

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALURGICA



T E S I S

**Efecto de la caracterización geometalúrgica para la recuperación de Ag, Cu,
Pb y Zn del blending de minerales (veta Pozo y Llacsacocha) Pan American**

Silver Pasco – 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Evair Luis HUAYNATE PEREZ

Bach. Jhosvell Leonel LOPEZ VIDAL

Asesor:

Dr. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALURGICA



T E S I S

**Efecto de la caracterización geometalúrgica para la recuperación de Ag, Cu,
Pb y Zn del blending de minerales (veta Pozo y Llacsacocha) Pan American**

Silver Pasco – 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
PRESIDENTE

Mg. José Elí CASTILLO MONTALVAN
MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 272-2025-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

Efecto de la caracterización geometalúrgica para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn del blending de minerales (veta Pozo y Llacsacocha) Pan American Silver Pasco – 2024

Apellidos y nombres de los tesistas

Bach. Evair Luis HUAYNATE PEREZ

Bach. Jhosvell Leonel LOPEZ VIDAL

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

8 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 20 de mayo del 2025



El contenido digitalizado por el sistema
UNDAC - Sistema de Gestión de
Tesis y Documentos
Módulo: Tesis y Documentos
Fecha: 2025-05-20 10:00:00 AM

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a mis padres, LEONEL Y ELIZABETH, por su amor incondicional, su acompañamiento constante y los enormes sacrificios que hicieron durante mi vida universitaria.

Gracias a ustedes, este logro trasciende lo académico y se convierte en un testimonio de su esfuerzo, paciencia y fe en mí.

Dedico el presente trabajo a mis padres JOSÉ Y EUGENIA, por su amor, ejemplo y constante apoyo.

A mi hija Nessie, por ser mi mayor inspiración y la razón de cada uno de mis esfuerzos, nunca dejes de sonreír pequeña.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por brindarme salud y vida, un pilar importante para convertirme en un hombre de bien, respetando a la vida. Extiendo mi agradecimiento a la UNDAC por haber estudiado en los ambientes de la Facultad de ingeniería Escuela de Ingeniería Metalúrgica, así como su plana docente y colegas formando una amistad duradera.

RESUMEN

El presente estudio intitulado "Efecto de la caracterización geometalúrgica del mineral blending (veta Pozo y Llacsacocha) para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Pan American Silver Pasco – 2024" tiene como objetivo general evaluar la influencia de la caracterización geometalúrgica del blending para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación. En la investigación se ha empleado el método inductivo-deductivo, con enfoque cuantitativo, de tipo aplicado tecnológico y a nivel explicativo; para estudiar cómo las propiedades mineralógicas y el proceso de flotación afectan el rendimiento metalúrgico de la plata, cobre, plomo y zinc. Se trabajó con una muestra de 159,08 kg del mineral blending, proveniente de las vetas Pozo y Llacsacocha, y se analizó la variable independiente con población finita. Las microfotografías permiten reconocer la presencia de sulfosales de plata (SFAg), pirita (py), calcopirita (ccp); y el diagnóstico a través de las pruebas de flotación tienen un efecto significativo en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn, mostrados en las pruebas 3,4 y 8 de la tabla 25, superando el 80% de recuperación.

En conclusión, la caracterización geometalúrgica y el proceso de flotación influyen en la recuperación de metales del blending procedente de las vetas Pozo y Llacsacocha, optimizando los procesos de recuperación metálica en Pan American Silver.

Palabras claves: Caracterización mineralógica, blending, recuperación, work index.

ABSTRACT

The present study entitled "Effect of the geometallurgical characterization of the blending mineral (Pozo and Llacsacocha veins) for the recovery of Ag, Cu, Pb and Zn in Pan American Silver Pasco - 2024" has the general objective of evaluating the influence of the geometallurgical characterization of the blending for the recovery of Ag, Cu, Pb and Zn by flotation. The research used the inductive-deductive method, with a quantitative approach, of an applied technological type and at an explanatory level; to study how the mineralogical properties and the flotation process affect the metallurgical performance of silver, copper, lead and zinc. A sample of 159.08 kg of blending mineral from the Pozo and Llacsacocha veins was worked with, and the independent variable was analyzed with a finite population. The micrographs allow to recognize the presence of silver sulfosalts (SFAg), pyrite (py), chalcopyrite (ccp); and diagnostics through flotation tests have a significant impact on the recovery of Ag, Cu, Pb, and Zn, as shown in tests 3, 4, and 8 of Table 25, exceeding 80% recovery.

In conclusion, geometallurgical characterization and the flotation process influence metal recovery from the blending of the Pozo and Llacsacocha veins, optimizing the metal recovery processes at Pan American Silver.

Keywords: Mineralogical characterization, blending, recovery, work index.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio titulado "Efecto de la caracterización geometalúrgica del mineral blending (veta Pozo y Llacsacocha) para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Pan American Silver Pasco – 2024" tiene como objetivo principal evaluar cómo las propiedades mineralógicas y el proceso de flotación impactan en la recuperación de estos metales. La geometalurgia ha surgido como una disciplina clave en la minería moderna, proporcionando un enfoque integral que combina aspectos fisicoquímicos para optimizar la eficiencia en la extracción y recuperación de recursos valiosos.

Capítulo I, se presenta el problema de investigación, identificando y delimitando claramente el tema en estudio. En este capítulo, se plantean tanto el problema general como los problemas específicos que guiarán la investigación, así como los objetivos generales y específicos que buscan alcanzar una comprensión profunda de la influencia de la caracterización geometalúrgica sobre el proceso de flotación. Además, se justifica la importancia del estudio en términos de su relevancia para la industria minera y las limitaciones que enfrenta la investigación.

Capítulo II está dedicado al marco teórico, donde se revisan los antecedentes y se establecen las bases teóricas y científicas que sustentan el estudio. Se profundiza en las características de los minerales polimetálicos, los tratamientos de minerales, y el proceso de flotación, abordando tanto sus ventajas como desventajas. Además, se analizan las variables clave del proceso de flotación, tales como los colectores, espumantes, depresores y activadores, así como los estudios mineragráficos y las pruebas metalúrgicas de flotación batch. Este capítulo proporciona el contexto técnico y científico necesario para entender el fenómeno bajo estudio.

Capítulo III desarrolla la metodología de investigación, especificando el tipo y nivel de investigación, así como los métodos empleados. En este caso, se ha optado por un enfoque aplicado tecnológico, utilizando métodos analítico, sintético, inductivo-deductivo y empíricos (observación, medición y experimentación). También se detallan el diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como los procedimientos de validación y análisis estadístico de los datos obtenidos.

Capítulo IV contiene los resultados y discusión, donde se presenta el análisis detallado de los datos recolectados en campo y en laboratorio. Se incluyen las pruebas de hipótesis, evaluando el impacto de las variables independientes (caracterización geometalúrgica) sobre las variables dependientes (recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn). A través del análisis de varianza, se identifican los factores más influyentes y se discuten los resultados en relación con estudios previos y la teoría presentada en el marco teórico. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones proporcionan un resumen de los hallazgos clave y sugieren vías de acción para la mejora continua en la operación de Pan American Silver Pasco. Este estudio no solo aporta al conocimiento científico en geometalurgia, sino que también ofrece soluciones prácticas para optimizar los procesos de recuperación de metales en el contexto del blending de minerales.

Los autores

ÍNDICE

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.....	2
1.2.1. Delimitación temporal.....	2
1.2.2. Delimitación espacial.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1. Problema general.....	2
1.3.2. Problemas específicos.....	2
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5.1. Justificación teórica.....	3
1.5.2. Justificación metodológica.....	4
1.5.3. Justificación práctica.....	4

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.	5
---	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.2. BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS.....	10
2.2.1. Caracterización geometalúrgica	10
2.2.2. Mineral blending	11
2.2.3. Caracterización de las partículas	14
2.2.4. Distribución de tamaños.....	15
2.2.5. Determinación de las características de las partículas	15
2.2.6. Recuperación de elementos metálicos	16
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	17
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	18
2.4.1. Hipótesis general	18
2.4.2. Hipótesis específicas	18
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	19
2.5.1. Variable Independiente	19
2.5.2. Variable dependiente.....	19
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	19

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	21

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.	21
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	22
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	22
3.5.1. Población.....	22
3.5.2. Muestra.....	23
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTO RECOLECCIÓN DE DATOS	24
3.6.1. Técnicas.....	24
3.6.2. Instrumentos	24
3.7. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.	26
3.7.1. Validez de los instrumentos de investigación	26
3.7.2. Confiabilidad.....	27
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	27
3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	28
3.10. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA.....	28

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	29
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	30
4.2.1. Análisis geo metalúrgico.....	30
4.2.2. Pruebas fisicoquímicas del mineral.....	32
4.2.3. Parámetros operacionales de flotación.....	36
4.2.4. Comparación de las recuperaciones	45
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS	46
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	48

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de análisis de partículas	16
Tabla 2 Reservas de las vetas Pozo y Llacsacocha al 30 de junio de 2024.....	23
Tabla 3 Ensaye químico de la veta pozo	30
Tabla 4 Ensaye químico de la veta Llacsacocha	30
Tabla 5 Análisis granulométrico del blending sin molienda	32
Tabla 6 Análisis granulométrico del blending con 10 minutos de molienda	33
Tabla 7 Análisis granulométrico del blending a 15 minutos de molienda	34
Tabla 8 Análisis granulométrico del blending a 20 minutos de molienda	35
Tabla 9 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 1.....	37
Tabla 10 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 1.....	37
Tabla 11 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 2.....	38
Tabla 12 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 2.....	38
Tabla 13 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 3.....	39
Tabla 14 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 3.....	39
Tabla 15 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 4.....	40
Tabla 16 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 4.....	40
Tabla 17 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 5.....	41
Tabla 18 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 5.....	41
Tabla 19 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 6.....	42
Tabla 20 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 6.....	42
Tabla 21 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 7.....	43
Tabla 22 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 7.....	43
Tabla 23 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 8.....	44
Tabla 24 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 8.....	44

Tabla 25 Comparación de resultados obtenidos45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plano de ubicación y accesibilidad	6
Figura 2 Microfotografía del mineral de la veta pozo a 100X	31
Figura 3 Microfotografía del mineral de la veta Llacsacocha a 100X	31
Figura 4 Microfotografía del mineral de la veta Llacsacocha a 100X	32
Figura 5 Análisis granulométrico de molienda de mineral a 10 minutos.....	33
Figura 6 Análisis granulométrico de molienda de mineral a 15 minutos.....	34
Figura 7 Análisis granulométrico de molienda de mineral a 20 minutos.....	35
Figura 8 Distribución “t” Student.....	47
Figura 9 Plantilla para determinar el work Index.....	56
Figura 10 Plantilla para determinar el análisis granulométrico.....	56
Figura 11 Tabla estándar de pruebas de flotación	57
Figura 12 Tabla estándar de balances metalúrgicos	57
Figura 13 Pruebas de molienda	62
Figura 14 Desarrollando pruebas de flotación	63
Figura 15 Concentrados de plomo – plata.....	63
Figura 16 Muestras tamizadas	64

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La empresa Pan American Silver Corporation, unidad Huarón produce concentrados de cobre, plomo, zinc y plata a partir del yacimiento de tipo hidrotermal con una distribución zonal de mineralización de alta temperatura en su zona central y mineralización de plomo y zinc con altos contenidos de plata hacia los bordes. Para explotar y extraer los minerales de las zonas mineralizadas del yacimiento, es necesario evaluar las leyes y mineralogía presentes para asegurar una buena calidad de mineral de cabeza que cumpla con los requisitos para su procesamiento y obtención de concentrados comercializables.

