

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Efecto de la flotación selectiva en la recuperación de Plomo, Cobre,
Zinc y Plata a nivel Bach en la planta concentradora Pan American
Silver Huarón, Pasco 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Ivan Cristhian FIGUEROA LUQUILLAS

Bach. Alex Jhonatan POLO ALCANTARA

Asesor:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO

Cerro de Pasco - Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Efecto de la flotación selectiva en la recuperación de Plomo, Cobre,
Zinc y Plata a nivel Bach en la planta concentradora Pan American
Silver Huarón, Pasco 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
PRESIDENTE

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO

Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 369-2026-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:

Tesis:

**Efecto de la Flotación Selectiva en la Recuperación de Plomo, Cobre,
Zinc y Plata a Nivel Bach en la Planta Concentradora Pan American
Silver Huarón, Pasco 2023**

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Ivan Cristhian, FIGUEROA LUQUILLAS

Bach. Alex Jhonatan, POLO ALCANTARA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Antonio Florencio, BLAS ARAUCO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

10 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 13 de enero del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.01.2026 12:37:16 -05:00

DEDICATORIA

A mis padres,

Agradezco profundamente el cariño, apoyo y enseñanzas que me han brindado a lo largo de mi vida. Su esfuerzo y sacrificio han sido la base de mis logros. Gracias por ser mi fuente constante de inspiración y motivación. Este logro es tan suyo como mío. Siempre llevaré su dedicación en el corazón. Eternamente agradecido.

A mis maestros,

Agradezco sinceramente a quienes, con su sabiduría y paciencia, me guiaron en este camino. Su compromiso e inspiración despertaron en mí curiosidad, perseverancia y confianza. Más que conocimiento, me brindaron herramientas para enfrentar desafíos y crecer. Su huella en mi formación es profunda y perdurable.

AGRADECIMIENTO

En la elaboración de esta investigación, quiero manifestar mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo respaldo incondicional ha sido un pilar esencial en cada fase de este proceso. Su apoyo y comprensión me han impulsado a continuar, incluso en los momentos más difíciles.

También deseo expresar mi agradecimiento a los ingenieros de la E. F. P. de Ingeniería Metalúrgica, quienes, gracias a su dedicación y compromiso, han sido fundamentales en mi desarrollo profesional. Sus enseñanzas y orientación me han brindado las herramientas necesarias para afrontar los desafíos académicos y me han motivado a aspirar a la excelencia.

Agradezco de manera especial a los ingenieros de la Unidad Minera Pan American Silver Huaron por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación. Su apoyo y disposición para compartir sus conocimientos han enriquecido significativamente mi experiencia y comprensión del campo.

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el efecto de la Flotación Selectiva en la Recuperación de Plomo, Cobre, Zinc y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón. Se aplicó el diseño experimental aplicada, la muestra está constituido por 31 K, como instrumentos de recolección de datos se utilizó el cuaderno de campo, reportes de ensaye químico y balances metalúrgicos.

Los resultados obtenidos demuestran que las características físicas y químicas del mineral del tajo 100 si tiene influencia en la recuperación de cobre, plomo y zinc, que tiene gravedad específica 3,11 g/cm³, work index $W_i = 13,63 \text{ Kw-h/Tm}$ y el ensaye químico de ley de cabeza es 420,98 g/T de Ag, 0,34% de cobre, 0,77% de plomo, 0,96% de zinc y fierro 5,46%.

El grado de liberación de mineral del Tajo 100 es 55% malla -200, para un tiempo de molienda de 11,11 minutos en la que se libera la mena de la ganga.

La dosificación de reactivos si tuvo influencia en la flotación de cobre y plomo siendo las recuperaciones 60,57% y 88% respectivamente, la calidad de concentrado obtenido son 20,18% y 52,82% que contiene plata en el orden de 32080,89 g/t y 3998.25%. los reactivos de mayor influencia son: NaCN 35 g/T y colector Z-11/Z-6 8 g/T. Por otro lado, en la flotación de zinc también se obtuvieron buenos resultados alcanzando una recuperación de 88% con una calidad de concentrado de 49,91%, los reactivos dosificados de mayor influencia son: Z-11/Z-6 20 g/T, CuSO₄ 190 g/T.

