y hierro en el proceso de flotación.
- El consumo de cal 2000 g/t, este valor se encuentra por debajo de los rangos habituales de 2,500 g/t, debido al pH que presenta a 9,50.
- El consumo de sulfato de cobre 200 g/t, este valor se encuentra dentro de los rangos habituales de 194 g/t.
- El consumo de reactivos se mantiene el estándar.

**b. Cinética de flotación Bulk/Zinc.**

En las siguientes tablas se muestran las cinéticas de flotación de los valores de interés del Mineral Veta Pozo D en las etapas de flotación bulk y zinc con corte de malla -200 mallas 55 %:

**Tabla 8**. *Cinéticas de Flotación Bulk*

| Time | Producto | % Peso | Ensayes | | | | | | | | % Recuperación | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ag (g/t) | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% |
| **0,25** | Espuma 1 Bk | 0,98 | 22831,62 | 2,30 | 32,77 | 6,81 | 16,49 | 1,30 | 0,61 | 1,47 | 0,53 | 19,70 | 20,86 | 28,02 | 1,03 | 1,05 | 0,18 | 3,26 | 22,74 | 33,39 |
| **0,5** | Espuma 2 Bk | 1,36 | 1700,00 | 1,30 | 18,92 | 7,97 | 22,33 | 1,75 | 0,66 | 0,80 | 0,28 | 16,42 | 16,30 | 22,45 | 1,67 | 1,98 | 0,34 | 4,87 | 17,10 | 24,79 |
| **1** | Espuma 3 Bk | 0,92 | 1105,28 | 0,76 | 12,03 | 8,91 | 24,85 | 2,06 | 0,66 | 0,45 | 0,14 | 7,22 | 6,45 | 9,66 | 1,27 | 1,49 | 0,27 | 3,32 | 6,57 | 8,10 |
| **2** | Espuma 4 Bk | 2,98 | 553,15 | 0,35 | 5,70 | 8,52 | 28,96 | 2,02 | 0,70 | 0,14 | 0,06 | 11,70 | 9,67 | 14,82 | 3,92 | 5,63 | 0,86 | 11,34 | 6,81 | 11,49 |
| **3** | Espuma 5 Bk | 3,70 | 319,82 | 0,23 | 2,73 | 9,24 | 27,87 | 2,66 | 0,64 | 0,10 | 0,03 | 8,40 | 7,73 | 8,82 | 5,28 | 6,73 | 1,41 | 12,99 | 5,69 | 7,95 |
| **4** | Espuma 6 Bk | 4,02 | 189,59 | 0,13 | 1,33 | 9,18 | 24,59 | 3,92 | 0,49 | 0,05 | 0,01 | 5,41 | 4,99 | 4,66 | 5,70 | 6,45 | 2,25 | 10,72 | 3,27 | 1,67 |
| **5** | Relave Bk | 86,04 | 50,98 | 0,04 | 0,15 | 6,11 | 13,66 | 7,70 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | 31,14 | 34,00 | 11,58 | 81,13 | 76,7 | 94,68 | 53,52 | 37,83 | 12,62 |
| | Cabeza Calculada | 100,00 | 140,85 | 0,11 | 1,15 | 6,48 | 15,32 | 6,99 | 0,18 | 0,06 | 0,02 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

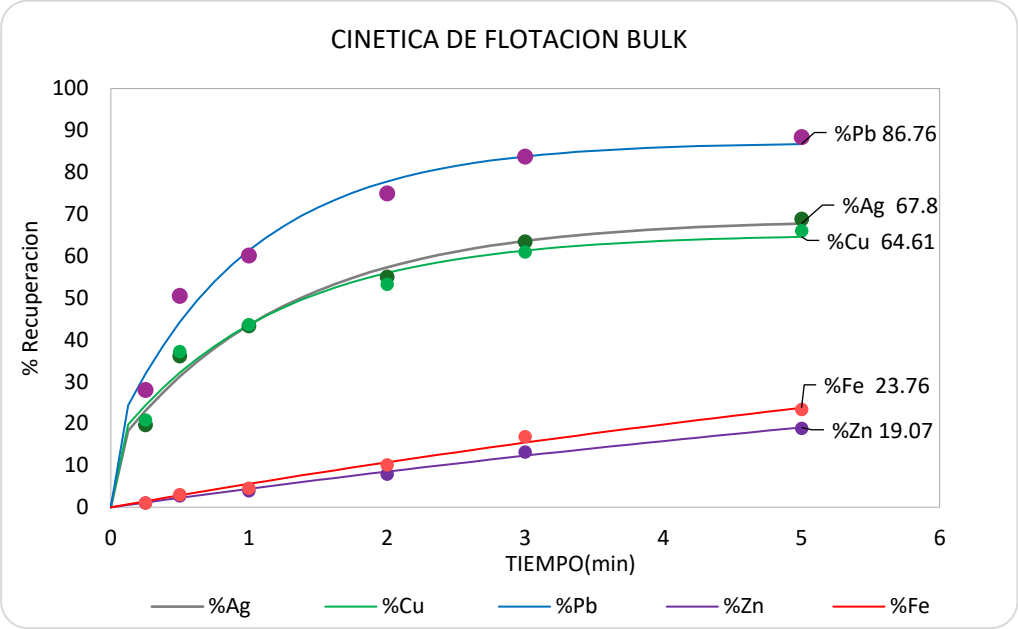
Nota: Elaborado por los tesistas

**Tabla 9.** *Porcentaje de distribución acumulada calculada*

| % Distribución Acumulada (Calculada) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **% Ag** | **% Cu** | **% Pb** | **% Zn** | **% Fe** | **% Mn** | **% As** | **% Sb** | **% Bi** |
| **23,05** | 24,34 | 31,83 | 1,14 | 1,45 | 0,00 | 0,00 | 25,27 | 36,76 |
| **31,20** | 32,14 | 44,23 | 2,26 | 2,90 | 0,00 | 0,00 | 35,31 | 51,60 |
| **43,50** | 43,56 | 61,32 | 4,43 | 5,60 | 0,00 | 0,00 | 47,46 | 69,07 |
| **57,30** | 55,98 | 77,81 | 8,53 | 10,70 | 0,00 | 0,00 | 56,63 | 81,55 |
| **63,60** | 61,32 | 83,80 | 12,32 | 15,50 | 0,00 | 0,00 | 58,94 | 84,46 |
| **67,80** | 64,61 | 86,76 | 19,07 | 23,80 | 0,00 | 0,00 | 59,67 | 85,29 |