En la actualidad, existen minerales con potencial comercial de minerales de la veta pozo D Ramal Zona Norte Labor SN 200B y veta Llacsacocha Zona Norte Nivel 250 TJ 251 en la zona baja del Nivel 180, caracterizados por su contenido de cobre, plomo y zinc con altos contenidos de plata. Por lo que se hace necesario realizar un estudio de caracterización geo metalúrgica, con la finalidad

de obtener las mejores recuperaciones y concentrados Cu, Pb y Zn con altos contenidos de plata.

Para obtener concentrados de estas características, se requiere establecer parámetros de operación y caracterización, por lo que se formula las siguientes interrogantes.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación temporal

El trabajo de investigación comprendió diez meses (marzo – diciembre del 2024).

1.2.2. Delimitación espacial

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios metalúrgicos de la empresa Pan American Silver unidad Huaron, Huayllay, provincia y región Pasco.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general

¿Cómo la caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco - 2024?

1.3.2. Problemas específicos

P.E.1: ¿Cuáles son las principales características mineralógicas y texturales del blending (veta pozo y Llacsacocha) que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024?

P.E.2: ¿Cómo influyen las propiedades fisicoquímicas del blending (veta pozo y Llacsacocha) en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024?

P.E.3: ¿Cuáles son los parámetros operacionales adecuados de flotación para maximizar la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Pan American Silver Pasco – 2024?

1.4. Formulación de Objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.

1.4.2. Objetivos específicos.

O.E.1: Caracterizar la mineralogía y textura del blending (veta pozo y Llacsacocha) que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.

O.E.2: Determinar las propiedades fisicoquímicas del blending (veta pozo y Llacsacocha) que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024

O.E.3: Determinar los parámetros operacionales adecuados de flotación que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Pan American Silver Pasco – 2024.

1.5. Justificación de la investigación.

1.5.1. Justificación teórica

La caracterización geometalúrgica es un enfoque multidisciplinario que integra mineralogía, metalurgia, geología y minería para comprender el comportamiento de los minerales durante el procesamiento. En el caso de minerales polimetálicos que contienen Ag, Cu, Pb y Zn, la variabilidad mineralógica y textural influye significativamente en la recuperación de estos

elementos durante las operaciones metalúrgicas. Esta investigación contribuye al desarrollo del conocimiento sobre cómo las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del *blending* de minerales afectan la eficiencia del procesamiento, aportando fundamentos teóricos para una mejor predicción del comportamiento metalúrgico en la planta concentradora.

1.5.2. Justificación metodológica

Desde el punto de vista metodológico, la investigación aplica técnicas avanzadas de caracterización como ensayos químicos, análisis granulométrico, liberación mineral y pruebas de flotación selectiva, lo que permite establecer correlaciones entre los parámetros geometalúrgicos y la recuperación de metales. Esta aproximación permite optimizar el diseño del *blending* y el circuito de flotación circuitos; también se puede replicar en otras operaciones mineras con condiciones similares.

1.5.3. Justificación práctica

A nivel práctico, esta tesis tendrá un impacto directo en la mejora de la eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras. La optimización del *blending* a partir de una caracterización geometalúrgica precisa, puede aumentar las recuperaciones de Ag, Cu, Pb y Zn, reducir costos operativos y disminuir la generación de residuos. Esto es especialmente relevante en un contexto donde las leyes de cabeza son muy bajas y se busca una mayor sostenibilidad en las operaciones mineras. Asimismo, los resultados podrían ser implementados en la planta concentradora, mejorando los rendimientos y reduciendo la variabilidad del proceso.

1.6. Limitaciones de la investigación.

La limitación que se ha tenido durante el desarrollo de la investigación fue:

- a) Restricciones en los equipos especializados como son QEMSCAN, MEB, MET, lo que permitiría obtener datos con mayor rigor científico.
- b) Condiciones controladas en el laboratorio de la empresa, destinando mayor cantidad de insumos y equipos a las operaciones rutinarias.
- c) Variabilidad natural del mineral, dado que el blending está compuesto por mezclas de distintas zonas mineralizadas, existe una variabilidad natural en la mineralogía, textura y grado de oxidación, lo cual dificulta la obtención de resultados uniformes.

Figura 1 Plano de ubicación y accesibilidad



Nota: Extraído de www.minera-irl/es/minas/mina.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tabares, Lina (2020) en la tesis *“Caracterización mineralógica y química orientada a geometalurgia de los depósitos auríferos de un sector del Distrito Minero de La Llanada – Departamento de Nariño (Colombia)”* para optar el título de Magister en Ciencias – Geología – Universidad Nacional de Colombia, tiene como objetivo: caracterizar geológica, mineralógica y química los depósitos auríferos para la recuperación de oro, con enfoque cuantitativo, diseño cuasi experimental, las muestras observadas por microscopía electrónica de luz transmitida y reflejada demuestran la presencia de pirrotina, arsenopirita, calcopirita, telurobismutinita, galena, esfalerita. Concluye, la información de petrográfica generó dos paragénesis, una relacionada a las rocas meta sedimentarias y otra relacionada con rocas ígneas. El depósito es considerado de tipo orogénico y relacionado a intrusivos.

Salazar, Ana (2017) en la tesis *“Caracterización geometalúrgica del mineral existente en las vetas del sector La López, ubicado en el distrito aurífero–polimetálico Ponce Enríquez (Bella Rica), para optimizar el beneficio de minerales en la planta de procesamiento de la empresa Minereicis S.A.”*, para optar el título de Ingeniero de Minas – Universidad Central del Ecuador, tiene como objetivo: caracterizar mediante parámetros geometalúrgicos el mineral extraído de las vetas, para mejorar el procesamiento; con enfoque cuantitativo, tipo de investigación aplicado, nivel descriptivo – relacional, diseño cuasi experimental; el universo constituyó todas las vetas existentes en el área minera y la muestra comprende 8 muestras representativas de similar cantidad de vetas. Los resultados de las observaciones al microscopio demuestran las asociaciones mineralógicas existentes, los ensayos químicos se determinó por ensayos al fuego y la caracterización física se basó al cálculo promedio del peso específico y densidad de pulpa, granulometría durante las pruebas de flotación. Concluye: el análisis geometalúrgico considera los análisis químico, mineralógico, físico y microscópico, donde las muestras están compuestas de sulfuros de arsenopirita, pirita, calcopirita, pirrotina, blenda, galena, tetraedrita con presencia de oro, plata y cobre.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Carvo, Kenyi & Aguirre, Belisario (2021) en la tesis *“Caracterización geo metalúrgica del mineral veta farallón Nv 180 y los parámetros de flotación de minerales polimetálicos en la compañía minera Huarón S.A.”*, para optar el título de Ingeniero Metalurgista y de Materiales – Universidad Nacional del Centro del Perú, tiene como objetivo: establecer la influencia de la caracterización geometalúrgica del mineral extraído de la veta Farallón Nv 180, para establecer

los parámetros de flotación; del tipo aplicado, nivel experimental, método inductivo – deductivo; la población y muestra constituyó las muestras obtenidas de la veta Farallón, con los siguientes resultados; los ensayos químicos muestran contenidos de, 146,14 gr/T de Ag, 0,43% de Cu, 1,85% de PbS, 24,32% de PbO, 7,57% de Zn, 21,59% de Fe y 5,22% de Mn. Los estudios microscópicos muestran en promedio partículas mixtas de calcopirita –cobres grises (cp/CuGRs), esfalerita – galena(ef/gn) y partículas libres de sulfuro de hierro (py), calcopirita (cp), esfalerita (ef), cobres grises (CuGRs), galena (gn) y ganga (GGs). Concluye: el Word Index es 12,29 Kw-h/TC, la cinética de flotación del bulk muestran altas recuperaciones; Pb - 93,7%, Ag – 78,8% y Zn – 74,6% y la mineralización se encuentra dentro de los complejos y su procesamiento requiere de un blending.

Morales, Max (2022) en la tesis “*Caracterización geo metalúrgica del mineral existente en las vetas de la zona norte, para determinar su comportamiento metalúrgico –unidad minera Huarón, 2021*” para optar el título de Ingeniero Metalurgista – Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, el objetivo central es caracterizar geo metalúrgicamente el mineral de las Vetas del nivel 250 Zona Norte y determinar el comportamiento metalúrgico; la investigación de tipo aplicada, nivel explicativo, método científico y diseño experimental; la población constituyó las vetas de la zona norte y la muestra, correspondió al acopio de 126 kg de material extraído del total de vetas; los resultados muestran: 193,68 gr/Ton Ag, 0,07% de Cu, 0,10 de Pb, 1,05% de Zn, 3,99% Fe. Las observaciones al microscopio muestran asociaciones de sulfosales de plata - galena (SFAg – PbS), sulfosales de plata - pirita (SFAg – Py), asociación esfalerita – pirita (sf/py); las recuperaciones por flotación de los minerales valiosos son altas. Concluye: la microscopia óptica confirma la

presencia de minerales de plata y zinc en el relave debido a presentarse como sulfosales el primero, los concentrados de plomo son deficientes con 36,77% de Pb y una recuperación de 68,92%, debido a la asociación Pb/Cu; el concentrado de cobre obtenido tiene 29,32% de Cu, con una recuperación de 70,41%; los concentrados de zinc tienen 63,26% de Zn y una recuperación de 89,54%, siendo muy buena.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Caracterización geometalúrgica

La caracterización geometalúrgica es una herramienta multidisciplinaria que permite entender el comportamiento de un mineral desde su extracción hasta su procesamiento, combinando aspectos geológicos, mineralógicos y metalúrgicos. Su objetivo principal es predecir y optimizar la respuesta del mineral a los distintos procesos de concentración, considerando las propiedades físicas y químicas que influyen directamente en la recuperación de los elementos valiosos.

Según Wills & Napier-Munn (2016), la caracterización geometalúrgica proporciona información clave sobre la textura del mineral, asociación mineralógica, grado de liberación, tamaño de grano, alteración, dureza y contenido de elementos penalizantes, todos los cuales tienen un impacto directo en el diseño del circuito metalúrgico y en la eficiencia del proceso de concentración (pág. 41).

Para realizar el diagnóstico geometalúrgico, se utilizan herramientas analíticas como el análisis por absorción atómica (AAT), difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX), microscopía óptica y electrónica (SEM), análisis de liberación mineral y estudios granulométricos, que permiten construir

un modelo integral del comportamiento del mineral durante su procesamiento. Esta información no solo mejora el rendimiento metalúrgico, sino que también reduce riesgos operacionales y mejora la toma de decisiones en la planificación minera.

En resumen, la caracterización geometalúrgica constituye una base fundamental para la comprensión del comportamiento de los minerales complejos en procesos de recuperación. Su aplicación permite adaptar el procesamiento a las propiedades específicas del *blending*, optimizando la eficiencia metalúrgica de la planta concentradora.

2.2.2. Mineral blending

Estrategia operativa que consiste en combinar minerales de diferentes zonas de un yacimiento para lograr una alimentación homogénea a la planta de procesamiento, con características óptimas para la recuperación de metales. Este proceso busca reducir variabilidad, mejorar la eficiencia del tratamiento y estabilizar la producción metalúrgica.

Según King (2001), el *blending* permite ajustar la ley de cabeza, controlar la presencia de elementos penalizantes, estabilizar el pH natural de la pulpa y equilibrar las características texturales y de dureza de los minerales. Esto es especialmente importante en yacimientos polimetálicos, donde la presencia de Ag, Cu, Pb y Zn se da en diversas asociaciones mineralógicas, y sus proporciones pueden variar significativamente entre zonas del mismo yacimiento (pág. 244).

El éxito del *blending* depende en gran medida del conocimiento detallado de las características mineralógicas y metalúrgicas de cada tipo de mineral involucrado. La falta de una adecuada caracterización puede llevar a mezclas que

disminuyan la eficiencia de la flotación, generen problemas de selectividad entre especies metálicas y afecten negativamente la recuperación global de metales.