Palabra clave: flotación selectiva, recuperación de cobre, plomo y zinc, flotación batch

ABSTRACT

This research study aims to determine the effect of Selective Flotation on the recovery of lead, copper, zinc, and silver at the batch level at the Pan American Silver Huarón Concentrator Plant. The experimental design was applied, the sample consisted of 31 K, and data collection instruments included a field notebook, chemical assay reports, and metallurgical balances.

The results obtained demonstrate that the physical and chemical characteristics of the ore from pit 100 do influence the recovery of copper, lead, and zinc. The ore has a specific gravity of 3.11 g/cm³, a work index of $W_i = 13.63$ kWh/mt, and a chemical head grade of 420.98 g/t of Ag, 0.34% of copper, 0.77% of lead, 0.96% of zinc, and 5.46% of iron.

The mineral liberation grade of Tajo 100 is 55% -200 mesh, for a grinding time of 11.11 minutes in which the ore is liberated from the gangue.

Reagent dosage did influence copper and lead flotation, with recoveries of 60.57% and 88%, respectively. The concentrate quality obtained was 20.18% and 52.82%, containing silver in the range of 32,080.89 g/t and 3,998.25%. The most influential reagents were: NaCN 35 g/t and Z-11/Z-6 collector 8 g/t. Zinc flotation also achieved good results, achieving a recovery of 88% with a concentrate quality of 49.91%. The most influential dosed reagents were: Z-11/Z-6 20 g/t and CuSO₄ 190 g/t.

Keywords: selective flotation, copper, lead, and zinc recovery, batch flotation

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enfoca en analizar el impacto de la flotación selectiva en la recuperación de plomo, cobre, zinc y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, situada en Pasco, Perú. Su objetivo es identificar de qué manera las distintas condiciones operativas y la correcta dosificación de reactivos influyen en la eficiencia del proceso de flotación, lo que a su vez afecta la calidad de los concentrados obtenidos. Este análisis es especialmente relevante, ya que la mejora de la flotación selectiva puede ser determinante para incrementar el valor de los recursos minerales, potenciar la rentabilidad de las actividades mineras y disminuir el impacto ambiental asociado a este sector.

Los hallazgos de esta investigación ofrecerán información significativa sobre la cinética de flotación de los minerales analizados y servirán como base para futuras optimizaciones en la planta, promoviendo un desarrollo sostenible en la industria minera.

La estructura del trabajo de investigación está organizada conforme a lo estipulado en el reglamento de grados y títulos e incluye los siguientes capítulos:

Capítulo I. Problema de investigación: identificación y definición del problema, formulación de los objetivos, justificación de la investigación y limitaciones del estudio.

Capítulo II. Marco teórico: revisión de antecedentes, fundamentos teóricos y científicos, definiciones de términos esenciales, formulación de hipótesis, identificación de variables, y definiciones operativas de variables e indicadores.

Capítulo III. Metodología y técnicas de investigación: clasificación de la investigación, métodos aplicados, diseño de investigación, descripción de la población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procedimientos para el procesamiento y análisis de datos, tratamiento estadístico, y validación y confiabilidad de los instrumentos, así como consideraciones éticas.

Capítulo IV. Resultados y discusión: exposición del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de los resultados, pruebas de hipótesis y discusión de los hallazgos.

Finalmente, se incluirán las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos correspondientes.

INDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

ÍNDICE DE TABLA

ÍNDICE DE FIGURA

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación temporal.....	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1. Problema general.....	2
1.3.2. Problemas específicos	2
1.4. Formulación de objetivos	2
1.4.1. Objetivo general	2
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.5.1. Justificación Teórica	3
1.5.2. Justificación Práctica	3
1.5.3. Justificación Metodológica.....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

1.6.1. Limitaciones de recursos	4
1.6.2. Limitaciones de muestra	4
1.6.3. Limitaciones metodológicas	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	6
2.1.1. Internacionales	6
2.1.2. Nacionales.....	7
2.1.3. Locales.....	8
2.2. Bases teóricas – científicas.....	9
2.2.1. Minerales sulfurado polimetálicos	9
2.2.2. Estructura y propiedades de minerales polimetálicos sulfurados	10
2.2.3. Grado de liberación de las partículas	11
2.2.4. Flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata	11
2.2.5. Factores que influyen en la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata.....	13
2.2.6. Formatos y Guías para SGSST según R. M. Nro 050-2013-TR	14
2.2.7. Pruebas de flotación Batch.....	16
2.2.8. Ventajas de realizar pruebas de flotación Batch de minerales polimetálicos con presencia de plata.....	17
2.2.9. Equipos y celdas para realizar pruebas de flotación Batch de minerales polimetálicos con presencia de plata	18
2.3. Definición de términos básicos.....	19
2.4. Formulación de hipótesis	20
2.4.1. Hipótesis general.....	20
2.4.2. Hipótesis específica	20
2.5. Identificación de variables.....	20