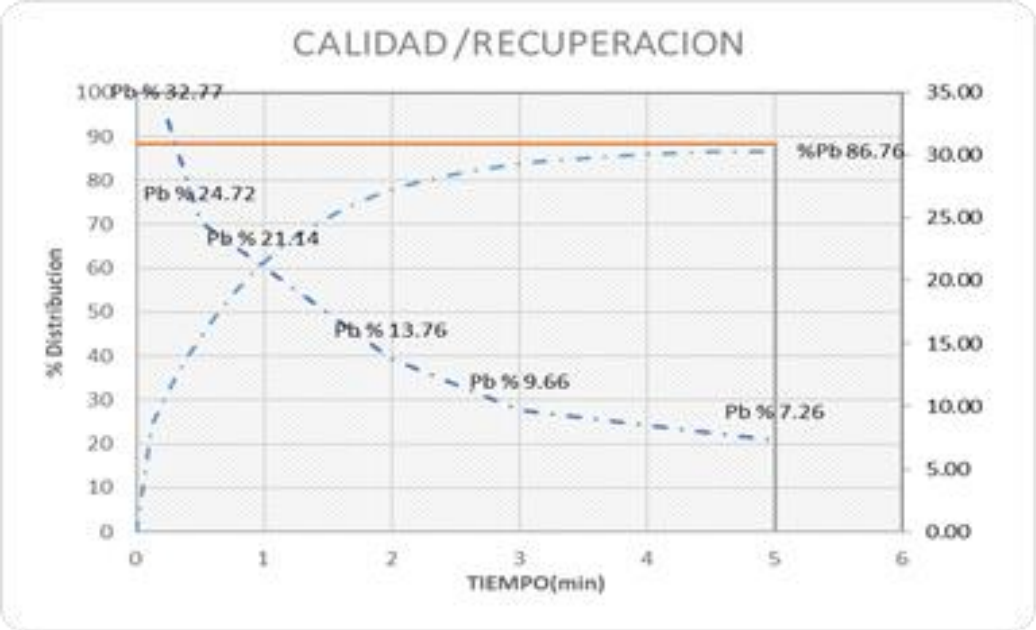
Nota: Elaborado por los tesistas

**Figura 9.** *Curva de Cinética Bulk*




Nota: Elaborado por los tesistas

**Figura 10.** *Calidad – recuperación Bulk*




Nota: Elaborado por los tesistas

De los gráficos anteriores muestran los siguientes comentarios:

- La cinética de flotación de los valores de plomo muestra una mayor velocidad de flotación y se observa que el cobre y la plata son los que muestran una menor velocidad de flotación, estando esta influenciada por la asociación mineralógica que tienen estos valores, se estima una distribución de 86,76 % de plomo, 67,8 % de plata y 64,61 % de cobre, para un periodo de flotación acumulado de 5 minutos.
- Las velocidades de flotación de los valores de hierro muestran una velocidad acelerada con respecto a los valores de interés, se estima una activación como distribución de 23,76 % para un periodo acumulado de flotación de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de zinc se muestra cinética de flotación controlada con activación de 19,07 % como distribución, el cual podría no perjudica al concentrado bulk.
- La concentración de valores de plomo muestra un índice de enriquecimiento acelerado, el cual se mostrará una recuperación considerable para el proceso con respecto a la ley de cabeza.

**Tabla 10.** *Cinéticas de flotación zinc*

| Time | Producto | % Peso | Ensayos | | | | | | | | | % Recuperación | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ag (g/t) | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% |
| **0,25** | Espuma 1 Zn | 3,02 | 319,96 | 0,27 | 0,42 | 52,08 | 5,96 | 0,91 | 0,09 | 0,03 | 0,01 | 18,96 | 18,99 | 8,27 | 25,77 | 1,32 | 0.36 | 2.48 | 3,80 | 17,30 |
| **0,5** | Espuma 2 Zn | 1,95 | 307,78 | 0,25 | 0,44 | 48,16 | 7,78 | 1,39 | 0,13 | 0,05 | 0,01 | 11,79 | 11,59 | 5,53 | 15,40 | 1,11 | 0.35 | 2.15 | 3,70 | 4,93 |
| **1** | Espuma 3 Zn | 3,16 | 264,66 | 0,22 | 0,50 | 39,63 | 10,61 | 2,31 | 0,15 | 0,10 | 0,00 | 16,41 | 16,03 | 10,34 | 20,52 | 2,46 | 0.95 | 4,27 | 10,92 | 4,33 |
| **2** | Espuma 4 Zn | 3,63 | 188,22 | 0,16 | 0,45 | 23,94 | 16,52 | 3,76 | 0,25 | 0,06 | 0,01 | 13,39 | 13,76 | 10,51 | 14,21 | 4,39 | 1.77 | 7,94 | 8,07 | 8,14 |
| **3** | Espuma 5 Zn | 3,16 | 107,93 | 0,08 | 0,39 | 7,74 | 23,47 | 5,10 | 0,33 | 0,02 | 0,01 | 6,69 | 6,22 | 8,07 | 4,01 | 5,44 | 2.10 | 9,21 | 2,32 | 17,65 |
| **4** | Espuma 6 Zn | 6,44 | 87,42 | 0,06 | 0,28 | 3,61 | 22,18 | 6,21 | 0,31 | 0,03 | 0,00 | 11,04 | 8,37 | 11,69 | 3,80 | 10,46 | 5.20 | 17,75 | 7,79 | 5,54 |
| **5** | Relave final | 78,64 | 14,08 | 0,01 | 0,09 | 1,27 | 12,99 | 8,74 | 0,08 | 0,02 | 0,00 | 21,72 | 25,04 | 45,58 | 16,29 | 74,83 | 89.28 | 56,20 | 63,40 | 42,11 |
| | Cabeza Calculada | 100,00 | 50,98 | 0,04 | 0,15 | 6,11 | 13,65 | 7,70 | 0,11 | 0,03 | 0,002 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

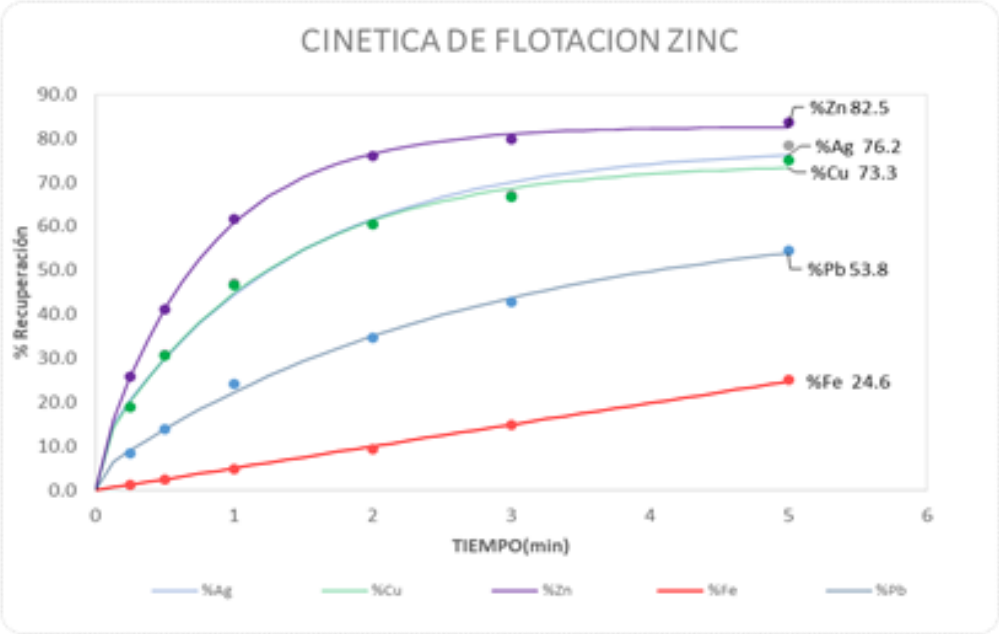
**Nota:** Elaborado por los tesistas

**Tabla 11.** *Porcentaje de distribución acumulada calculada de zinc*

| %Distribución Acumulada (CALCULADA) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **% Ag** | % Cu | % Pb | % Zn | % Fe | % Mn | % As | % Sb | % Bi |
| **20,51** | 20,00 | 9,00 | 25,80 | 1,30 | 0,50 | 2,30 | 4,90 | 17,20 |
| **30,00** | 30,00 | 13,90 | 41,40 | 2,50 | 1,00 | 4,50 | 9,20 | 20,90 |
| **44,50** | 44,90 | 22,30 | 60,90 | 5,00 | 2,10 | 8,80 | 16,20 | 27,60 |
| **61,70** | 61,30 | 35,10 | 76,60 | 10,00 | 4,10 | 17,50 | 25,60 | 38,70 |
| **70,10** | 68,60 | 43,80 | 81,00 | 14,90 | 6,10 | 26,20 | 30,90 | 47,40 |
| **76,20** | 73,30 | 53,80 | 82,50 | 24,60 | 10,00 | 43,50 | 35,80 | 59,20 |