Desde un enfoque geometalúrgico, el *blending* debe considerar no solo las leyes metálicas, sino también aspectos como el grado de liberación, textura mineral, tamaño de grano, presencia de minerales complejos o refractarios, y tipo de ganga. Una estrategia de *blending* bien diseñada, basada en una caracterización geometalúrgica robusta, permite reducir la variabilidad del proceso y mejorar la recuperación de metales valiosos.

En este sentido, el *blending* no es solo una práctica operativa, sino una variable crítica que debe ser evaluada desde un punto de vista técnico y económico, ya que influye directamente en la eficiencia, estabilidad y rentabilidad de la operación metalúrgica.

En este contexto, en el *blending* de minerales polimetálicos, la variabilidad mineralógica es aún más crítica, ya que se combinan minerales de diferentes zonas con distintas características geometalúrgicas. Esta mezcla puede generar sinergias o interferencias en la flotación selectiva, dependiendo de la forma en que los minerales de Ag, Cu, Pb y Zn estén asociados entre sí y con la ganga. Por tanto, una caracterización detallada permite seleccionar adecuadamente los reactivos, ajustar las condiciones de molienda y diseñar estrategias de flotación que maximicen la recuperación de los metales valiosos.

Implica el análisis detallado de la composición mineralógica, propiedades físicas, metalúrgicas y químicas de las distintas unidades de mineral que serán mezcladas. Se estudian parámetros como:

- Composición mineralógica y liberación de especies valiosas
- Dureza, abrasividad y propiedades mecánicas

- Distribución de elementos valiosos y penalizables.
- Cinética de flotación.
- Reacciones con reactivos y comportamiento metalúrgico

Este análisis permite diseñar estrategias de blending que minimicen problemas en la planta de procesamiento, como variaciones en la recuperación de metales, consumo de reactivos o desgaste de equipos, asegurando así una producción más eficiente y rentable.

La **caracterización geometalúrgica del mineral blending** es el conjunto de procedimientos y metodologías aplicadas en laboratorio y planta piloto para evaluar y predecir el comportamiento de diferentes unidades de mineral al ser mezcladas antes del procesamiento metalúrgico.

En términos operacionales, esta caracterización se basa en la ejecución de pruebas y análisis que permitan establecer la variabilidad mineralógica y metalúrgica de los materiales a mezclar, con el objetivo de optimizar su procesamiento. Se realiza a través de los siguientes pasos:

1. **Muestreo Representativo**

- Toma de muestras de distintas zonas del yacimiento.
- Preparación y homogenización de muestras para análisis.

2. **Análisis Mineralógico y Químico**

- Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF) para identificar la mineralogía.
- Análisis de distribución de elementos valiosos y contaminantes.

3. **Caracterización Física y Mecánica**

- Pruebas de dureza (Bond, DWT).

- Índices de abrasión y granulometría.

4. Pruebas Metalúrgicas

- Ensayos de flotación, lixiviación y cianuración.
- Pruebas de cinética de recuperación y consumo de reactivos.

5. Modelamiento y Simulación

- Integración de datos en modelos predictivos.
- Evaluación de estrategias de blending óptimas para garantizar estabilidad en la alimentación de la planta.

6. Validación en Planta Piloto o Industrial

- Comparación de resultados de pruebas con rendimiento real en la planta.
- Ajuste de parámetros operacionales para mejorar la recuperación y reducir costos.

2.2.3. Caracterización de las partículas

De acuerdo con Kelly (1990), la evaluación de las características de las partículas es un aspecto vital del procesamiento de minerales. En determinados casos puede ser simplemente porque el producto requiere un determinado tamaño, siendo muy importante el tamaño de partícula como medida de control para los procesos de separación (pág. 45).

Asimismo, Kelly (1990), afirma que el tamaño no es una medida adecuada de la liberación; las partículas procedentes de cualquier operación de reducción de tamaños tienen múltiples características, siendo imposible lograr una descripción precisa de determinado material, por lo que es necesario tener en cuenta:

- Tamaño de cada partícula.

- Tamaño promedio de las partículas.
- Forma de las partículas.
- Presencia de minerales en las partículas.
- Asociación de minerales en las partículas.

2.2.4. Distribución de tamaños

Debido a que normalmente es impráctico medir cada partícula en forma individual, el análisis de tamaños se efectúa dividiendo las partículas en un número de intervalos de tamaño adecuadamente estrecho. Los datos se presentan comúnmente en forma tabular, gráfica, ecuaciones matemáticas, siendo este ultimo relaciones empíricas que constituyen una simple descripción conveniente de datos (Kelly, 2009, pág. 46).

2.2.5. Determinación de las características de las partículas

En la tabla adjunta se puede distinguir cinco tipos e caracterización de la partícula, y las técnicas usadas; el tamizado es el método más usado para separar las partículas por tamaños porque permite otorgar una excelente información en tiempo breve.

Tabla 1 Métodos de análisis de partículas

Grupo 1	Medición directa de partículas <ul style="list-style-type: none">• Métodos microscópicos.• Métodos de sedimentación (gravitacional o centrífugos)• Métodos en corrientes de fluido.
Grupo 2	Fraccionamiento de una partícula <ul style="list-style-type: none">• Tamizado.• Elutriación (gravitacional o centrífugo)
Grupo 3	Determinación del área superficial por adsorción <ul style="list-style-type: none">• Métodos estáticos.• Métodos de flujo de gases.
Grupo 4	Estudios de permeabilidad <ul style="list-style-type: none">• Permeámetros dinámicos• Permeámetros estáticos.
Grupo 5	Análisis composicional <ul style="list-style-type: none">• Análisis químico por vía húmeda.• Difracción de rayos X.• Análisis por rayos X (DRX, FRX).

Nota: Adaptado de Kelly (2009).

2.2.6. Recuperación de elementos metálicos

Parámetro metalúrgico que expresa la eficiencia con la que un proceso de beneficio extrae y concentra estos metales desde el mineral original hasta un producto final comercializable, como concentrados o metales refinados.

Este concepto se basa en la relación entre la cantidad de metal recuperado en el producto final y la cantidad total presente en la alimentación, expresado generalmente en porcentaje:

La recuperación depende de varios factores, como:

- **Mineralogía del mineral:** Asociación de los metales con sulfuros (ej. galena para Pb, esfalerita para Zn, calcopirita para Cu) o con minerales oxidados.

- **Liberación y granulometría:** La adecuada liberación de los minerales valiosos en la molienda es clave para su posterior recuperación.
- **Proceso de concentración:** Técnicas como flotación, lixiviación o cianuración afectan la recuperación según las propiedades del mineral.
- **Factores operacionales:** pH, reactivos, tiempos de residencia y aireación en flotación, o agentes lixiviantes en procesos hidrometalúrgicos.

Una alta recuperación indica una eficiente separación de los metales valiosos de la ganga, optimizando el valor económico del proceso. Sin embargo, es importante equilibrar recuperación y calidad del concentrado para maximizar la rentabilidad de la operación minera.

2.3. Definición de términos básicos

- **Blending:** se refiere al proceso de mezclar minerales de diferentes calidades para obtener un producto final con las especificaciones deseadas. En el contexto minero, se utiliza para homogeneizar la composición del mineral que se alimenta a los procesos posteriores, como la molienda y la flotación, con el fin de mantener una calidad constante del producto final
- **Cinética de flotación:** La cinética de flotación se refiere a la velocidad y el mecanismo de la flotación de partículas de mineral en una celda de flotación. Este proceso es fundamental para entender cómo los reactivos afectan la flotación y cómo se puede optimizar la recuperación y la selectividad de los minerales de interés.
- **Molienda de minerales:** La molienda de minerales es el proceso de reducir el tamaño de partícula del mineral mediante la acción mecánica de equipos como molinos, con el fin de liberar los minerales valiosos de la ganga y

facilitar su posterior recuperación en etapas de concentración como la flotación.

- **Flotación Batch:** Es un tipo de flotación que se realiza por lotes, es decir, se alimenta una cierta cantidad de mineral a la celda de flotación y se obtiene un concentrado y un relave al final del proceso. Este tipo de flotación se utiliza comúnmente en pruebas metalúrgicas a pequeña escala.
- **Concentración:** Proceso de separar los minerales valiosos de la ganga, mediante la aplicación de diferentes métodos de concentración, como flotación, gravimetría, separación magnética, entre otros, para obtener un concentrado con minerales de interés.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco - 2024

2.4.2. Hipótesis específicas

H.E.1: La caracterización mineralógica y textural del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.

H.E.2: La determinación de las propiedades fisicoquímicas del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.

H.E.3: La determinación de los parámetros adecuados de flotación influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Independiente

- Caracterización geo metalúrgica del mineral blending

2.5.2. Variable dependiente

- Recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente: Caracterización geo metalúrgica del mineral blending	Implica el análisis detallado de la composición mineralógica, propiedades físicas, metalúrgicas y químicas de las distintas unidades de mineral que serán mezcladas.	Conjunto de procedimientos y metodologías aplicadas en laboratorio y planta piloto para evaluar y predecir el comportamiento de diferentes unidades de mineral al ser mezcladas antes del procesamiento metalúrgico	Mineralogía	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de minerales portadores de Ag, Pb, Zn y Cu. • Asociación mineralógica y grado de liberación.
			Propiedades fisicoquímicas del mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Peso específico. • Índice de Bond (BWI) para molienda.
			Parámetros operacionales de flotación	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo y concentración de colectores, espumantes y depresores. • pH • Tiempo de flotación
Dependiente: Recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn	Parámetro metalúrgico que expresa la eficiencia con la que un proceso de beneficio extrae y concentra estos metales desde el mineral original hasta un producto	Se define operacionalmente como el porcentaje de cada metal valioso que es extraído y transferido desde el mineral de alimentación hasta el concentrado final	% Recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn	<ul style="list-style-type: none"> • Balance metalúrgico
			Comparación entre labores mineras	<ul style="list-style-type: none"> • Composición mineralógica y química. • Comportamiento metalúrgico

	final comercializable, como concentrados o metales refinados	en un proceso metalúrgico.	Desarrollo de modelos predictivos	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado geo metalúrgico. • Pronóstico de recuperación en planta
--	--	----------------------------	-----------------------------------	---

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

Por el nivel de conocimientos la presente investigación es aplicada, la cual según Carrasco (2017), se caracteriza “por tener desarrollos prácticos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector” (p. 43).

En la presente investigación, a partir de las muestras minerales, obtendremos concentrados de plomo – plata, cobre – plata y zinc, existiendo problemas de mineralización.

3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, puesto que se manipuló intencionalmente la variable independiente, sin un grupo de control; además, los hechos se investigaron en un solo momento (Carrasco, 2017).

3.3. Métodos de investigación.

En la investigación se ha empleado el método inductivo - deductivo, el cual como señalan Palomino, Peña, Zeballos y Orizano (2015), “Va de lo general

a lo particular, se sustenta en principios generales, leyes o teorías, para deducir por medio del razonamiento lógico de suposiciones, la observación, registro de los datos antes y después” (p. 25).

3.4. Diseño de investigación.

El diseño de investigación aplicado al estudio es experimental, porque permite estudiar el efecto simultáneo de varias variables; en este caso la manipulación deliberada del blending, en el proceso de flotación con parámetros constantes (pH, reactivos, tiempo, etc.) para obtener un efecto (recuperación de elementos metálicos), (Bernal, 2016, pág. 146).