2.5.1. Variable independiente.....	20
2.5.2. Variable dependiente.....	20
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	21

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	22
3.2. Nivel de investigación	22
3.3. Métodos de Investigación	23
3.4. Diseño de investigación	23
3.5. Población y muestra	24
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	24
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	25
3.8. Tratamiento estadístico.....	25
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	25

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	26
4.1.1. Características físicas y químicas del mineral.....	27
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	29
4.2.1. Determinación del grado de liberación	29
4.2.2. Determinación del efecto de los reactivos de flotación.....	31
4.2.3. Efectos de los reactivos en la flotación de zinc.....	42
4.3. Prueba de Hipótesis.....	52
4.3.1. Estadístico de prueba.....	53
4.4. Discusión de resultados.....	54

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLA

	Página
Tabla 1. <i>Operacionalización de variables</i>	21
Tabla 2. <i>Gravedad específica</i>	27
Tabla 3. <i>Dureza del mineral</i>	28
Tabla 4. <i>Ley de cabeza del mineral</i>	29
Tabla 5. <i>Tiempo óptimo de molienda</i>	30
Tabla 6. <i>Parámetro de flotación</i>	33
Tabla 7. <i>Matriz codificada del diseño factorial fraccionado</i>	34
Tabla 8. <i>Dosificación de reactivos</i>	34
Tabla 9. <i>Balance metalúrgico de la prueba 1</i>	35
Tabla 10. <i>Dosificación de reactivos</i>	35
Tabla 11. <i>Balance metalúrgico de la prueba N° 02</i>	36
Tabla 12. <i>Reactivos para la flotación</i>	36
Tabla 13. <i>Balance metalúrgico de la prueba 4</i>	37
Tabla 14. <i>Reactivos para la flotación</i>	37
Tabla 15. <i>Balance metalúrgico de la prueba 7</i>	38
Tabla 16. <i>Reactivos para la flotación</i>	38
Tabla 17. <i>Balance metalúrgico de la prueba 9</i>	39
Tabla 18. <i>Corrida de las pruebas con Minitab</i>	39
Tabla 19. <i>Coeficientes codificados</i>	40
Tabla 20. <i>Análisis de Varianza</i>	41
Tabla 21. <i>Parámetros de flotación de sulfuro de zinc</i>	43
Tabla 22. <i>Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc</i>	44
Tabla 23. <i>Matriz codificada del diseño factorial en la flotación de zinc</i>	44
Tabla 24. <i>Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc</i>	45
Tabla 25. <i>Balance metalúrgico de la prueba 01</i>	45
Tabla 26. <i>Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc</i>	46

Tabla 27. <i>Balance metalúrgico de la prueba 03</i>	46
Tabla 28. <i>Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc</i>	47
Tabla 29. <i>Balance metalúrgico de la prueba 06</i>	47
Tabla 30. <i>Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc</i>	48
Tabla 31. <i>Balance metalúrgico de la prueba 07</i>	48
Tabla 32. <i>Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc</i>	49
Tabla 33. <i>Balance metalúrgico de la prueba 08</i>	49
Tabla 34. <i>Corridas de las pruebas experimentales con Minitab en la flotación de zinc</i>	49
Tabla 35. <i>Coeficientes codificados</i>	50
Tabla 36. <i>Análisis de Varianza</i>	51

ÍNDICE DE FIGURA

	Página
Figura 1 <i>Curva de molienda del mineral</i>	31
Figura 2. <i>Diagrama de flujo de las pruebas</i>	31
Figura 3. <i>Efectos medios de la recuperación de plomo</i>	40
Figura 4. <i>Efectos estandarizados de Pareto</i>	42
Figura 5. <i>Efectos principales</i>	51
Figura 6. <i>Diagrama de efectos de Pareto</i>	52

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

Pan American Silver Huaron es una empresa minera dedicada en la producción de concentrados de cobre, plomo y zinc con altos niveles de plata. El yacimiento de la mina es de tipo hidrotermal y presenta una distribución zonal de mineralización, con sulfuros de cobre de alta temperatura en la zona central y mineralizaciones de plomo y zinc con altos niveles de plata en los bordes.