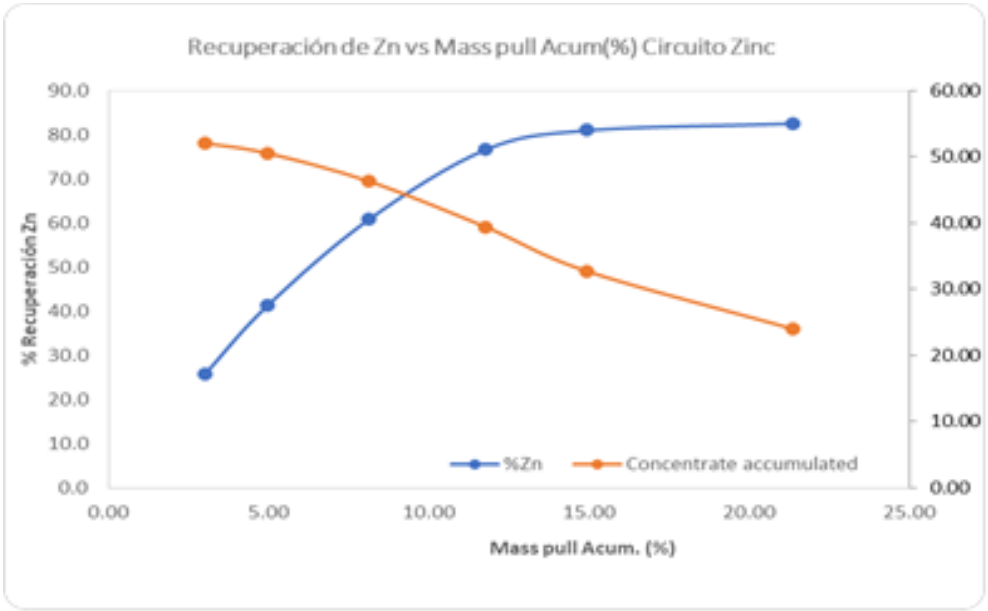
**Nota:** Elaborado por los tesistas

**Figura 11.** *Cinética de flotación zinc*




Nota: Elaborado por los tesistas

**Figura 12.** *Cinética de valores zinc*




**Nota:** Elaborado por los tesistas

De la tabla y gráficos anteriores se muestran los siguientes comentarios:

- Los valores de zinc muestran una la velocidad de flotación acelerada donde se puede mostrar una distribución máxima, se estima una recuperación de 82,5 % para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de cobre, plomo y plata son relativamente lentas se estiman distribuciones de 73,3 % de cobre, 53,8 % de plomo y 76,2 % de plata para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La cinética del hierro se ve controlado lo cual no afectara la calidad del concentrado de zinc, se estima una distribución de 24,6 %.
- Los valores de zinc muestran un índice de enriquecimiento acelerado debido a la flotabilidad baja de los elementos contaminantes, la cinética de flotación acelerada no afecta la recuperación de zinc.

## 4.3. Prueba de hipótesis

De la hipótesis general planteada si determinamos los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación entonces podemos mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron. Estos parámetros han sido determinados como tiempo de molienda a malla -200 al 55 % es igual a 11,37 minutos. En la remolienda de zinc al relave rougher Zn I para alcanzar 60 % malla -200 ASTM con bolas de acero 1,5", así mismo se ha considerado el tipo y dosificación de reactivos: NaCN 35 g/t, complejo Z11/Z6 35 g/t, cal 1900 g/t, $CuSO_4$ 200 g/t, espumante H-150 40.58 g/t, carbón 1 g/t, RCS 80 g/t y $ZnSO_4$ 200 g/t.

De la hipótesis específica 1 si determinamos el tamaño de partícula (producto de la molienda) entonces mejoramos la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre, para ello se hizo la prueba de la moliendabilidad tomando cuatro tiempos deferentes de molienda cuyo resultado fue que a la malla -200 al 55 % se

necesita moler 11,37 minutos. Cuyo índice de trabajo es 14,55 KW-h/TM, que nos referencia que es mineral duro a medio.

En la hipótesis específica 2, si determinamos el tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) entonces nos permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos.

**Tabla 12.** *Tipo y dosificación de reactivos expresados en g/t.*

| Nombre | Tiempo (min) | pH | NaCN | Z11/Z6 | Cal | $CuSO_4$ | H-150 | Carbón | RCS | $ZnSO_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Total, de reactivos en g/t** | | | **35,00** | **35,00** | **1 900** | **200** | **40,58** | **1,00** | **80,00** | **200,0** |

Nota: Elaboradora por los tesistas

En la hipótesis específica 3, si determinamos el tipo de minerales que constituye el mineral polimetálico entonces nos permite el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron. La identificación del tipo de mineral polimetálico de la empresa minera Huaron se realizó mediante la microscopía de minerales identificando a: Esfalerita, esfalerita tipo 2,3,4 y 5, Galena, Galena argentífera, Tetraedrita, Calcopirita, Bornita, Covelita, Calcosina, Arsenopirita, Pirita, Cuarzo, Rodonita, Arsénico, Antimonio.

**Resultados Metalúrgicos.**

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 se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 13.** *Prueba Batch Mineral Polimetálico*

| Balance Metalúrgico Proyectado | % Peso | Ensayos | | | | | | | | | % Recuperación | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ag (g/t) | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Mn% | As% | Sb% | Bi% |
| **Conc Cu** | 0,36 | 8 616 | 19,69 | 17,20 | 5,22 | 8,37 | 0,25 | 1,80 | 7,22 | 0,95 | 22,04 | 66,16 | 4,96 | 0,29 | 0,20 | 0,01 | 3,82 | 14,50 | **44,29** |
| **Conc Pb** | 1,77 | 2 991,72 | 0,64 | 57,42 | 6,33 | 14,14 | 0,24 | 0,45 | 0,47 | 0,51 | 37,54 | 10,58 | 81,19 | 1,72 | 1,69 | 0,06 | 4,66 | 38,44 | **14,19** |
| **Conc Zn** | 9,09 | 364,00 | 0,04 | 0,61 | 55,46 | 3,10 | 0,62 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 23,49 | 3,45 | 4,40 | 77,33 | 1,90 | 0,81 | 3,00 | 14,78 | **7,89** |
| **Relave final** | 88,78 | 2685 | 0,02 | 0,13 | 1,52 | 16,06 | 7,78 | 0,17 | 0,02 | 0,01 | 16,92 | 19,81 | 9,45 | 20,66 | 96,21 | 99,11 | 88,52 | 32,28 | **33,63** |
| **Cabeza Calculada** | **100,00** | **50,98** | **0,11** | **1,25** | **6,52** | **14,82** | **6,97** | **0,17** | **0,06** | **0,02** | **100,0** | **100,0** | **100,0** | **100,0** | **100,0** | **100,0** | **100,0** | **100,0** | **100,0** |

| Recuperaciones | | | |
|---|---|---|---|
| **% Ag** | **% Cu** | **% Pb** | **% Zn** |
| **83,08** | **66,16** | **81,19** | **77,33** |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

De la tabla 13 se comenta lo siguiente:

- El concentrado de cobre muestra una calidad 19,69%, el contenido de plata es 8 616,79 g/t, el desplazamiento de plomo es de 17,20 %, el contenido de zinc 5,22 %, arsénico 1,80 %, antimonio 7,22 % y hierro 8,37 % con recuperación de 66,16 %, el cual se podría mencionar una calidad y recuperación muy bajos por presentar ley de cabeza bajo la muestra en estudio.