Causa → Efecto

$X \rightarrow Y$

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Cada año existe un programa de exploración y desarrollo de las labores mineras para determinar las reservas probadas y probables; las reservas probadas de las vetas en estudio son:

a) Características físicas del yacimiento:

Peso específico del mineral:	3,28
Peso específico de desmonte:	2,72
Factor de esponjamiento:	32,5%
Humedad:	6,5%

Tabla 2 Reservas de las vetas Pozo y Llacsacocha al 30 de junio de 2024

Tipo	Estructura	Ancho de veta (m)	Ag g/TM	% Cu	% Pb	% Zn	TMS
Ramal	Llacsacocha	2,28	168,07	0,31	0,93	3,31	425 344
	Pozo D	9,23	227,82	0,15	4,12	6,67	171 723
Total		5,76	197,95	0,23	2,53	4,99	597 067

Nota: adaptado de Ayala, Russvel, tesis UNCP.

Se ha considerado como población de estudio, al mineral que se acopia sistemáticamente de las vetas: pozo ramal zona norte labor SN 200B y Llacsacocha, zona norte nivel 250 TJ 251 por un periodo comprendido de 15 días.

3.5.2. Muestra

Para la obtención técnica de la cantidad representativa de muestras a obtener de las dos zonas (veta pozo y Llacsacocha) se siguió las recomendaciones expresadas en la Teoría de Pierre Gy, y es como sigue:

Factor mineralógico (m):

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

a = Fracción del mineral de interés.

r = Densidad del mineral de interés.

t = Densidad de la ganga

Factor de liberación (l):

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}} \text{ ecuación (2)}$$

Donde:

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

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

Constante de muestreo (C):

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m \text{ ecuación (3)}$$

Donde:

f = Factor de forma (0,5), excepto para minerales de oro es 0,2.

g = Factor de distribución de tamaño de partícula (g = 0,25)

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm³)

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \times d^3}{s^2} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo (g/cm³)

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

s = Medida del error estadístico, regularmente es 0,01

Reemplazando datos obtenidos en la ecuación (4), se tiene:

M = 159,08 kg de muestra (Ver anexo 3).

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Las técnicas de recolección de datos a emplearse en este estudio fueron el acopio de datos obtenidos antes, durante y después de la experimentación, la cual “se define como un proceso sistemático que va desde la obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información” (Carrasco, 2017, p. 282).

3.6.2. Instrumentos

De acuerdo con las técnicas empleadas en la investigación experimental, se aplicaron los siguientes instrumentos:

- Para la observación se aplicó la lista de cotejo.
- Para la toma de datos de las pruebas metalúrgicas se diseñó tablas para la incorporación en forma ordenada y coherente los resultados obtenidos, y luego sean resueltas de igual modo (Carrasco, 2017, p. 318).
- Para las pruebas experimentales se hizo uso del software molycop versión 2.0
- De mismo modo se desarrolló las siguientes actividades:

No	Actividad	Técnica	Instrumentos
1	Recolección de muestra	Cono y cuarteado	Palas, envases
2	Cálculo del peso específico	Método del picnómetro	Picnómetro Balanza
3	Cálculo de la dureza del mineral	Reconocimiento experimental	Escala de campo
4	Liberación del mineral	Molienda	Molino de bolas Balanza Balde
5	Reconocimiento mineralógico	Análisis microscópico	Microscopio de opacos Briquetas
6	Análisis cuantitativo	Análisis químico	Equipo de absorción atómica
7	Pruebas de flotación	Flotación	Celda de flotación experimental pH Colectores Espumantes

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

3.7.1. Validez de los instrumentos de investigación

La validez del presente estudio se refiere al grado en que los resultados obtenidos reflejan de manera precisa el comportamiento real del proceso de flotación de minerales polimetálicos (plata, plomo y zinc). Para garantizar esta validez, se consideraron los siguientes aspectos:

a. Validez interna

Se implementaron ensayos experimentales controlados en los cuales se modificaron únicamente las variables independientes seleccionadas (pH, dosificación de colectores, depresores, espumantes, tiempo de flotación y granulometría), manteniéndose constantes las demás condiciones operativas. Este diseño permitió atribuir los cambios en la recuperación metalúrgica y la ley de los concentrados a los factores evaluados. Asimismo, los resultados se plasmaron en balances metalúrgicos cerrados para cada ensayo, asegurando el control del error experimental ($\pm 2\%$).

b. Validez externa

Para comprobar la validez externa, se utilizaron muestras representativas provenientes de las vetas pozo y Llacsacocha, haciendo blending en función a la mineralogía. Los resultados obtenidos fueron contrastados con datos históricos de operación en planta, observándose comportamientos consistentes que permiten extrapolar los hallazgos a condiciones industriales similares.

c. Validez analítica

Los análisis químicos de cabeza, concentrado y relave fueron realizados en el laboratorio certificado de la empresa, por el método clásico y vía seca. La

empresa implementó los procedimientos de calibración de equipos e instrumentos de medición para asegurar la exactitud de los resultados. Los balances metalúrgicos muestran resultados confiables.

3.7.2. Confiabilidad

La confiabilidad del estudio hace referencia a la consistencia y estabilidad de los resultados obtenidos al repetir los experimentos bajo las mismas condiciones.

a) Repetibilidad

Se diseñó 8 pruebas experimentales, observándose desviaciones estándar menores al 2% en las recuperaciones de plomo, zinc y plata, lo cual indica una alta repetibilidad del proceso.

b) Reproducibilidad

Las pruebas fueron realizadas una cada día, utilizando el mismo equipo de flotación. Los resultados obtenidos son consistentes, evidenciando la reproducibilidad del procedimiento experimental.

c) Análisis estadístico

Se aplicó el estadístico “t” Student, a un nivel de confianza del 95%, para comparar los efectos de los factores estudiados sobre la recuperación de plata, plomo y zinc.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para efectuar el procesamiento de datos se desarrolló los siguientes pasos:

a) Obtención de la cantidad de muestra, aplicando la Teoría de Pierre Gy.

b) A partir de las variables y dimensiones preestablecidas, ordenar los datos obtenidos en los trabajos de campo y laboratorio y obtener respuestas a los indicadores.

- c) Definición de las herramientas estadísticas a utilizar en el procesamiento de datos, que para este caso se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para validar la confiabilidad de los instrumentos de investigación.
- d) Para el procesamiento de los datos, se utilizó organizó en tablas preestablecidas para luego utilizar los softwares adecuados.
- e) Obtención de los resultados se realizó según criterios previamente establecidos para cada propósito.

3.9. Tratamiento estadístico.

Utilizando el software EXCEL, Molycop 3.0 y el Minitab versión 19 se organizó los datos obtenidos en tablas y gráficos; las pruebas de flotación desarrolladas fueron organizadas durante 15 días, y previo a las pruebas se realizó una revisión bibliográfica a los estudios de mineralización de los cuerpos mineralizados.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Referido al conjunto de principios y normas que guían el desarrollo del estudio para garantizar que se realice de manera honesta, responsable y respetuosa con los participantes, el medio ambiente y la sociedad en general.

En la presente investigación, orientación ética implicó que los resultados obtenidos en las pruebas metalúrgicas son reales, los residuos químicos y relaves fueron depositados en el lugar adecuado, los métodos utilizados son reproducibles y aplicables y para la publicación de los resultados se solicitó el permiso correspondiente a la empresa minera.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Con el material acopiado, se procedió a realizar la trituración de las muestras de manera independientemente; luego de sucesivas etapas de cono y cuarteado se homogenizó la muestra para luego aplicar el blending; preparando las muestras para cada análisis (mineralógico, químico, granulométrico, fisicoquímico). Se determinó el work index comparativo, tiempo cero y tiempo diez minutos tanto al mineral como al cuarzo. Se determinó el tiempo de molienda para alcanzar 55% malla -200 ASTM, y se realizaron análisis de mallas valorado del mineral de cabeza y del relave de la flotación. Para cada ensayo se trabajó con un kilogramo de muestra, determinando la cinética de flotación, y recuperación de productos de flotación y realizar los balances metalúrgicos.

El informe geo-metalúrgico fue preparado, revisado, entregado, discutido y difundido.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Análisis geo metalúrgico

- Análisis químico

Tabla 3 Ensaye químico de la veta pozo

Elemento	Ag (gr/Tn)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)	As (%)	Mn (%)	Bi (%)	Sb (%)	PbOx (%)	ZnOx (%)
Contenido	194,20	0,07	0,10	1,04	3,98	0,09	0,21	0,02	0,02	0,01	0,02

Nota: Muestra obtenida luego de sucesivas etapas de homogenización y los ensayos químicos se realizó en los laboratorios de la empresa.

Tabla 4 Ensaye químico de la veta Llacsacocha

Elemento	Ag (gr/Tn)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)	As (%)	Mn (%)	Bi (%)	Sb (%)	PbOx (%)	ZnOx (%)
Contenido	348,88	0,12	0,57	1,72	11,13	0,16	13,64	0,11	0,15	0,15	0,21

Nota: Muestra obtenida luego de sucesivas etapas de homogenización y los ensayos químicos se realizó en los laboratorios de la empresa.

La empresa Pan American Silver, se caracteriza por tener como producto prioritario para la comercialización, concentrados de plata; por lo tanto, se ha realizado el blending en base al contenido de plata del siguiente modo.

$$Ley_{mix} = \frac{(Ton\ 1 \times Ley\ Ag\ 1) + (Ton\ 2 \times Ley\ Ag\ 2)}{Ton_1 + Ton_2} \text{ ecuación (1)}$$

Reemplazando en la ecuación 1:

$$Ley_{mix} = \frac{(2 \times 194,20) + (1 \times 348,88)}{2+1}$$

$$Ley_{mix} = 245,76 \text{ gr Ag/Ton}$$

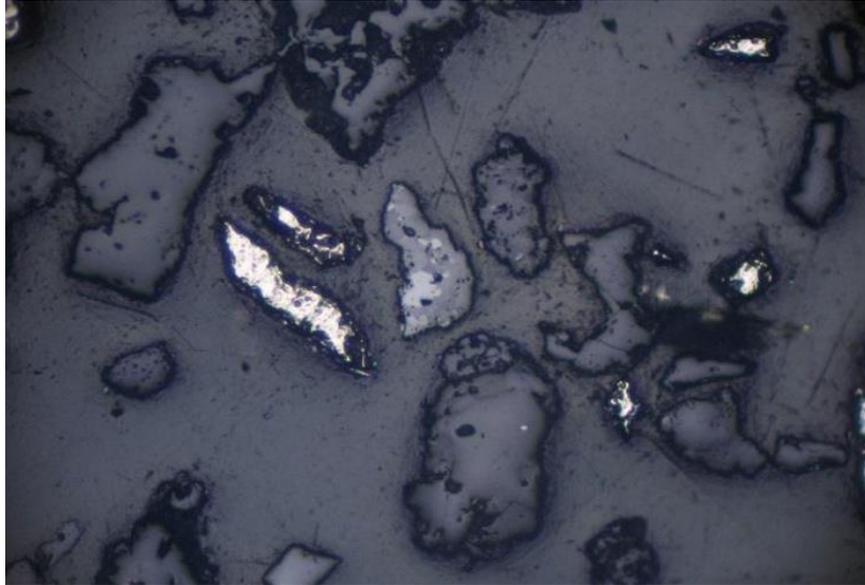
El blending será: **Veta pozo (2) + veta Llacsacocha (1)**

- Análisis mineralógico

Para el análisis de las pruebas microscópicas se utilizó el microscopio metalúrgico de luz transmitida y reflejada Karl Zeiss – A13.2263; se

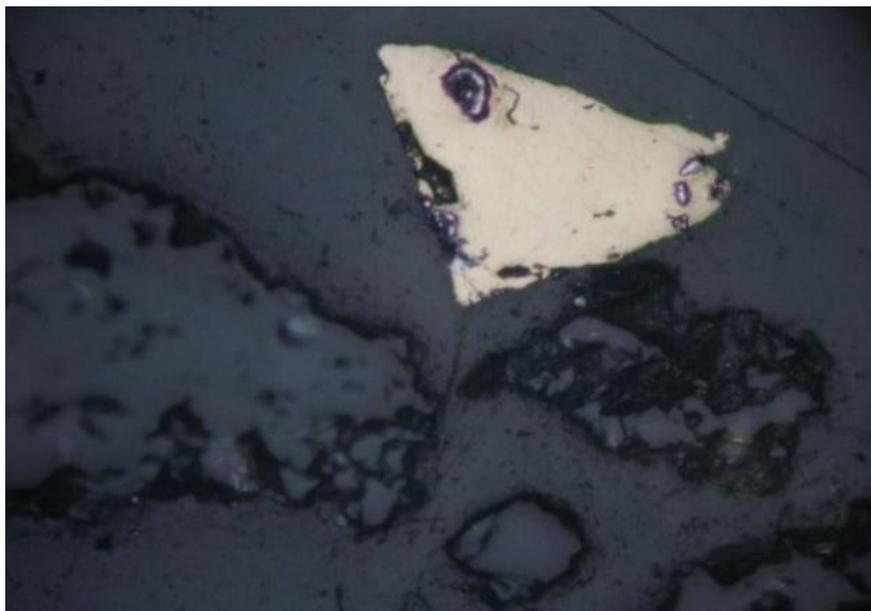
preparó las briquetas con resina de bálsamo de Canadá por su alta consistencia a las sucesivas etapas de pulido.