Sin embargo, hasta el momento no se está explotando tampoco se está extrayendo los minerales de la zona intermedia del nivel 100 tajo 869. Sin embargo, se han realizado pruebas preliminares a nivel batch años atrás (2018) en la que tienen recuperaciones bajas de 79% para los sulfuros de plomo y cobre. Motivo por la cual es necesario realizar estudios metalúrgicos para evaluar la recuperación de los metales de interés presentes en la mena del tajo. De mina se extrajo muestras de mineral de la zona intermedia, nivel 100, Tajo 869, que necesita determinar su comportamiento metalúrgico frente a las operaciones unitarias de molienda, flotación y determinar el grado de recuperación de cobre, plomo, y zinc.

Motivo por la cual se realiza el estudio de la tesis para determinar el efecto de la flotación selectiva en la recuperación de cobre, plomo y zinc.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El estudio se llevó a cabo en la empresa Pan American Silver que se encuentra ubicado en el distrito de Huayllay perteneciente a la Región de Cerro de Pasco.

1.2.2. Delimitación temporal

La investigación se llevó a cabo durante 7 meses, que dio inicio el 10 de noviembre del 2023 hasta el 20 de mayo del 2024.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las características físicas y químicas del mineral que influye en la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023?
- b. ¿Cuál es el grado de liberación del mineral que influye en la recuperación de cobre, plomo y zinc a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023?
- c. ¿Cuál es el efecto de los reactivos de flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las características físicas y químicas del mineral que influye en la recuperación de cobre, plomo y zinc en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023
- b. Determinar el grado de liberación del mineral que influye en la recuperación de cobre, plomo y zinc a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.
- c. Determinar el efecto de los reactivos de flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación Teórica

La flotación selectiva es un proceso de separación de minerales en el que se utiliza la diferencia de afinidad entre los minerales de interés y las burbujas de aire para separarlos de otros minerales presentes en la mena. En el caso de la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata, los sulfuros metálicos que contienen estos elementos tienen una mayor flotabilidad y propiedades hidrofóbicas, lo que permite que se adhieran fácilmente a las burbujas de aire y se separen de otros minerales.

Para llevar a cabo este proceso, se necesita determinar el tiempo de molienda adecuado para generar una granulometría adecuada, agregar reactivos químicos que ayuden a la flotación, ajustar el pH del medio y controlar la cinética de flotación para obtener una espuma que contenga los sulfuros metálicos deseados. Luego, esta espuma se recoge y se separa de otros minerales, permitiendo la recuperación eficiente de zinc, plomo, cobre y plata.

1.5.2. Justificación Práctica

La investigación se desarrolló en el laboratorio químico metalúrgico realizando flotación selectiva, a través de pruebas batch con un set de pruebas y corridas en cual

permitirá obtener la información necesaria para determinar el efecto de la dosificación y las condiciones realizando corridas en los diseños experimentales para determinar el set de prueba presento una mejor recuperación de zinc, plomo, cobre y plata.

1.5.3. Justificación Metodológica

El enfoque es de investigación cuantitativa de tipo aplicada tecnológica, nivel explicativo y diseño de investigación explicativa. En lo que se refiere a la población los minerales.

De la zona intermedia nivel 100 estructura Maritza Ramal Tj-869, la muestra es un sub grupo de la población, proporcionada por la empresa Pan American Silver Huaron S.A.

1.6. Limitaciones de la investigación

1.6.1. Limitaciones de recursos

Las limitaciones de recursos en la tesis pueden incluir restricciones financieras para adquirir reactivos de flotación altamente selectivos y costosos, así como la disponibilidad limitada de equipo especializado necesario para optimizar el proceso de flotación selectiva. Además, el acceso limitado a expertos en la materia y la capacidad de realizar pruebas piloto exhaustivas podrían restringir la exploración completa de estrategias para mejorar la selectividad de los reactivos y maximizar la recuperación de los metales de interés. Estas limitaciones podrían influir en la calidad y amplitud de los resultados obtenidos en la investigación.