  Por no presentar una alta relación de ley de cabeza plomo – cobre y por presentar baja ley de cabeza de cobre no se obtiene una separación óptima con respecto al concentrado de cobre.
- El concentrado de plomo muestra una calidad 57,42 %, el contenido de plata es 2 991,72 g/t, el contenido de cobre es 0,64 %, la activación de zinc 6,33 %, arsénico 0,45 %, antimonio 0,47 % y hierro 14,14 % con recuperación de 81,19 %; muestra una calidad y recuperación favorable con respecto al proceso que presenta la muestra, en cuanto a los contaminantes presenta una concentración baja en arsénico lo cual no perjudicaría la comercialización del concentrado.
- El concentrado de zinc muestra una calidad de 55,46%, el contenido de plata de 364 g/t, contenido de cobre 0,04 %, contenido de plomo 0,61 %, contenido de hierro 3,10 % y el contenido de manganeso 0,62 % la recuperación es de 77,33 %; con respecto a la ley de cabeza muestra recuperación y calidades considerables para nuestro proceso.
- La presencia de hierro como sulfuro no perjudica en la performance metalúrgica de los concentrados ya que con respecto a la ley de cabeza que presenta la muestra las calidades de los concentrados no se afectan.

- La recuperación acumulada de plata es de 83,08 %, recuperación considerable debido a la ley de cabeza que está relacionado con ley de plomo en la cabeza.

## 4.4. Discusión de resultados

Para la discusión de resultados se ha tomado en cuenta las regresiones que se presentan en función al estadístico de t-student y la correlación que tienen cada mineral con respecto al otro, presentándose de la siguiente manera:

### 4.4.1. Regresiones entre elementos químicos.

Con el set de ensayes químicos (espumas) correspondientes de cada etapa se realiza una regresión lineal entre pares de elementos químicos con la finalidad de establecer correlación y determinar el valor estadístico t-student que expresara la significancia de la correlación, considerando el signo de este valor estadístico si es mayor a **2.57** (**G.L. 5**) y positivo habrá una gran posibilidad de encontrar una relación mineralógica y por el contrario si es negativo se tratara de un desplazamiento indebido a causa del proceso de flotación.

En la tabla 14 se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos:

**Tabla 14.** *Regresiones cinética selectivo 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 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,81 | 0,63 | 0,03 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 0,91 | 0,84 | 0,59 |
| | T-Student | 31,39 | 145,87 | -6,09 | -4,15 | -2,62 | 0,34 | 24,63 | 19,58 | 34,08 | -6,53 | -4,59 | -2,39 |
| **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 | 0,01 | 1,00 | 1,00 | 0,91 | 0,81 | 0,63 | 0,03 | 0,99 | 0,99 | 0,71 | 0,58 | 0,02 |
| | T-Student | 0,25 | 64,90 | 45,51 | -6,26 | -4,17 | -2,60 | 0,33 | 25,64 | 20,64 | 3,10 | 2,37 | -0,31 |
| **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 | 0,90 | 0,93 | 0,20 | 0,08 | 0,86 | 0,84 | 0,53 | 0,56 | 0,58 | 0,01 | 0,01 | 1,00 |
| | T-Student | -6,04 | -7,19 | 1,01 | 0,57 | -4,94 | -4,57 | -2,13 | -2,28 | -2,35 | 0,20 | 0,23 | 34,07 |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

De la tabla 14 se comenta:

- La plata está muy correlacionada positivamente al cobre y plomo (+31,39 y +145,87) valores favorables lo cual nos indicaría alta recuperación de plata con buenas concentraciones.
- La plata está muy correlacionada positivamente con antimonio y bismuto (Ag-$Sb^{=}$ +24,63) y (Ag-$Bi^{=}$ +19,58) se podría predominar posible presencia de argentotetraedrita ($Ag_{10}(Fe,Zn)_2Sb_4S_{13}$) mineralógicamente según la regresión estadística. La plata tiene una alta correlación con antimonio (Ag-Sb= +24,63) posible presencia de pirargirita (**$Ag_3SbS_3$**).
- El cobre muestra una correlación positiva entre los elementos de plomo y antimonio (Cu-Pb= +34.08, Cu-Sb= +64.90 y Pb-Sb= +25.64), el cual se podría denominar posible presencia de Bournonita (**$PbCuSbS_3$**).
- La plata, cobre y plomo con zinc muestra una correlación negativa (Ag-Zn= -6.09, Cu-Zn= -6.53 y Pb-Zn= -6.26), el cual es un dato para tener en cuenta donde podría afectar en el circuito bulk con alta activación de zinc y poder controlar con las etapas de limpiezas.

En la tabla 15 se registra el resumen de regresiones **cinética selectiva circuito zinc**:

**Tabla 15.** *Regresiones cinética selectiva circuito 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 | 1,00 | 0,47 | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 0,958 | 0,19 | 0,03 | 0,51 | 0,99 | 0,97 | 0,99 |
| | T-Student | 28,67 | 1,88 | 85,05 | -15,61 | -17,99 | -12,97 | 0,96 | 0,34 | 2,03 | 27,11 | -11,24 | -23,21 |
| **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 | 0,96 | 0,19 | 0,04 | 0,46 | 0,38 | 0,51 | 0,37 | 0,52 | 0,01 | 0,99 | 0,99 | 0,98 |
| | T-Student | -9,49 | 0,97 | 0,39 | 1,84 | -1,56 | -2,03 | -9,49 | 2,06 | 0,19 | -16,54 | -18,68 | -13,92 |
| **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 | 0,18 | 0,03 | 0,95 | 1,00 | 0,19 | 0,01 | 0,94 | 0,15 | 0,07 | 0,19 | 0,01 | 0,35 |
| | T-Student | 0,93 | 0,37 | 8,76 | 34,74 | -0,96 | -0,22 | 8,15 | -0,84 | -0,55 | -0,96 | -0,23 | -0,47 |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

De la tabla 15 se comenta lo siguiente:

- La plata tiene una correlación positiva con cobre (+28,67), la plata tiene una correlación positiva con zinc (+85,05) y el Cu-Zn tiene una correlación positiva (+27,11).
- El cobre tiene correlación positiva con el zinc (+27,11); obteniendo estos datos de correlación y T-student se podría predominar la presencia de esfalerita de tipo2 (**ef2**: inclusiones de calcopirita en esfalerita).
- El cobre muestra una correlación negativa con hierro y arsénico (Cu-$Fe^{=}$ -11,24 y Cu-$As^{=}$ -9,49), sin embargo, el Fe-As tiene una correlación positiva (+34,74), Esto significa que a medida que aumenta la ley de cobre la ley de arsénico será menor.
- Zinc con manganeso muestra una correlación negativa (Zn-$Mn^{=}$ -18,68), dato para tener en cuenta esto podría afectar como contaminante al concentrado de zinc por la alta ley de manganeso.
- La correlación entre el arsénico y el hierro (Fe-$As^{=}$ +34,74) son altos lo cual nos indican que hay la posibilidad presencia de arsenopirita (FeAsS).