Figura 2 Microfotografía del mineral de la veta pozo a 100X



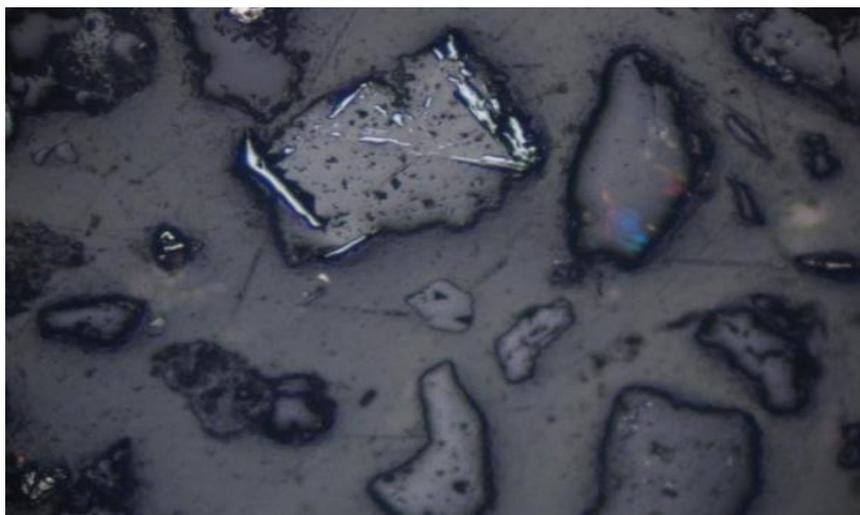
Nota: Se observa sulfosales de plata (SFAg) en forma gris brillante, con hábito fibroso en forma notoria, calcopirita (cp) con inclusiones de goethita sobre la superficie, partículas de galena (Gn) liberadas con una granulometría menor debido a la dureza que presenta, pirita en forma masiva (py).

Figura 3 Microfotografía del mineral de la veta Llacsacocha a 100X



Nota: Presencia de pirita (py) muy notorio sobre las arcillas y calizas

Figura 4 Microfotografía del mineral de la veta Llacsacocha a 100X



Nota: Se distingue trazas de pirita (py) y calcopirita (cpy) a 100X.

4.2.2. Pruebas fisicoquímicas del mineral

a. Análisis granulométrico

Se realizó 4 pruebas de molienda del blending, a diferentes tiempos para evaluar el tiempo adecuado de liberación de las especies valiosas, con los siguientes resultados:

Tabla 5 Análisis granulométrico del blending sin molienda

Malla	µm	Peso	% peso	Ac+	Ac-
10	2000	173,78	17,38	17,38	82,62
12	1680	36,56	3,66	21,04	78,97
16	1190	107,24	10,72	31,76	68,24
20	841	70,50	7,05	38,81	61,19
30	595	63,84	6,38	45,19	54,81
40	400	60,52	6,05	51,25	48,76
50	297	49,32	4,93	56,18	43,82
70	210	47,74	4,77	60,95	39,05
100	149	44,12	4,41	65,36	34,64
140	105	38,50	3,85	69,21	30,79
200	74	34,10	3,41	72,62	27,38
270	53	31,42	3,14	75,77	24,24
325	45	17,42	1,74	77,51	22,49
400	37	6,12	0,61	78,12	21,88
-400		218,82	21,88	100,00	0,00
Total		1000	100		

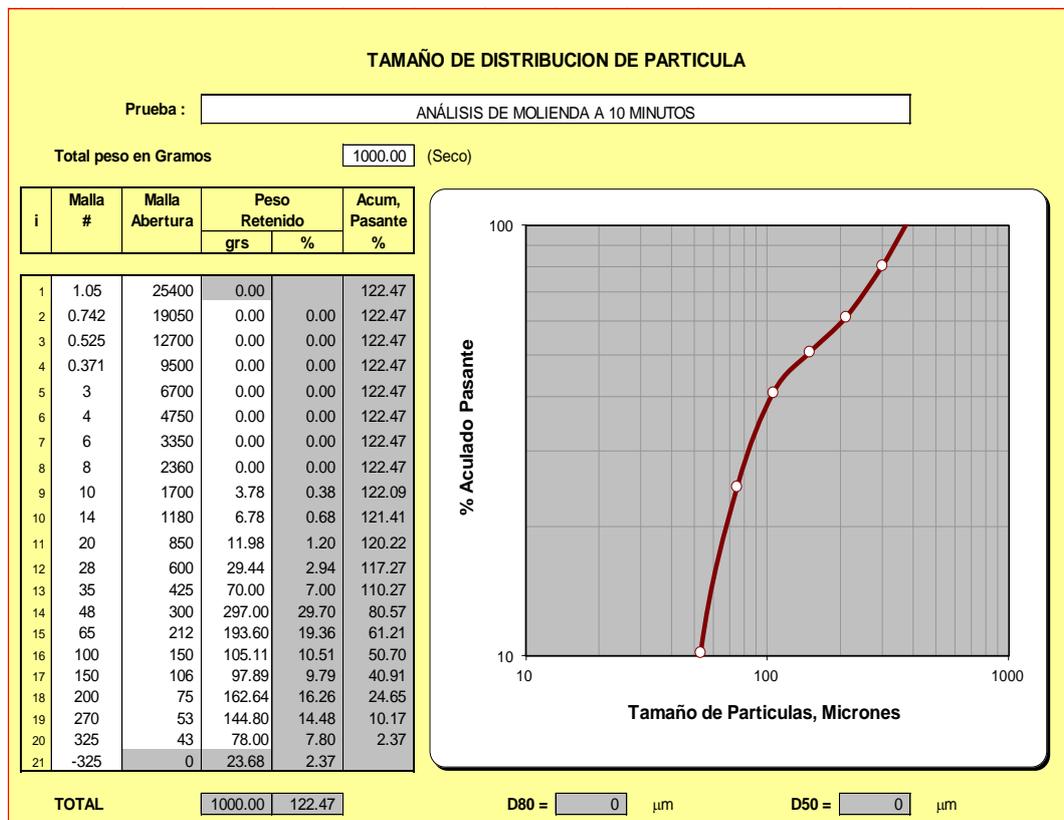
Nota: Se observa que el 80% del mineral tiene un diámetro superior a 2000 µm

Tabla 6 Análisis granulométrico del blending con 10 minutos de molienda

Malla	µm	Peso	% peso	Ac+	Ac-
10	2000	3,78	0,38	17,38	99,62
12	1680	1,70	0,17	17,55	99,45
16	1190	6,78	0,68	18,23	98,77
20	841	11,98	1,20	19,43	97,58
30	595	29,44	2,94	22,37	94,63
40	400	70,00	7,00	29,37	87,63
50	297	63,91	6,39	35,76	81,24
70	210	193,60	19,36	55,12	61,88
100	149	105,11	10,51	65,63	51,37
140	105	97,89	9,79	75,42	41,58
200	74	162,64	16,26	91,69	25,32
270	53	144,80	14,48	106,17	10,84
325	45	78,00	7,80	113,97	3,04
400	37	23,68	2,37	116,33	0,67
-400		6,69	0,67	117,00	0,00
Total		1000,00	100,00		

Nota: a 10 minutos de molienda se observa que el 80% del blending tiene un diámetro medio de 280 µm (malla 50), requiriendo mayor tiempo de molienda.

Figura 5 Análisis granulométrico de molienda de mineral a 10 minutos



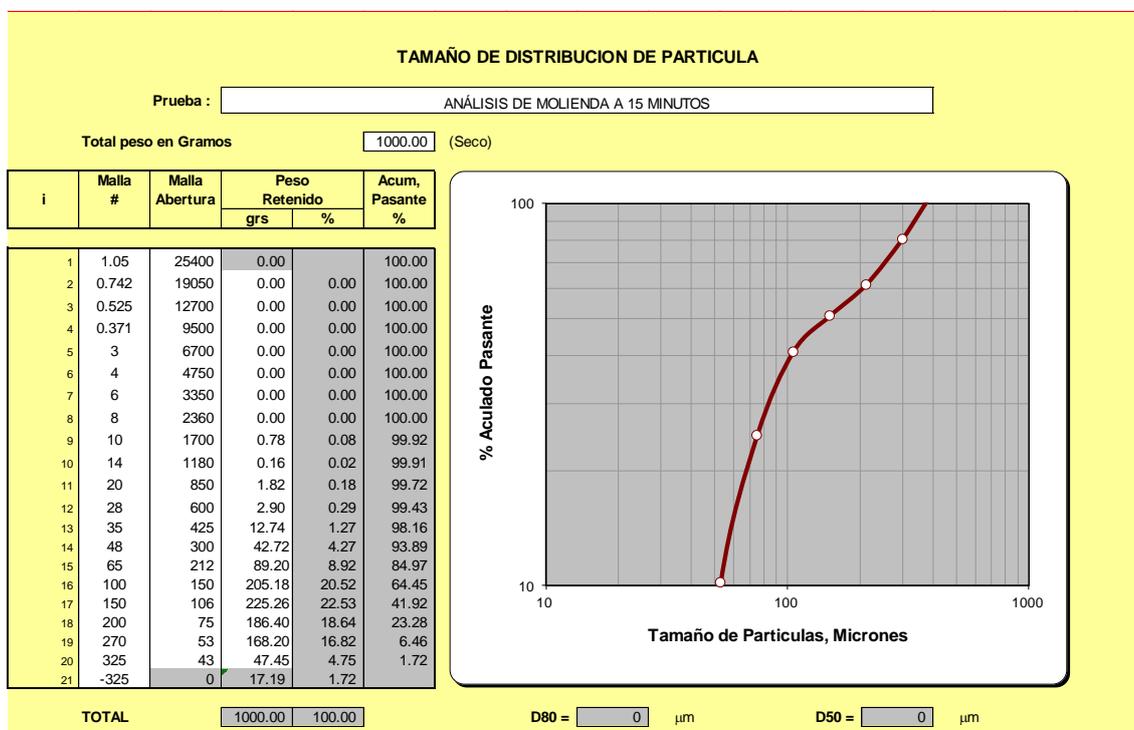
Nota: Plantilla utilizada del Molycop 3.0

Tabla 7 Análisis granulométrico del blending a 15 minutos de molienda

Malla	µm	Peso	% peso	Ac+	Ac-
10	2000	0,78	0,08	0,08	99,92
12	1680	0,16	0,02	0,10	99,91
16	1190	0,78	0,08	0,17	99,83
20	841	1,04	0,10	0,28	99,72
30	595	2,90	0,29	0,57	99,43
40	400	12,74	1,27	1,84	98,16
50	297	42,72	4,27	6,11	93,89
70	210	89,20	8,92	15,03	84,97
100	149	205,18	20,52	35,55	64,45
140	105	225,26	22,53	58,08	41,92
200	74	186,40	18,64	76,72	23,28
270	53	168,20	16,82	93,54	6,46
325	45	47,45	4,75	98,28	1,72
400	37	13,19	1,32	99,60	0,40
-400		4,00	0,40	100,00	0,00
Total		1000	100		

Nota: a 15 minutos de molienda se observa que el 80% del blending tiene un diámetro medio de 194 µm (malla 70), requiriendo mayor tiempo de molienda.