1.6.2. Limitaciones de muestra

Las limitaciones de muestra en la tesis incluyen la necesidad de reducir a la mitad la toma de muestras del mineral en la zona intermedia nivel 100 estructura Maritza Ramal Tj 869 de Pan American Silver Huaron. Esta restricción crítica se debe a la limitación de recursos, la duración del proyecto y la viabilidad práctica de realizar análisis químicos en el laboratorio para determinar las recuperaciones. La gestión eficiente del tiempo y los recursos es crucial, así como el acceso completo a los datos

pertinentes para garantizar una ejecución exitosa y una evaluación precisa de los resultados.

1.6.3. Limitaciones metodológicas

Las limitaciones metodológicas en la tesis incluyen la gestión del recurso económico, siendo un desafío significativo debido al presupuesto inicial limitado. Esto obligó a establecer prioridades en las pruebas y réplicas a realizar para evitar sesgos en los análisis y pruebas ejecutadas. La necesidad de maximizar el uso de los recursos disponibles podría haber afectado la amplitud y la profundidad de las investigaciones, así como la capacidad de realizar múltiples enfoques metodológicos para validar los resultados. Sin embargo, se procuró obtener resultados precisos y confiables dentro de estas limitaciones financieras

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Internacionales

Según De la Rosa Canales (2013), en su tesis titulado: “**Flotación Selectiva de Minerales Sulfuros de Plomo - Zinc**” menciona que la flotación por espuma es el principal proceso que existe en la concentración de minerales, la cual presenta una alta selectividad y se utiliza para llevar a cabo separaciones de minerales metálicos complejos tales como plomo-zinc, cobre-zinc y de los minerales no metálicos tales como barita- feldespato, fluorita- calcita, etc.

Un sulfuro mineral complejo de plomo-zinc está constituido por varios compuestos como son: Galena (PbS), Esfalerita (ZnS) y Cuarzo (SiO₂), de los cuales los valores son flotados, deprimiéndose los estériles como es el caso del cuarzo y separados selectivamente vía flotación la galena y esfalerita para así obtener estos dos productos con altas leyes y altas recuperaciones.

En la flotación selectiva existe una etapa en donde se adiciona un reactivo llamado depresor el cual actuá en contra de uno o varios compuestos evitando que estos floten. A nivel industrial se utilizan como reactivos depresores la cal, sulfitos y cianuro de sodio, sin embargo, en la actualidad se requiere de procesar a dichos minerales a través de reactivos “limpios” (que no contaminen la naturaleza).

El Quebracho, reactivo empleado como modificador de superficies minerales, ha sido estudiado muy poco, habiendo en la literatura escasas publicaciones de su uso. Este reactivo presenta ventajas adicionales por ser no tóxico además de ser efectivo en niveles de pH cercanos a los de flotación, con satisfactoria selectividad en comparación a la cal y cianuro, también cumple con la necesidad de evitar impactos ambientales negativos. En México no se han realizado investigaciones y aplicaciones con este tipo de reactivo dado que la materia prima tiene su fuente principal de producción en América del Sur.

Por lo anteriormente expuesto el presente trabajo pretende encontrar las condiciones de flotación y depresión idóneas para separar menas complejas de plomo-zinc mediante el uso de reactivos naturales como son los del tipo quebracho.

Los resultados de esta tesis se obtuvieron de un circuito primario de flotación selectiva de plomo utilizando xantato etílico de potasio y quebracho para obtener un concentrado de plomo con una ley de 20.82 % y una recuperación de 80.84% y un circuito de flotación de zinc utilizando sulfato de cobre para obtener un concentrado de zinc con una ley de 10.69% y una recuperación de 78.56%.