### 4.4.2. Estudios de malla valorado relave final.

**Tabla 16.** *Malla valorada de relave final*

| N° Mallas | Abertura (µm) | K80 = 160,6 µm | | | Leyes | | | | % Distribución por mallas | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % Peso | %Ac(-) | %Ac(+) | Ag (g/t) | % Cu | % Pb | % Zn | % Fe | % Ag | % Cu | % Pb | %Zn | % Fe |
| **+ m 70** | 212 | 11,10 | 11,10 | 88,90 | 8,40 | 0,03 | 0,28 | 1,52 | 12,05 | 13,69 | 25,95 | 36,09 | 12,94 | 10,89 |
| **+ m 100** | 150 | 10,95 | 22,05 | 77,95 | 7,39 | 0,01 | 0,12 | 0,79 | 13,01 | 11,87 | 12,51 | 14,93 | 6,65 | 11,60 |
| **+ m 140** | 106 | 10,27 | 32,33 | 67,67 | 5,48 | 0,01 | 0,07 | 0,73 | 11,53 | 8,26 | 6,57 | 8,86 | 5,74 | 9,64 |
| **+ m 200** | 75 | 9,97 | 42,30 | 57,70 | 10,36 | 0,01 | 0,04 | 0,81 | 11,06 | 15,17 | 3,98 | 4,78 | 6,19 | 8,97 |
| **+ m 270** | 53 | 10,61 | 52,92 | 47,08 | 5,30 | 0,00 | 0,03 | 0,95 | 11,41 | 8,26 | 2,64 | 3,75 | 7,72 | 9,85 |
| **+ m 325** | 45 | 4,67 | 57,58 | 42,42 | 5,36 | 0,00 | 0,03 | 1,13 | 11,74 | 3,47 | 1,23 | 1,67 | 4,03 | 4,46 |
| **+ m 400** | 38 | 4,25 | 61,84 | 38,16 | 4,80 | 0,00 | 0,03 | 1,27 | 13,04 | 3,00 | 1,48 | 1,70 | 4,13 | 4,51 |
| **- m 400** | 0 | 38,16 | 100,00 | 0,00 | 6,44 | 0,02 | 0,06 | 1,80 | 12,91 | 36,08 | 45,65 | 28,22 | 52,61 | 40,09 |
| **Total** | | 100,00 | Cabeza Calculada | | 6,81 | 0,01 | 0.09 | 1,30 | 12,29 | **100,00** | **100,00** | **100,00** | **100,00** | **100,00** |

Nota: Elaborado por los tesistas

De la tabla 16 se comenta lo siguiente:

- Con respecto a la plata en las mallas gruesas el cual corresponde mayor a malla +100 se presenta una distribución de 25,56 %, en las mallas intermedias corresponde entre las mallas +140 y +400 esta con distribución de 38,16 % y en la malla fina -400 esta con distribución de 36,08 %; 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, su mayor distribución se muestra en las mallas intermedias corresponde entre las mallas +140 y +400 esto muestra tendencias que necesita mejorar el grado de liberación para minimizar la presencia de partículas mixtas.
- En cuanto al hierro muestra que necesita incrementar el tiempo de molienda para minimizar la presencia de partículas mixtas con los elementos de interés.

**Tabla 17.** *Regresión*

| **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 | 0,06 | 0,04 | 0,28 | 0,11 | 0,99 | 0,33 | 0,26 | 0,62 | 0,20 | 0,16 |
| | T-Student | 0,49 | 0,41 | -1,26 | -0,71 | 18,59 | -1,40 | -0,71 | -1,59 | 1,00 | 0,86 |

**Nota:** Elaborado por los tesistas

De la tabla 17 se comenta lo siguiente:

- Las correlaciones entre los elementos se encuentran bajos el cual la recuperación de los elementos de interés se obtendrá buena recuperación.

### 4.4.3. Comparación de resultados de la prueba inicial con los resultados final de la investigación.

En la tabla 6 se muestra un balance metalúrgico antes de iniciar la investigación en donde se observa que el cobre tiene un 17,59 % de ley y una recuperación del 64,46 % mientras que en la tabla 13 se aprecia una ley de 19,69 % y una recuperación del 66,16 %, se observa un 1,7 de diferencia haciendo que la investigación sea favorable en ese porcentaje.

Referente al plomo se manifestamos que la ley es de 59,46 % cuya recuperación es 80,09 % en la tabla 13 observamos que la ley es de 57,42 % y su recuperación es 81,19 % notándose una diferencia de 1,1 %, determinándose que la investigación realizada sea favorable.

En el zinc se observa una ley del 53,42 % y su recuperación es del 72,30 en la tabla 13 notamos una ley de 55,46 % y una recuperación del 77,33 % viéndose que hay una diferencia de 5,03 a favor de la investigación.

Como resultado final del proceso de investigación ha sido muy favorable ya que en los minerales principales se ha logrado mejorar en la recuperación.

### 4.4.4. Comparación entre la investigación y los antecedentes

Los antecedentes para la presente investigación solo son referenciales ya que cada asiento minero es diferente en sus leyes y tratamientos, mal se podría hacer una comparación, por otro lado, nosotros para identificar los minerales de mayor presencia hemos hecho correlaciones con T-Student tal como se muestra en las diferentes tablas.

## CONCLUSIONES

De los ensayos de molienda y flotación con estudios microscópicos realizados al Mineral Polimetálico se concluye:

1. El tiempo de molienda a malla -200 al 55 % es igual a 11,37 minutos. En la remolienda de zinc al relave rougher Zn I para alcanzar 60 % malla -200 ASTM con bolas de acero 1,5".
2. El tipo y dosificación de reactivos: NaCN 35 g/t, complejo Z11/Z6 35 g/t, cal 1900 g/t, $CuSO_4$ 200 g/t, espumante H-150 40.58 g/t, carbón 1 g/t, RCS 80 g/t y $ZnSO_4$ 200 g/t.
3. El tipo de mineral polimetálico de la empresa minera Huaron se determinó mediante la microscopía de minerales identificando a: Esfalerita, esfalerita tipo 2,3,4 y 5, Galena, Galena argentífera, Tetraedrita, Calcopirita, Bornita, Covelita, Calcosina, Arsenopirita, Pirita, Cuarzo, Rodonita, Arsénico, Antimonio.
4. En el cobre se tiene un mejoramiento de 1,7 % respecto al balance metalúrgico contra el balance metalúrgico propuesto. Referente al plomo se obtuvo un mejoramiento de 1,1 %, respecto al balance metalúrgico contra el balance metalúrgico propuesto. En el zinc se obtiene un mejoramiento de 5,03 % respecto al balance metalúrgico contra el balance metalúrgico propuesto.
5. La dureza que muestra este mineral es de 14,55 kW-h/TM, valor denominado como de dureza dura.
6. La determinación del análisis químico de cabeza de la muestra indicó: 0,11 % de cobre, 1,25 % de plomo, 6,52 % de zinc y 140,85 g/t de plata, cuyas leyes se estiman relacionadas a la presencia de galena y geocronita (**$Pb_{14}(Sb,As)_6S_{23}$**) para el caso del plomo se demuestra según la regresión estadística; calcopirita, cobre grises y cobres secundarios para el caso del cobre; esfalerita, esfalerita tipo2, esfalerita tipo3, esfalerita tipo5 para el caso de zinc y para el caso de la plata se presenta en asociaciones mineralógicas con los minerales de cobre y plomo con altas correlaciones.