Figura 6 Análisis granulométrico de molienda de mineral a 15 minutos



Nota: Plantilla utilizada del Molycop 3.0

Tabla 8 Análisis granulométrico del blending a 20 minutos de molienda

Malla	μm	Peso	% peso	Ac+	Ac-
10	2000	0,38	0,04	0,04	99,96
12	1680	0,04	0,00	0,04	99,96
16	1190	0,14	0,01	0,06	99,94
20	841	0,3	0,03	0,09	99,91
30	595	0,4	0,04	0,13	99,87
40	400	2,66	0,27	0,39	99,61
50	297	10,76	1,08	1,47	98,53
70	210	52,46	5,25	6,72	93,29
100	149	131,42	13,14	19,86	80,14
140	105	222,14	22,21	42,07	57,93
200	74	226,46	22,65	64,72	35,28
270	53	218,02	21,80	86,52	13,48
325	45	104,04	10,40	96,92	3,08
400	37	26,78	2,68	99,60	0,40
-400		4,00	0,40	100,00	0,00
Total		1000	100		

Nota: a 20 minutos de molienda se observa que el 80% del blending tiene un diámetro medio de 149 μm (malla 100), observado al microscopio se tiene minerales de plata liberados.

Figura 7 Análisis granulométrico de molienda de mineral a 20 minutos



Nota: Plantilla utilizada del Molycop 3.0

b. Work Index

El work Index se calculó con la ecuación de Bond:

$$W_i = \frac{10 \cdot k}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10 \cdot k}{\sqrt{F_{80}}} \text{ Ecuación (2)}$$

Donde:

$$W_i = \text{Índice de trabajo de Bond} \left(\frac{kWh}{ton} \text{ corta} \right)$$

P_{80} = Tamaño de partícula del 80% pasante del producto (μ)

F_{80} = Tamaño de partícula del 80% pasante de alimento (μ)

k = Factor de corrección dependiendo del molino experimental

Comparación con el Work Index de referencia

Para determinar la eficiencia del molino experimental, se compara el W_i obtenido con valores típicos de referencia de minerales similares.

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 Kw-hr/Tc. Para ambos minerales se determinó el tamaño de alimentación promedio F_{80} y el tamaño del producto P_{80} luego de la molienda, con la siguiente ecuación:

$$13,6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ cuarzo}}} \right) = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ mineral}}} \right) \text{ Ecuación (3)}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$W_i = 11,30 \text{ Kw-Hr/TM (Dureza media del mineral).}$$

4.2.3. Parámetros operacionales de flotación

A continuación, se presenta las pruebas experimentales realizadas tomando como antecedentes los insumos que frecuentemente se utiliza en la planta concentradora y es de interés para la empresa evaluar el comportamiento metalúrgico.

Tabla 9 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 1

		Prueba de Flotación - Estándar U. A.							
Fecha:	27/10/2024		Peso de Muestra:	1000 gramos					
Muestra:	Blending		Molienda:	20 minutos					
Cliente:	Operaciones Planta		Pasante (P80):	micrones					
Responsable:	Paul Morales		N° Prueba:	FT-1780					
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico		Sólidos:	66%					
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	5,0	8,0		600	100,0		1200	8,0	3
Ro bk Pb - Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		150,0		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	18,0	21,0		1655	150	200			

Tabla 10 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 1

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	193,68	0,07	0,09	1,05	3,99	1937	0,70	0,90	10,5	39,9	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	9,00	0,90	15110,30	4,85	9,53	13,16	25,90	1360	0,44	0,86	1,18	2,33	70,22	62,36	95,30	11,28	5,84
Conc. Zn	14,10	1,41	1286,40	0,48	0,23	57,67	2,21	181	0,07	0,03	8,13	0,31	9,37	9,67	3,60	77,44	0,78
Relave	976,90	97,69	40,08	0,02	0,00	0,12	3,81	392	0,20	0,01	1,17	37,22	20,22	27,91	1,09	11,16	93,28

Tabla 11 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 2

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	28/10/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Blending			Molienda:	20 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Paul Morales			N° Prueba:	FT-1781				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	8,0	10,0		600	150		1200	8,0	3
Ro bk Pb - Ag	4,0							8,5	3
Sev bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		150,0		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Sev Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	20,0	23,0		1655	150	200			

Tabla 12 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 2

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	348,29	0,12	1,16	1,60	10,54	3482,9	1,20	11,60	16,00	105,4	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	22,40	2,24	9788,68	3,33	48,80	2,11	4,11	2192,7	0,75	10,93	0,47	0,92	62,96	62,16	94,23	2,95	0,87
Conc. Zn	36,00	3,60	447,61	0,53	1,80	25,72	8,33	161	0,19	0,65	9,26	3,00	4,63	15,90	5,59	57,87	2,85
Relave	941,60	94,16	120,24	0,11	0,01	0,67	10,78	1132,2	1,04	0,05	6,31	101,5	32,51	86,31	0,41	39,43	96,30

Tabla 13 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 3

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	29/10/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Blending			Molienda:	20 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Paul Morales			N° Prueba:	FT-1782				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T					Parámetros de flotación			
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	10,0	10,0		600	150		1200	8,0	3
Ro bk Pb -Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		200		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	23,0	23,0		1655	150	200			

Tabla 14 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 3

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	160,02	0,49	1,48	3,61	9,98	1600,2	4,90	14,80	36,1	99,8	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	24,0	2,40	5647,33	16,88	53,40	4,06	3,76	1355,66	4,05	12,82	0,97	0,90	84,70	82,68	86,59	2,70	0,90
Conc. Zn	58,3	5,83	193,28	0,49	2,46	49,45	7,17	112,82	0,29	1,43	28,83	4,18	7,04	5,83	9,69	79,86	4,19
Relave	917,7	91,77	17,28	0,06	0,06	0,65	10,28	158,88	0,55	0,55	5,97	94,34	9,91	11,24	3,72	16,52	94,53

Tabla 15 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 4

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	2/11/2024				Peso de Muestra:	1000 gramos			
Muestra:	Blending				Molienda:	20 minutos			
Cliente:	Operaciones Planta				Pasante (P80):	micrones			
Responsable:	Paul Morales				N° Prueba:	FT-1783			
Departament:	Laboratorio Metalúrgico				Sólidos:	66%			
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	12,0	10,0		600	150		1200	8,0	3
Ro bk Pb -Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		200		10,5	3
Ro Zn	6,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	26,0	23,0		1655	150	200			

Tabla 16 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 4

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	174,63	0,47	1,28	3,72	9,93	1746,3	4,70	12,80	37,2	99,3	100	100	100	100	
Conc. Pb - Ag	32,1	3,21	4475	12,15	36,88	4,67	3,92	1436,48	3,90	11,84	1,50	1,26	82,26	82,98	92,49	4,03	1,27
Conc. Zn	62,9	6,29	171,55	0,44	0,48	47,62	7,00	107,9	0,28	0,30	29,95	4,40	6,18	5,89	2,36	80,52	4,4,3
Relave	905,0	90,5	22,31	0,06	0,07	0,64	10,23	201,9	0,54	0,63	5,79	92,58	11,56	11,55	4,95	15,57	93,23

Tabla 17 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 5

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	3/11/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Blending			Molienda:	20 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Paul Morales			N° Prueba:	FT-1784				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	15,0	10,0		600	150		1200	8,0	3
Ro bk Pb -Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		200		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	28,0	23,0		1655	150	200			

Tabla 18 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 5

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	170,47	0,47	1,13	3,58	10,18	1704,7	4,70	11,30	35,8	101,8	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	72,1	7,21	1812,6	5,55	13,78	9,07	18,55	1306,8	4,00	9,94	6,54	13,37	76,66	85,14	87,92	18,27	13,14
Conc. Zn	105,5	10,55	18,43	1,28	0,67	22,64	14,38	191,4	1,35	0,71	23,89	15,17	11,23	28,73	6,26	66,72	14,90
Relave	822,6	82,26	26,34	0,07	0,08	0,70	8,96	216,6	0,58	0,66	5,76	73,70	12,71	12,25	5,82	16,08	72,40

Tabla 19 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 6

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	4/11/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Blending			Molienda:	20 minutos				
Ciente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Paul Morales			N° Prueba:	FT-1785				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	15,0	10,0		600	150		1200	8,0	3
Ro bk Pb - Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		200		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	4,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	29,0	23,0		1655	150	200			

Tabla 20 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 6

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	138,24	0,41	1,34	2,51	12,72	1382,4	4,10	13,40	25,1	127,2	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	43,6	4,36	2024,50	6,46	20,74	12,86	15,97	883	2,82	9,04	5,61	6,96	63,85	68,70	67,48	22,34	5,47
Conc. Zn	84,0	8,40	392,4	0,80	3,94	17,20	14,48	330	0,67	3,31	14,45	12,16	23,84	16,39	24,70	57,56	9,56
Relave	872,4	87,24	19,5	0,07	0,12	0,58	12,40	170	0,61	1,05	5,06	10,81	12,31	14,89	7,81	20,16	85,05

Tabla 21 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 7

Prueba de Flotación - Estándar U. A.										
Fecha:	5/11/2024					Peso de Muestra:	1000 gramos			
Muestra:	Blending					Molienda:	20 minutos			
Cliente:	Operaciones Planta					Pasante (P80):	micrones			
Responsable:	Paul Morales					N° Prueba:	FT-1786			
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico					Sólidos:	66%			
Condiciones										
Etapas de Flotación	Reactivos g/T					Parámetros de flotación				
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)	
Molienda			30				33	6,5	16	
Acondicio	15,0	10,0		600	150		1200	8,0	5	
Ro bk Pb - Ag	5,0							8,5	3	
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2	
Cl bk Pb - Ag								8,5	4	
Acondicio Zn				1055		200		10,5	3	
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3	
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2	
Cl Zn								11,0	4	
Total	28,0	23,0		1655	150	200				

Tabla 22 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 7

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	135,57	0,33	1,26	2,58	11,43	1355,7	3,30	12,60	25,8	114,3	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	26,1	2,61	3804	10,20	40,13	3,51	8,75	993	2,66	10,47	0,92	2,28	73,23	80,67	83,13	3,55	2,00
Conc. Zn	44,0	4,4	361,51	0,62	0,60	48,51	7,11	139	0,27	0,26	21,34	3,13	10,27	8,27	2,10	82,73	2,74
Relave	929,9	92,99	24,06	0,04	0,20	0,37	11,70	224	0,37	1,86	3,44	108,8	16,50	11,27	14,76	13,34	95,19

Tabla 23 Parámetros operacionales de la prueba de flotación 8

Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	6/11/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Blending			Molienda:	20 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Paul Morales			N° Prueba:	FT-1787				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	15,0	10,0		600	150		1200	8,0	8
Ro bk Pb -Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		200		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	28,0	23,0		1655	150	200			

Tabla 24 Balance metalúrgico de la prueba de flotación 8

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	136,60	0,32	1,24	2,87	11,72	1366	3,20	12,40	28,7	117,2	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	26,7	2,67	4173,6	3,22	41,86	5,85	5,93	1114,35	0,86	11,18	1,56	1,58	81,58	26,87	90,13	5,44	1,35
Conc. Zn	50,4	5,04	129,92	0,50	0,41	47,40	3,93	65,47	0,25	0,21	23,89	1,98	4,79	7,88	1,67	83,24	1,69
Relave	922,90	92,29	20,17	0,05	0,11	0,33	12,31	186,15	0,46	1,02	3,05	113,61	13,63	14,42	8,19	10,61	96,94

4.2.4. Comparación de las recuperaciones

En la siguiente tabla se resume las recuperaciones de los tres elementos propuestos a recuperar: plata, plomo y zinc y determinar cuál es el grado de asociación entre elementos bajo la mineralización que presenta de su origen.