También en esta tesis se muestra que es factible utilizar al quebracho colorado como reactivo depresor del zinc a una concentración de 20 mg/L en un circuito de flotación selectiva de Pb-Zn, teniendo como principal ventaja que este reactivo es natural biodegradable, no es tóxico y es amigable con el medio ambiente

2.1.2. Nacionales

Gallegos Caceres (2018) en su tesis intitulado “**Evaluación de la recuperación de plata en la Unidad Minera Cerro Lindo**” tuvo como objetivo estudiar los reactivos adecuados para aumentar la recuperación de plata en los concentrados de cobre y plomo como sub productos, con el fin de mejorar el valor comercial de los concentrados. Utiliza la flotación selectiva para producir tres tipos de concentrados valiosos (zinc, cobre y plomo) con subproductos de plata en los concentrados de cobre y plomo. El relave, un producto no valioso, se deposita

adecuadamente en la mina mediante el proceso de pasta cementada o se envía a filtrado para su secado y compactación en el depósito de relaves. Para evaluar la recuperación de plata en los concentrados, se realizaron pruebas de flotación con diferentes reactivos, incluyendo Aerophine 3418, Aerofloat 208, Aerofloat 404 y Aerofloat 3406. Los resultados mostraron que Aerophine 3418 fue el mejor reactivo para la recuperación de plata en los subproductos de cobre y plomo.

Alvino Justo & Valle Ccanto (2019) en su tesis intitulada **“Incremento de la recuperación de cobre a partir de minerales polimetálicos en la Unidad Minera Cerro Lindo – Nexa Resources”** comenta que la planta concentradora de la Unidad Minera de Cerro Lindo produce minerales concentrados de plomo con plata, cobre, zinc y cadmio mediante el método de flotación a partir de minerales polimetálicos de Pb-Zn-Cu-Ag. El concentrado de cobre presenta una recuperación relativamente baja de cobre debido a la presencia de minerales de plomo, zinc e hierro. Para mejorar la selectividad y recuperación del cobre, se realizó un análisis químico y mineralógico detallado de los productos y se llevó a cabo un análisis de módulos que condujo a investigaciones de laboratorio adicionales sobre la concentración de minerales de cobre. Los resultados de la investigación incluyen características químicas y mineralógicas, así como investigaciones sobre la concentración de flotación de los minerales de cobre basados en el análisis del módulo. Los resultados indicaron que la recuperación de cobre mejoró significativamente con la molienda combinada del concentrado básico y la eliminación selectiva de minerales de zinc, hierro y hierro, lo que permitió obtener concentrados selectivos de minerales de cobre con una recuperación mucho mayor de cobre del concentrado.

2.1.3. Locales

Carvo Cuellar & Aguirre Galindo (2023), en su tesis intitulada **“Caracterización geometalúrgica del mineral veta farallon NV 180 y los parámetros de flotación de minerales polimetálicos en la Compañía Minera Huarón S.A”** menciona que en la planta concentradora de Pan American Silver Huarón S.A ubicada en el distrito de

Huayllay, provincia de Cerro de Pasco. La planta procesa 2,500 TMS de mineral polimetálico por día utilizando tecnología de flotación para producir plata en concentrados de cobre, plomo y zinc. La planta consta de tres etapas: trituración, molienda en molino de bolas y flotación selectiva de concentrados minerales, seguida de espesamiento y filtrado. Sin embargo, la planta registraba bajas recuperaciones de plomo, cobre y plata en los concentrados, lo que afectaba a la productividad y la rentabilidad. Para solucionarlo, la empresa realizó pruebas experimentales de flotación para evaluar el comportamiento geo-metalúrgico de la zona mineral NV 180 Farallón. Las pruebas mostraron que el índice de trabajo estaba por debajo del nivel requerido y que la cinética de flotación para los valores de plomo y plata era superior a la de los valores de zinc y hierro. La tasa de recuperación del plomo se estimó en un 93,7%, la de la plata en un 78,8%, la del zinc en un 26,7% y la del hierro en un 13,0%. La tasa de recuperación del zinc se estimó en un 74,6%, la del cobre en un 63,3% y la de la plata en un 49,6%. La baja tasa de recuperación del zinc se debió a las correlaciones negativas con los minerales de manganeso y hierro, y la baja concentración de plata se debió a las bajas correlaciones con el cobre y el zinc.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Minerales sulfurado polimetálicos

Los minerales polimetálicos sulfurados son aquellos que contienen más de un metal y azufre en su composición. Estos minerales son muy abundantes en la naturaleza y se encuentran en depósitos de sulfuros y sulfosales. Algunos ejemplos de minerales polimetálicos sulfurados son la calcopirita (sulfuro de hierro y cobre), la galena (sulfuro de plomo) y la esfalerita (sulfuro de zinc). La flotación es un proceso comúnmente utilizado para la recuperación de minerales polimetálicos sulfurados, en el cual se separan los minerales de interés de los minerales no deseados mediante la adición de reactivos químicos.