7. La performance de plomo es favorable para el proceso principalmente por la calidad y con baja presencia de arsénico.
8. En la regresión estadística muestra baja correlación plomo – arsénico, se podría decir que no afectaría el contenido de arsénico en el concentrado de plomo, se realizó la prueba batch y obteniendo el balance metalúrgico general se muestra que el arsénico está en 0,45 %.
9. La cinética de flotación en la etapa Bulk muestra una flotabilidad acelerada para el plomo seguida de la plata influenciados por el contenido de estos valores en la cabeza y la cinética de los valores de zinc muestra una velocidad de cinética de flotación acelerada, la recuperación se muestra alto con respecto a la ley de cabeza y la calidad se presenta dentro de los grados comerciales.
10. En el circuito zinc la plata tiene una correlación positiva con cobre (+28,67), la plata tiene una correlación positiva con zinc (+85,05), el cobre tiene correlación positiva con el zinc (+27,11); obteniendo estos datos de correlación y T-student se podría predominar la presencia de esfalerita de tipo2 (ef2: inclusiones de calcopirita en esfalerita).
11. Los resultados de la prueba Batch muestra performance metalúrgico regular para los concentrados de plomo y zinc debido a la recuperación acumulada alcanzada, la plata alcanza una recuperación de (83,08%) la performance de valores de plomo es bueno con respecto a la ley de cabeza debido a las recuperaciones y calidades obtenidas.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe de realizar otras pruebas metalúrgicas en la recuperación de plomo y zinc para determinar si es o no favorable, principalmente por presentar la ley de cabeza baja, tomando en cuenta la calidad de los concentrados que está dentro de los grados comerciales con respecto a la ley de cabeza.
2. Realizar pruebas metalúrgicas a nivel batch en la recuperación de plata para determinar si es o no rentable con respecto a la ley de cabeza y a los parámetros operacionales de la planta concentradora que está en relación principalmente por la ley de cabeza de plomo y la cinética de flotación.
3. Determinar la performance de cobre para observar si es o no aceptable en la concentración de plata, teniendo en cuenta la presencia de arsénico y antimonio.
4. Se debe de realizar más investigaciones tomando muestras en compósito para tener mayor información de las recuperaciones de los minerales principales que estén en función a su ley de cabeza.
5. Se debe de realizar nuevas investigaciones con dosificación con otros reactivos para determinar las recuperaciones de los minerales principales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAs


Aramburú Rojas, V. S., & Tiburcio Alva, R. M. (2020). *Optimización en la recuperación de zinc de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú – Huancavelica* [Tesis de grado].

Bunge, M. (2000). *La ciencia, su método y su filosofía.* Siglo XXI Editores.

Crozier, R. D. (1992). *Flotation: Theory, reagents and ore testing*. Pergamon Press.

Fuerstenau, M. C., Jameson, G. J., & Yoon, R.-H. (2007). *Froth flotation: A century of innovation. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*.

Gupta, A., & Yan, D. S. (2006). *Mineral processing design and operation: An introduction*. Elsevier.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Huamán, M., López, R., & Espinoza, F. (2019). *Evaluación del efecto del tamaño de molienda en la recuperación de minerales polimetálicos. Revista de Procesamiento de Minerales*, 25(2), 72–79.

Mamani León, E. R. (2018). *Evaluación y optimización del proceso de flotación de minerales polimetálicos de la Compañía Minera Kolpa S.A.* [Tesis de grado].

Pan American Silver. (2022). *Informe técnico de operaciones – Unidad Minera Huaron*. Pan American Silver Perú S.A.A.

Ortega Evangelista, D. A., & Salvador Villanueva, B. P. (2025). *Ensayos sucesivos de chancado y zarandeo hasta obtener una granulometría 100 % - malla 10 Tyler [*Tesis de grado].

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill.

Valenzuela, C., & Soto, J. (2017). *Evaluación metalúrgica de la flotación de minerales complejos en la Unidad Huaron. Boletín de Minería y Metalurgia*, 38(1), 40–49.

Wills, B. A., & Finch, J. (2016). *Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery (8th ed.).* Butterworth-Heinemann.

# ANEXOS

# ANEXOS

## Instrumentos de Recolección de Datos

### Condiciones de flotación

*Tabla 1*

*(Condiciones para la Prueba de Flotación Batch)*

| Nombre | Tiempo (min) | pH | NaCN | Z-11/Z-6 | Cal | CuSO4 | H-150 | Carbón | RCS | ZnSO4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **molienda** | 11.37 | 9.50 | 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 | 10.80 | | | 750.00 | | | | | |
| **Ac Zn 2°** | 2.00 | | | | 150.00 | 175.00 | | | | |
| **Ro Zn** | 3.00 | | | 17.50 | | | 12.5 | | | |
| **Scv-Zn** | 2.00 | | | 2.50 | | 25.00 | | | | |
| **1°Cl Zn** | 2.00 | 11.60 | | | 400.00 | | | | | |
| **2°Cl Zn** | 2.00 | 11.60 | | | 350.00 | | | | | |
| **3° Cl Zn** | 2.00 | 11.60 | | | 250.00 | | | | | |
| **1 Ac Sep Pb/Cu** | 5.00 | | | | | | | 1.00 | 60.00 | |
| **Ro Sep Pb/Cu** | 3.00 | | | | | | | | | |
| **Scv Sep Pb/Cu** | 2.00 | | | | | | 1.6 | | 10.00 | |
| **1Cl Sep** | 2.00 | | | | | | 1.6 | | 10.00 | |

Molienda:

- ✓ Peso de mineral : 1 Kg
- ✓ Agua : 500 CC
- ✓ Tiempo de molienda : 11.37 minutos
- ✓ Cianuro de sodio : 30 gr/Tn
- ✓ Granulometría : 55% -200 mallas
- ✓ pH : 9.50

Flotación Rougher Bulk:

- ✓ pH de flotación : 10.10
- ✓ 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 : 11.0
- ✓ 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 : 0.5 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6 : 2.5 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner zinc I:

- ✓ Cal : 400 gr/Tn
- ✓ pH : 11.60
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos

Flotación Cleaner zinc II:

- ✓ Cal : 350 gr/Tn
- ✓ pH : 11.60
- ✓ 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 : 0 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner Separación:

- ✓ RCS : 10 gr/Tn
- ✓ carbón : 0 gr/Tn
- ✓ H-150 : 0 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

De la tabla 1 anterior se comenta lo siguiente con respecto al consumo de reactivos:

- Los tiempos de molienda establecidos para alcanzar los porcentajes de 55% de malla -200 es de 11.37 minutos valor se podría considerar de dureza media en el desarrollo de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.
- Los reactivos CNNa y mezcla de xantatos fueron preparados al 1%. La cal, el sulfato de cobre y el sulfato de zinc al 10%. El espumante H-150 al 100%.
- El consumo de cianuro de sodio es de 35 gr/ton, para controlar la activación de zinc y fierro en el proceso de flotación.
- El consumo de cal 2000 gr/ton, este valor se encuentra por debajo de los rangos habituales de 2,500 gr/Tn, debido al pH que presenta a 9.50.
- El consumo de sulfato de cobre 200 gr/ton, este valor se encuentra dentro de los rangos habituales de 194 gr/Tn.
- El consumo de reactivos se mantiene el estándar.