Tabla 25 Comparación de resultados obtenidos

Prueba	Recuperación (%)		
	Ag	Pb	Zn
1	70,22	95,30	77,44
2	62,96	94,23	57,87
3	84,70	86,59	79,86
4	82,26	92,49	80,52
5	76,66	87,92	66,72
6	63,85	67,48	57,56
7	73,23	83,13	82,73
8	81,58	90,13	83,24

Comentario: Observando los resultados de las pruebas de flotación, concluimos que existe una relación directa entre el nivel de recuperación y la mineralogía. Las pruebas 3, 4 y 8 tienen las mayores recuperaciones en los tres elementos: plata, plomo y zinc, lo que contrasta con la prueba 6 donde se tiene las recuperaciones mas bajas en los tres elementos. Indica que la recuperación siempre será similar para los elementos de interés.

Las muestras seleccionadas de las vetas pozo y Llacsacocha y observadas directamente permiten reconocer que la mineralogía está compuesta del siguiente modo:

- Mineral de cobre: tetraedrita ($3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$); calcopirita (CuFeS_2).
- Mineral de plata: tetraedrita argentifera; freibergita ($3\text{Cu}_2\text{SSb}_2\text{S}_3\text{Ag}$).
- Mineral de plomo: Galena (PbS).
- Mineral de zinc: Esfalerita (ZnS); marmatita (ZnSFe).

- Ganga: Pirita (FeS_2); Rodocrosita (MnCO_3); Roderita (MnSiO_3); Cuarzo (SiO_2).

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis general: La caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco - 2024

i. Formular la hipótesis de investigación

- H_0 : La caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) no influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024 (**hipótesis nula**).
- H_a : La caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) influye significativamente en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024 (**hipótesis alterna**).

ii. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$

iii. Estadístico de la prueba: t de Student y significancia p – valor $< 0,05$

Muestra	N	Media	Desviación Estandar	Error Estándar de la media
1	4	46,29	3,39	1,7
2	4	52,59	2,57	1,3

Diferencia = $\mu (1) - \mu (2)$

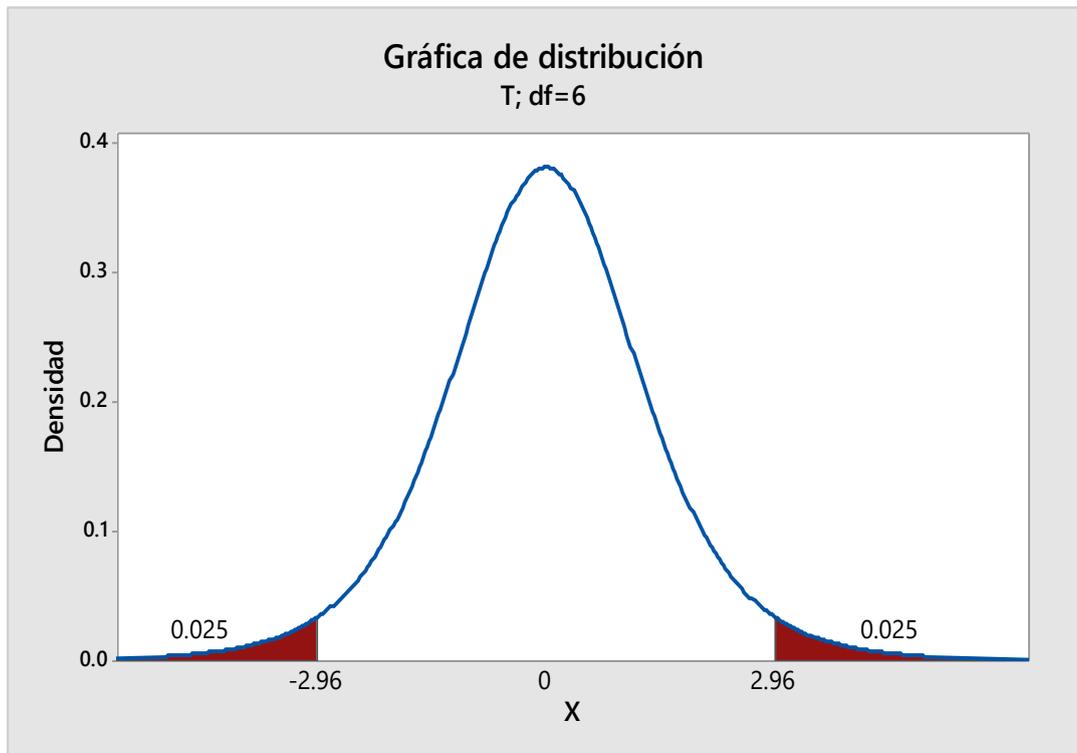
Estimación de la diferencia: -6.30

IC de 95% para la diferencia: (-11.50; -1.10)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. \neq): Valor T = -2.96 Valor p = 0.025 GL = 6

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 3.0081

Figura 8 Distribución “t” Student



Nota: Gráfica obtenida del Minitab versión 19.

iv. Decisión

Siendo el P valor = 0,025 menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para afirmar que el desarrollo de las pruebas de flotación experimental a los silicatos asociados a sulfuros polimetálicos influye significativamente en la recuperación de oro, toda vez que el estadístico t de Student es - 2,96

En cuanto a las hipótesis específicas, tratándose de una declaración literal como son caracterización de los minerales extraídos de las vetas pozo y Llacsacocha no se considera el tratamiento estadístico; pero por presentarse un problema metalúrgico, se concluye que hay evidencia para rechazar la hipótesis

nula y afirmar que la mineralogía del blending si influye en la flotación de sulfuros de plata, plomo y zinc.

4.4. Discusión de resultados

Carvo (2021) concluye que las muestras obtenidas de la veta Farallón, tiene los siguientes ensayos químicos: Ag - 146,14 gr/T, Cu - 0,43%, PbS - 1,85%, PbO - 24,32%, Zn - 7,57%, Fe - 21,59% y Mn - 5,22%; el reconocimiento microscópico muestra en promedio partículas mixtas de calcopirita –cobres grises (cp/CuGRs), esfalerita – galena(ef/gn), pirita (py), calcopirita (cp), esfalerita (ef), cobres grises (CuGRs), galena (gn) y ganga (GGs). El proceso de molienda requiere un Work Index de 12,29 Kw-h/TC, las pruebas de flotación del bulk muestran recuperaciones de: Pb - 93,7%, Ag – 78,8% y Zn – 74,6% y la mineralización se encuentra dentro de los complejos y su procesamiento requiere de un blending.

Los resultados de las pruebas metalúrgicas realizados a las muestras obtenidas de las vetas pozo y Llacsacocha, muestran una mineralogía de plata compuesto de tetraedrita argentífera, argentita y freibergita, calcopirita, pirita, galena, blenda, marmatita, cuarzo, rodocrosita y la recuperación de los principales minerales de plata, plomo y zinc, tiene una relación directa, tal como se muestra en las pruebas experimentales 3, 4 y 8 (Ag – 81,58%, Pb – 90,13 y Zn – 83,24), donde las recuperaciones superan el 80%, lo que contrasta con la prueba experimental 6, donde la recuperación para los tres minerales es baja (Ag – 63,85; Pb – 67,48 y Zn – 57,56), indica que los enlaces atómicos son internos entre la plata, plomo, zinc y cobre.

Morales (2022) expone que las muestras obtenidas de las vetas del nivel 250 Zona Norte, tienen las siguientes leyes en promedio: Ag – 193,68 gr/T, Cu –

0,07%, Pb – 0,10% y Zn – 1,05%; el reconocimiento microscópico muestra asociaciones de sulfosales de plata - galena (SFAg – PbS), sulfosales de plata - pirita (SFAg – Py), esfalerita – pirita (sf/py) y al concluir las pruebas de flotación se tiene que la ley de plomo es 36,77% y la recuperación es 68,92 siendo deficiente; el concentrado de cobre es 29,32% y una recuperación de 70,41% debido a la asociación Pb/Cu y el concentrado de zinc es 63,26% de Zn, recuperación de 89,54%, siendo muy buena.

CONCLUSIONES

Caracterizar a los minerales, otorga las pautas básicas para seguir durante el proceso de concentración; el reconocimiento microscópico de las muestras observadas demostró la presencia de sulfosales de plata (SFAg), asociaciones de pirita – calcopirita (py -cpy), galena (Gn), blenda y marmatita, arcillas y calizas y cuarzo (Q). Luego de realizar los ensayos químicos se determinó que el blending debe tener una relación de: veta pozo (2) a veta Llacsacocha (1).

Los análisis granulométricos al blending, sugieren que a 20 minutos de molienda se observa que el 80% de las muestras en estudio tienen un diámetro menor a 100 μm (malla 150), donde la plata principal mineral a concentrar se encuentra liberado. El índice de trabajo calculado es 11,30 Kw-hr/TM, debido a la presencia de cuarzo, piritas y calcopirita quienes tienen dureza mayor a 4,5.

Los parámetros operacionales aplicados en la flotación experimental son: molienda: 20 minutos; de acuerdo con el rol específico del proceso de flotación se utilizó el reactivo H-150 como colector principal de los minerales de plata; la sinergia Z-6/Z-11 como colector de plomo y zinc, para regular el pH se utilizó CaO, los reactivos modificadores de superficie aplicados fueron: CuSO_4 y ZnSO_4 , NaCN para deprimir las piritas; MIBC como espumante, todos en la proporción adecuada. Los resultados obtenidos en las pruebas 3,4 y 8 superan el 80% de recuperación en los minerales de plata, plomo y zinc, también se observa una disminución de recuperación de plomo, plata y zinc en la prueba 6; demuestra que la mineralogía de la plata está **asociada a sulfuros finamente diseminados**.

RECOMENDACIONES

Continuar con mayores estudios de microscopía electrónica de barrido (MEB) para controlar el tiempo de molienda y el grado de liberación adecuado y de este modo obtener altas recuperaciones de plata.

Seguir desarrollando pruebas de granulometría para determinar el grado de liberación o asociación de los minerales de plata, como también determinar la cinética de flotación de la flotación.

Realizar pruebas de flotación experimental continua, para optimizar los parámetros de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, J. (2011). Flotación de minerales. Lima: JFSC.
- Asilio Apaza, C. D. (2022). Evaluación de un circuito de recuperación de plomo y zinc mediante gravimetría y flotación. Arequipa - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Azañero, A. (1984). Flotación del mineral de mina San Gregorio. Lima: Banco Minero.
- Azañero, A. (1999). Modelos matemáticos para simular flotación industrial a partir de pruebas de laboratorio. Instituto de Investigación de la FIGMMCG - UNMSM, 69 - 83.
- Azañero, A. (2002). Concentración y flotación de minerales. Lima: UNMSM.
- Carvo Cuellar, K. E., & Aguirre Galindo, B. (2021). Caracterización geometalúrgica del mineral veta farallon NV 180 y los parámetros de flotación de minerales polimetálicos en la Compañía Minera Huarón S.A. Huancayo - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Castro, S. (2006). Flotación: Fundamentos y Aplicaciones. Concepción: Universidad de Concepción.
- Dana, E. (1981). Tratado de mineralogía. México: Editorial Continental.
- Dana, J. (1992). Mineralogía de Dana. Madrid - España: Reverte.
- Guzman, L. (2015). Flotación de minerales. Lima: Molycop Adesur.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). Metodología de la investigación. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Kelly, E. &. (1990). Introducción al procesamiento de minerales. México: Editorial Limusa S.A. de C.V.