La flotación diferencial de sulfuros polimetálicos consiste en recuperar una o más especies mineralógicas, dejando en los relaves otras especies deprimidas por

reactivos específicos. La selección del diagrama de flujo y reactivos de flotación está condicionada por la respuesta del mineral a los colectores, activadores, depresores y espumantes, así como a la mineralogía del mineral. La flotación de minerales polimetálicos sulfurados de Pb, Cu y Zn es un ejemplo común de este proceso.

2.2.2. Estructura y propiedades de minerales polimetálicos sulfurados

Los minerales polimetálicos sulfurados son aquellos que contienen más de un metal y azufre en su composición. Estos minerales son muy abundantes en la naturaleza y se encuentran en depósitos de sulfuros y sulfosales. Algunos ejemplos de minerales polimetálicos sulfurados son:

- Calcopirita (sulfuro de hierro y cobre): CuFeS_2
- Galena (sulfuro de plomo): PbS
- Esfalerita (sulfuro de zinc): ZnS

La flotación es un proceso comúnmente utilizado para la recuperación de minerales polimetálicos sulfurados, en el cual se separan los minerales de interés de los minerales no deseados mediante la adición de reactivos químicos. La flotación diferencial de sulfuros polimetálicos consiste en recuperar una o más especies mineralógicas, dejando en los relaves otras especies deprimidas por reactivos específicos.

Las propiedades de los minerales polimetálicos sulfurados pueden variar según la composición química y estructura cristalina de cada mineral. Estas propiedades influyen en la forma en que los minerales se comportan durante el proceso de flotación, lo que a su vez puede afectar la eficiencia de la recuperación de minerales en la planta de procesamiento.

En cuanto a la estructura de los minerales polimetálicos sulfurados, estos pueden encontrarse en diferentes formas, como masivos, disseminados o en vetas. La estructura de los minerales puede influir en la liberación de los minerales durante el proceso de flotación y, por lo tanto, en la recuperación de minerales de alta calidad.

Es importante tener en cuenta que el comportamiento de los minerales polimetálicos sulfurados en la flotación puede verse afectado por factores como la presencia de otros minerales, la adsorción de reactivos químicos y la interacción con los colectores, activadores, depresores y espumantes utilizados en el proceso.

Estos factores pueden variar entre diferentes depósitos y minerales, lo que puede resultar en diferencias en la recuperación y calidad de los minerales producidos en las plantas de procesamiento.

2.2.3. Grado de liberación de las partículas

El grado de liberación de partículas en la flotación selectiva de cobre, plomo, zinc con presencia de plata se refiere a la proporción de partículas de mineral que se han liberado de la matriz de la roca y están disponibles para ser flotadas. En otras palabras, es la medida en que las partículas de mineral están expuestas y separadas de las partículas de ganga en la pulpa de mineral.

El grado de liberación es un factor importante en la flotación selectiva, ya que las partículas de mineral deben estar completamente liberadas para poder flotar de manera efectiva. Si las partículas de mineral no están completamente liberadas, pueden permanecer atrapadas en la matriz de la roca o adheridas a las partículas de ganga, lo que reduce la eficacia de la flotación y la recuperación de los minerales valiosos.

Para determinar el grado de liberación de las partículas de mineral, se realizan pruebas de molienda y se analizan las muestras de mineral para determinar el tamaño de partícula y la liberación de los minerales. La información obtenida a partir de estas pruebas se utiliza para optimizar el proceso de flotación selectiva y maximizar la recuperación de los minerales de cobre, plomo, zinc y plata.

2.2.4. Flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata

La flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata es un proceso importante en la recuperación de minerales polimetálicos sulfurados. A

continuación, se presentan algunas consideraciones y resultados de estudios sobre este proceso:

El tratamiento metalúrgico de los minerales polimetálicos sulfurados de Pb, Cu y Zn comprende la obtención de tres concentrados en las siguientes etapas: flotación bulk Cu-Pb deprimiendo simultáneamente la esfalerita y pirita, flotación de cobre selectiva y flotación de zinc selectiva.