## 1.1. Cinética de flotación Bulk/Zinc.

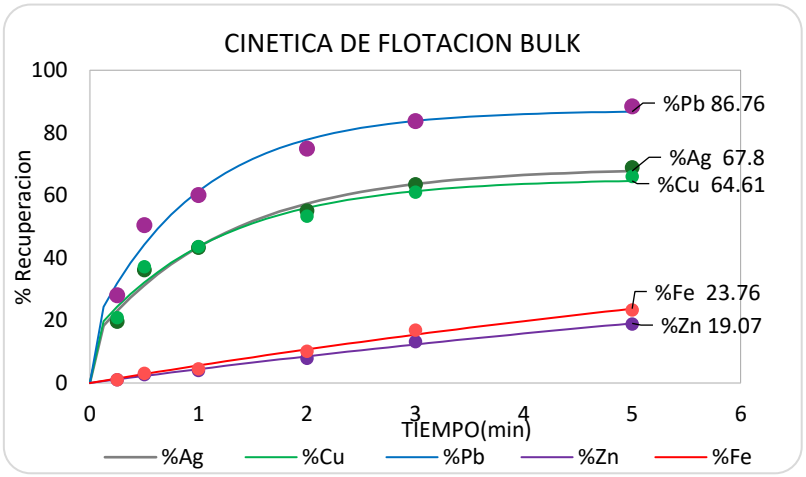
En las siguientes tablas se muestran las cinéticas de flotación de los valores de interés del Mineral Veta Pozo D en las etapas de flotación bulk y zinc con corte de malla -200 mallas 55%:

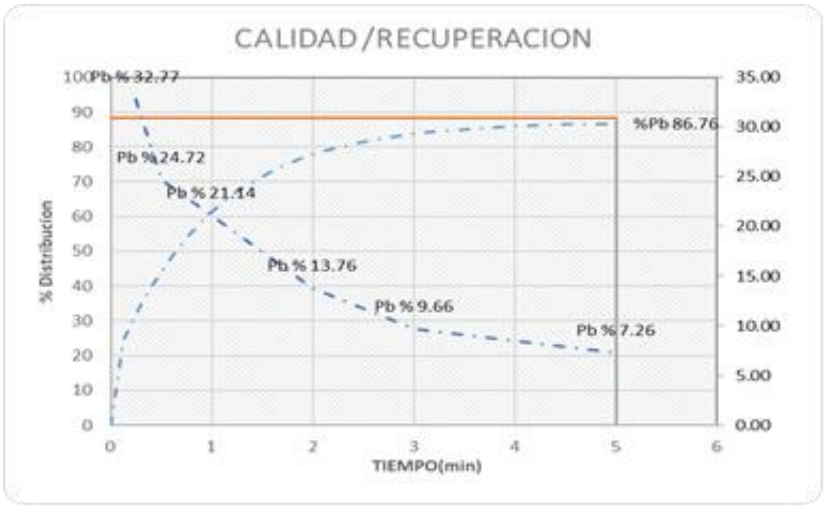
*Tabla 2 (Cinéticas de Flotación Bulk)*

| 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 Bk | 0.98 | 2831.62 | 2.30 | 32.77 | 6.81 | 16.49 | 1.30 | 0.61 | 1.47 | 0.53 | 19.70 | 20.86 | 28.02 | 1.03 | 1.05 | 0.18 | 3.26 | 22.74 | 33.39 |
| 0.5 | Espuma 2 Bk | 1.36 | 1700.86 | 1.30 | 18.92 | 7.97 | 22.33 | 1.75 | 0.65 | 0.80 | 0.28 | 16.42 | 16.30 | 22.45 | 1.67 | 1.98 | 0.34 | 4.87 | 17.10 | 24.79 |
| 1 | Espuma 3 Bk | 0.92 | 1105.28 | 0.76 | 12.03 | 8.91 | 24.85 | 2.06 | 0.66 | 0.45 | 0.14 | 7.22 | 6.45 | 9.66 | 1.27 | 1.49 | 0.27 | 3.32 | 6.57 | 8.10 |
| 2 | Espuma 4 Bk | 2.98 | 553.15 | 0.35 | 5.70 | 8.52 | 28.96 | 2.02 | 0.70 | 0.14 | 0.06 | 11.70 | 9.67 | 14.82 | 3.92 | 5.63 | 0.86 | 11.34 | 6.81 | 11.49 |
| 3 | Espuma 5 Bk | 3.70 | 319.82 | 0.23 | 2.73 | 9.24 | 27.87 | 2.66 | 0.64 | 0.10 | 0.03 | 8.40 | 7.73 | 8.82 | 5.28 | 6.73 | 1.41 | 12.99 | 5.69 | 7.95 |
| 5 | Espuma 6 Bk | 4.02 | 189.59 | 0.13 | 1.33 | 9.18 | 24.59 | 3.92 | 0.49 | 0.05 | 0.01 | 5.41 | 4.99 | 4.66 | 5.70 | 6.45 | 2.25 | 10.72 | 3.27 | 1.67 |
| | Relave-Bk | 86.04 | 50.98 | 0.04 | 0.15 | 6.11 | 13.65 | 7.70 | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 31.14 | 34.00 | 11.58 | 81.13 | 76.66 | 94.68 | 53.52 | 37.83 | 12.62 |
| | Cab. Cal. | 100.00 | 140.85 | 0.11 | 1.15 | 6.48 | 15.32 | 6.99 | 0.18 | 0.06 | 0.02 | 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% |
| 23.05 | 24.34 | 31.83 | 1.14 | 1.45 | 0.00 | 0.00 | 25.27 | 36.76 |
| 31.2 | 32.14 | 44.23 | 2.26 | 2.9 | 0.0 | 0.00 | 35.31 | 51.60 |
| 43.5 | 43.56 | 61.32 | 4.43 | 5.6 | 0.0 | 0.00 | 47.46 | 69.07 |
| 57.3 | 55.98 | 77.81 | 8.53 | 10.7 | 0.0 | 0.00 | 56.63 | 81.55 |
| 63.6 | 61.32 | 83.80 | 12.32 | 15.5 | 0.0 | 0.00 | 58.94 | 84.46 |
| 67.8 | 64.61 | 86.76 | 19.07 | 23.8 | 0.0 | 0.00 | 59.67 | 85.29 |

*Figura 1 (Curva de Cinética Bulk)*




De las figuras anteriores muestran los siguientes comentarios:

- La cinética de flotación de los valores de plomo muestra una mayor velocidad de flotación y se observa que el cobre y la plata son los que muestran una menor velocidad de flotación, estando esta influenciada por la asociación mineralógica que tienen estos valores, se estima una distribución de 86.76% de plomo, 67.8% de plata y 64.61% de cobre, para un periodo de flotación acumulado de 5 minutos.
- Las velocidades de flotación de los valores de fierro muestran una velocidad acelerada con respecto a los valores de interés, se estima una activación como distribución de 23.76% para un periodo acumulado de flotación de 5 minutos.

- La velocidad de flotación de los valores de zinc se muestra cinética de flotación controlada con activación de 19.07% como distribución, el cual podría no perjudica al concentrado bulk.
- La concentración de valores de plomo muestra un índice de enriquecimiento acelerado, el cual se mostrará una recuperación considerable para el proceso con respecto a la ley de cabeza.