- King, R. (2001). *Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems*. New Delhi: Butterworth Heinemann.
- Liliana, M. C. (2019). *Evaluación metalúrgica en el circuito de flotación para la recuperación de cobre, plomo y zinc en la planta concentradora Iscaycruz – Oyon, Lima - 2019. Pasco - 2019: Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.*
- Medina, O. (1976). *Tecnología de la flotación*. Lima: UNI.
- Morales, M. (2021). *Caracterización geometalúrgica del mineral existente en las vetas de la zona norte para determinar su comportamiento metalúrgico - unidad minera Huarón, 2021. Pasco: Repositorio UNDAC.*
- N.Kerlinger , F. (1975). *Investigación del comportamiento: técnicas y metodología*. Mexico: Nueva Editorial Interamericana.
- Pavez, O. (2010). *Apuntes de concentración de minerales I. Atacama: Universidad de Atacama.*
- Peñuelas, M. A. (2010). *Métodos de investigación*. Mexico: D.R. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Rio, J. (1982). *Método de producción y análisis físico químico del plomo y sus óxidos*. Lima: UNMSM.
- Río, J. (1982). *Método de producción y análisis físico químico del plomo y sus óxidos*. Lima: UNMSM.
- Rivera, G. (1960). *Mineralogía descriptiva*. Lima: UNMSM.
- Salazar, A. (2017). *Caracterización geometalúrgica del mineral existente en las vetas del sector La López en Ponce Enriquez, para optimizar el beneficio de minerales en la planta de procesamiento de la empresa Minereicis S.A. Ponce Enriquez: Repositorio Universidad Politécnica de Ecuador.*

- Sampieri, R. H. (2010). *Metología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill.
- Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Tabares, L. (2020). *Caracterización mineralógica y química orientada a geometalurgia de los depósitos auríferos del distrito minero de La Llamada. Nariño - Colombia*: Repositorio UNC.
- Tamayo y Tamayo, M. (2000). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa.
- Wills, B. &. (2006). *Mineral Processing Technology*. Quensland: Elsevier Science & Technology Books.
- Wills, B. (1991). *Mineral processing technology*. México: Pergamon Press.

ANEXOS

ANEXO 1: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Figura 9 Plantilla para determinar el work Index

Moly-Cop Tools™ (Version 3.0)

BOND'S LAW APPLICATION

Estimation of the Operating Work Index from Plant Data

Remarks:

GRINDING TASK :

Ore Work Index, kWh/ton (metric)	13.00	Specific Energy, kWh/ton	9.30
Feed Size, F80, microns	9795	Net Power Available, kW	7769
Product Size, P80, microns	150.0	Number of Mills for the Task	2
Total Plant Throughput, ton/hr	835.30	Net kW / Mill	3885

MILL DIMENSIONS AND OPERATING CONDITIONS :

Eff. Diameter ft	Eff. Length ft	Mill Speed % Critical	Charge Filling, %	Balls Filling, %	Interstitial Slurry Filling, %	Lift Angle, (°)	Mill Power, kW	
18.50	22.00	72.00	38.00	38.00	100.00	35.00	3348	Balls
							0	Overfilling
							536	Slurry
							3885	Net Total
							10.0	% Losses
							4316	Gross Total

L/D	1.189	rpm	12.82
-----	-------	-----	-------

% Solids in the Mill	72.00	Charge		
Ore Density, ton/m3	2.80	Volume, m3	Ball Charge	Interstitial
Slurry Density, ton/m3	1.86		296.48	47.48
Balls Density, ton/m3	7.75			0.00

Mill Charge Weight, tons				Apparent Density ton/m3
Ball	Slurry	Interstitial	above Balls	
63.76	296.48	47.48	0.00	5.395

Nota: Formato desarrollado en Excel.

Figura 10 Plantilla para determinar el análisis granulométrico

TAMAÑO DE DISTRIBUCION DE PARTICULA

Prueba :

Total peso en Gramos (Seco)

i	Malla #	Malla Abertura	Peso Retenido		Acum. Pasante %
			grs	%	
1	1.05	25400	0.00		122.47
2	0.742	19050	0.00	0.00	122.47
3	0.525	12700	0.00	0.00	122.47
4	0.371	9500	0.00	0.00	122.47
5	3	6700	0.00	0.00	122.47
6	4	4750	0.00	0.00	122.47
7	6	3350	0.00	0.00	122.47
8	8	2360	0.00	0.00	122.47
9	10	1700	3.78	0.38	122.09
10	14	1180	6.78	0.68	121.41
11	20	850	11.98	1.20	120.22
12	28	600	29.44	2.94	117.27
13	35	425	70.00	7.00	110.27
14	48	300	297.00	29.70	80.57
15	65	212	193.60	19.36	61.21
16	100	150	105.11	10.51	50.70
17	150	106	97.89	9.79	40.91
18	200	75	162.64	16.26	24.65
19	270	53	144.80	14.48	10.17
20	325	43	78.00	7.80	2.37
21	-325	0	23.68	2.37	

TOTAL	1000.00	122.47	
--------------	---------	--------	--

D80 = μm

D50 = μm

Tamaño de Partículas, Micrones

Figura 11 Tabla estándar de pruebas de flotación

 Prueba de Flotación - Estándar U. A.									
Fecha:	27/10/2024			Peso de Muestra:	1000 gramos				
Muestra:	Blending			Molienda:	20 minutos				
Cliente:	Operaciones Planta			Pasante (P80):	micrones				
Responsable:	Paul Morales			N° Prueba:	FT-1780				
Departamento:	Laboratorio Metalúrgico			Sólidos:	66%				
Condiciones									
Etapas de Flotación	Reactivos g/T						Parámetros de flotación		
	Z-11/Z-6 (gr/Ton)	H - 150 (gr/Ton)	NaCN (gr/Ton)	Cao (gr/Ton)	ZnSO4 (gr/Ton)	CuSO4 (gr/Ton)	RPM	pH	Tiempo (min)
Molienda			30				33	6,5	16
Acondicio	5,0	8,0		600	100,0		1200	8,0	3
Ro bk Pb -Ag	5,0							8,5	3
Scv bk Pb - Ag		4,0						8,5	2
Cl bk Pb - Ag								8,5	4
Acondicio Zn				1055		150,0		10,5	3
Ro Zn	5,0	6,0						10,5	3
Scv Zn	3,0	3,0						10,5	2
Cl Zn								11,0	4
Total	18,0	21,0		1655	150	200			

Figura 12 Tabla estándar de balances metalúrgicos

Producto	Peso (Gr)	% peso	Leyes: gr/TM - %					Contenidos					Distribución (%)				
			Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Cabeza	1000	100	193,68	0,07	0,09	1,05	3,99	1937	0,70	0,90	10,5	39,9	100	100	100	100	100
Conc. Pb - Ag	9,00	0,90	15110,30	4,85	9,53	13,16	25,90	1360	0,44	0,86	1,18	2,33	70,22	62,36	95,30	11,28	5,84
Conc. Zn	14,10	1,41	1286,40	0,48	0,23	57,67	2,21	181	0,07	0,03	8,13	0,31	9,37	9,67	3,60	77,44	0,78
Relave	976,90	97,69	40,08	0,02	0,00	0,12	3,81	392	0,20	0,01	1,17	37,22	20,22	27,91	1,09	11,16	93,28

ANEXO 2: CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Factor mineralógico (m):

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

a = Fracción del mineral de interés = 0,50

r = Densidad del mineral de interés = 3,28

t = Densidad de la ganga = 2,72

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$m = \frac{1-0,5}{0,5} [(1 - 0,5) \cdot 3,28 + 0,5 * 2,72] = 3,00$$

Factor de liberación (l):

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}} \text{ ecuación (2)}$$

Donde:

L = Tamaño de liberación del mineral de interés = 0,1cm

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra = 5,0 cm

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$l = \sqrt{\frac{0,1}{5,0}} = 0,1414$$

Constante de muestreo (C):

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m \text{ ecuación (3)}$$

Donde:

f = Factor de forma (0,5), excepto para minerales de oro es 0,2.

g = Factor de distribución de tamaño de partícula (g = 0,25)

l = Factor de liberación = 0,1414

m = Factor mineralógico = 3,00 g/cm³

reemplazando en la ecuación se tiene:

$$C = 0,5 * 0,25 * 0,1414 * 3,00 = 0,053$$

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \times d^3}{s^2} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo = 0,053 g/cm³

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra = 5,0 cm

s = Medida del error estadístico, regularmente es 0,01

Reemplazando en la ecuación (4) se tiene:

$$M = \frac{0,053 \times 5^3}{0,01^2} = 159,08 \text{ Kg}$$

M = 159,08 kg de muestra.

ANEXO 3: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
<p>General ¿Cómo la caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco - 2024?</p>	<p>General Evaluar la influencia de la caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) para la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.</p>	<p>General La caracterización geo metalúrgica del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco - 2024</p>	<p>Independiente Caracterización geo metalúrgica del mineral blending</p>	Mineralogía	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de minerales portadores de Ag, Pb, Zn y Cu. • Asociación mineralógica y grado de liberación.
				Propiedades fisicoquímicas del mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Peso específico. • Índice de Bond (BWI) para molienda.
				Parámetros operacionales de flotación	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo y concentración de colectores, espumantes y depresores. • pH • Tiempo de flotación
<p>Específicos <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las principales características mineralógicas y texturales del blending (veta pozo y Llacsacocha) que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación </p>	<p>Específicos <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar la mineralogía y textura del blending (veta pozo y Llacsacocha) que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024. </p>	<p>Específicos <ul style="list-style-type: none"> • La caracterización mineralógica y textural del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024. • La determinación de las propiedades </p>	<p>Dependiente Recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn</p>	% Recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn	<ul style="list-style-type: none"> • Balance metalúrgico
				Comparación entre labores mineras	<ul style="list-style-type: none"> • Composición mineralógica y química. • Comportamiento metalúrgico

<p>en Pan American Silver Pasco – 2024?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influyen las propiedades fisicoquímicas del blending (veta pozo y Llacsacocha) en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024? • ¿Cuáles son los parámetros operacionales adecuados de flotación para maximizar la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Pan American Silver Pasco – 2024? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las propiedades fisicoquímicas del blending (veta pozo y Llacsacocha) que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn mediante flotación en Pan American Silver Pasco – 2024 • Determinar los parámetros operacionales adecuados de flotación que influye en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn en Pan American Silver Pasco – 2024. 	<p>fisicoquímicas del blending (veta pozo y Llacsacocha) influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La determinación de los parámetros adecuados de flotación influirá en la recuperación de Ag, Cu, Pb y Zn por flotación en Pan American Silver Pasco – 2024. 		<p>Desarrollo de modelos predictivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado geo metalúrgico. • Pronóstico de recuperación en planta.
--	--	--	--	--	--

ANEXO 4: FOTOGRAFIAS

Figura 13 Pruebas de molienda



Figura 14 Desarrollando pruebas de flotación



Figura 15 Concentrados de plomo – plata



Figura 16 Muestras tamizadas