**Tabla 3 *(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 | 3.02 | 319.95 | 0.27 | 0.42 | 52.08 | 5.96 | 0.91 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 18.96 | 18.99 | 8.27 | 25.77 | 1.32 | 0.36 | 2.48 | 3.80 | 17.30 |
| 0.5 | Espuma 2 Zn | 1.95 | 307.78 | 0.25 | 0.44 | 48.16 | 7.78 | 1.39 | 0.13 | 0.05 | 0.01 | 11.79 | 11.59 | 5.53 | 15.40 | 1.11 | 0.35 | 2.15 | 3.70 | 4.93 |
| 1 | Espuma 3 Zn | 3.16 | 264.66 | 0.22 | 0.50 | 39.63 | 10.61 | 2.31 | 0.15 | 0.10 | 0.00 | 16.41 | 16.03 | 10.34 | 20.52 | 2.46 | 0.95 | 4.27 | 10.92 | 4.33 |
| 2 | Espuma 4 Zn | 3.63 | 188.22 | 0.16 | 0.45 | 23.94 | 16.52 | 3.76 | 0.25 | 0.06 | 0.01 | 13.39 | 13.76 | 10.51 | 14.21 | 4.39 | 1.77 | 7.94 | 8.07 | 8.14 |
| 3 | Espuma 5 Zn | 3.16 | 107.93 | 0.08 | 0.39 | 7.74 | 23.47 | 5.10 | 0.33 | 0.02 | 0.01 | 6.69 | 6.22 | 8.07 | 4.01 | 5.44 | 2.10 | 9.21 | 2.32 | 17.65 |
| 5 | Espuma 6 Zn | 6.44 | 87.42 | 0.06 | 0.28 | 3.61 | 22.18 | 6.21 | 0.31 | 0.03 | 0.00 | 11.04 | 8.37 | 11.69 | 3.80 | 10.46 | 5.20 | 17.75 | 7.79 | 5.54 |
| | Relave- Final | 78.64 | 14.08 | 0.01 | 0.09 | 1.27 | 12.99 | 8.74 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 21.72 | 25.04 | 45.58 | 16.29 | 74.83 | 89.28 | 56.20 | 63.40 | 42.11 |
| | Cab. Cal. | 100.00 | 50.98 | 0.04 | 0.15 | 6.11 | 13.65 | 7.70 | 0.11 | 0.03 | 0.002 | 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% |
| 20.51 | 20.00 | 9.0 | 25.8 | 1.3 | 0.5 | 2.3 | 4.9 | 17.2 |
| 30.0 | 30.0 | 13.9 | 41.4 | 2.5 | 1.0 | 4.5 | 9.2 | 20.9 |
| 44.5 | 44.9 | 22.3 | 60.9 | 5.0 | 2.1 | 8.8 | 16.2 | 27.6 |
| 61.7 | 61.3 | 35.1 | 76.6 | 10.0 | 4.1 | 17.5 | 25.6 | 38.7 |
| 70.1 | 68.6 | 43.8 | 81.0 | 14.9 | 6.1 | 26.2 | 30.9 | 47.4 |
| 76.2 | 73.3 | 53.8 | 82.5 | 24.6 | 10.0 | 43.5 | 35.8 | 59.2 |

*Figura 3 (Cinética de Flotación Zinc)*

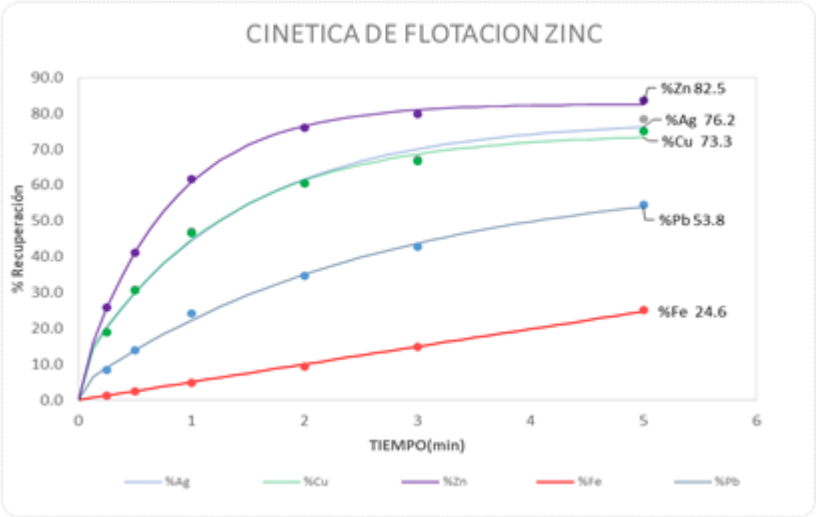
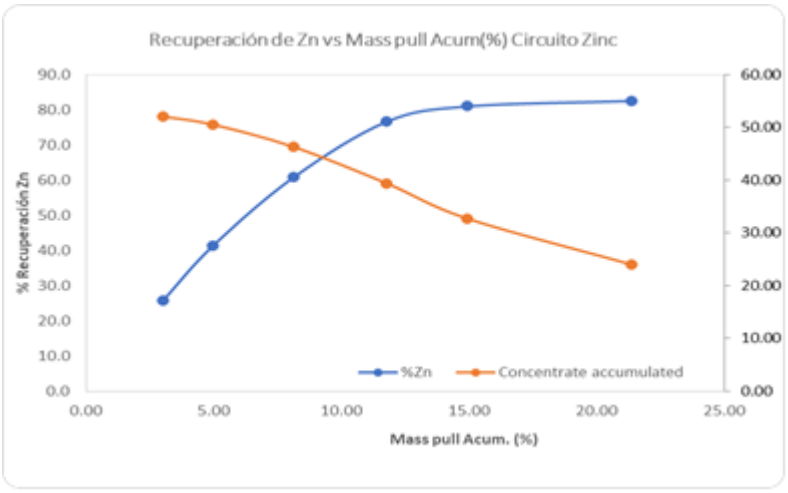


*Figura 4 (Cinética de Valores Zinc)*




De la tabla y figuras anteriores se muestran los siguientes comentarios:

- Los valores de zinc muestran una la velocidad de flotación acelerada donde se puede mostrar una distribución máxima, se estima una recuperación de 82.5% para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de cobre, plomo y plata son relativamente lentas se estiman distribuciones de 73.3% de cobre, 53.8% de plomo y 76.2% de plata para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La cinética del hierro se ve controlado lo cual no afectara la calidad del concentrado de zinc, se estima una distribución de 24.6%.
- Los valores de zinc muestran un índice de enriquecimiento acelerado debido a la flotabilidad baja de los elementos contaminantes, la cinética de flotación acelerada no afecta la recuperación de zinc.

# MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Título:** Ensayos de molienda y flotación para el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron – Pasco – 2025

| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|---|---|---|---|---|
| **GENERAL** | **GENERAL** | **GENERAL** | **INDEPENDIENTE** | **MÉTODO** |
| ¿Cómo influye los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación en el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron? | Determinar los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación para mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron. | Si determinamos los parámetros operativos en los ensayos de molienda y flotación entonces podemos mejorar la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron | Ensayos de molienda y flotación | Método cuantitativo |
| **ESPECÍFICOS** | **ESPECÍFICOS** | **ESPECÍFICOS** | **DEPENDIENTE** | **TIPO** |
| 1. ¿Cuál es el efecto del tamaño de partícula (producto de la molienda) sobre la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre?<br>2. ¿Qué tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos?<br>3. ¿Qué tipo de minerales constituye el mineral polimetálico que permita el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron? | 1. Determinar el tamaño de partícula (producto de la molienda) sobre la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre.<br><br>2. Determinar el tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos.<br>3. Determinar el tipo de minerales que constituye el mineral polimetálico que permita el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron. | 1. Si determinamos el tamaño de partícula (producto de la molienda) entonces mejoramos la eficiencia de la flotación de los minerales de plomo, zinc y cobre.<br>2. Si determinaos el tipo y dosificación de reactivos (colectores, espumantes, modificadores) entonces nos permiten una mejor recuperación y selectividad en la flotación de minerales polimetálicos.<br>3. Si determinamos el tipo de minerales que constituye el mineral polimetálico entonces nos permite el mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos en la empresa minera Huaron. | Mejoramiento de la recuperación de minerales polimetálicos | Investigación aplicada, de tipo experimental y con enfoque cuantitativo<br>**NIVEL**<br>Explicativo<br>**DISEÑO**<br>Experimental |