La presencia de plata en los minerales polimetálicos sulfurados puede afectar el proceso de flotación, ya que puede competir con otros metales por los mismos sitios de adsorción en la superficie de los minerales. Por lo tanto, es importante considerar la presencia de plata en el diseño del proceso de flotación.

En el proceso de flotación de plomo y zinc, se agrega sulfato de zinc al molino para controlar la activación de los iones metálicos y se agregan otros químicos de sulfuración con el sulfato de zinc para la depresión de mineral de sulfato de hierro. Los iones de cobre pueden remplazar a los átomos de zinc en la superficie de la esfalerita, creando una cubierta superficial de mineral de cobre falso, el cual entonces se recoge usando colectores de tipo flotación de cobre.

La flotación selectiva puede ser necesaria en algunos casos, especialmente cuando hay considerables cantidades de materiales estériles o están presentes sulfuros de metales comunes con bajo contenido de plata. Esto implica el uso de cal, cianuro de sodio y sulfato de zinc, y puede ser necesario el empleo de sulfitos.

El proceso de flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata consta de varias etapas, que incluyen:

Flotación bulk Cu-Pb: En esta etapa, se realiza una flotación bulk para deprimir simultáneamente la esfalerita y la pirita. La pirita se deprime con cianuro y bisulfito de sodio, mientras que la esfalerita se deprime con sulfato de zinc.

Flotación selectiva de minerales sulfurados de plomo y plata: En este paso, se busca flotar inicialmente los minerales sulfurados de plomo, como la galena, y posteriormente flotar el sulfuro de zinc (esfalerita). Para la flotación de la esfalerita, se

requiere su activación con sulfato de cobre, y se debe incrementar el pH de flotación, que usualmente se encuentra entre 10.5 y 11.0.

Flotación selectiva de minerales sulfurados de zinc: En esta etapa, se realiza una flotación selectiva para producir un concentrado de zinc por separado.

Flotación selectiva de minerales sulfurados de cobre y plomo: En este paso, se busca producir un concentrado de cobre y plomo por separado.

Flotación selectiva de minerales sulfurados de plomo y plata: En este último paso, se realiza una flotación selectiva para producir un concentrado de plomo y plata por separado.

El proceso de flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata puede variar según la composición química y estructura cristalina de cada mineral. Es importante diseñar un proceso de flotación adecuado para cada tipo de mineral polimetálico sulfurado, considerando su composición química y estructura cristalina, para lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés

En resumen, la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata es un proceso complejo que requiere considerar la presencia de múltiples metales y la interacción entre ellos. Es importante diseñar un proceso de flotación adecuado para cada tipo de mineral polimetálico sulfurado, considerando su composición química y estructura cristalina, para lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés.

2.2.5. Factores que influyen en la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata

Los principales factores que influyen en la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata incluyen:

Composición química: La presencia de otros metales y la cantidad de azufre en los minerales pueden afectar la flotación. Por ejemplo, la presencia de plata puede

competir con otros metales por los mismos sitios de adsorción en la superficie de los minerales.

Estructura cristalina: La estructura cristalina de los minerales puede influir en la liberación de los minerales durante el proceso de flotación y, por lo tanto, en la recuperación de minerales de alta calidad.

Reactivos de flotación: La selección de los reactivos de flotación adecuados para cada tipo de mineral es crucial para lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés. Estos reactivos incluyen colectores, activadores, depresores y espumantes.

pH y condiciones de flotación: El pH y las condiciones de flotación pueden afectar la activación y flotación de los minerales. Por ejemplo, el sulfuro de cobre flota entre un pH de 3 y 12, mientras que el pH de flotación de la galena se encuentra en el rango neutro a ligeramente alcalino.

Métodos de flotación: La flotación de minerales polimetálicos sulfurados puede ser realizada mediante diferentes métodos, como la flotación bulk y la flotación selectiva. La elección del método de flotación más adecuado depende de la composición química y estructura cristalina de los minerales.

En resumen, la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata puede variar según la composición química y estructura cristalina de cada mineral. Es importante diseñar un proceso de flotación adecuado para cada tipo de mineral polimetálico sulfurado, considerando su composición química y estructura cristalina, para lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés.

2.2.6. Formatos y Guías para SGSST según R. M. Nro 050-2013-TR

La selección del tipo de agua adecuado para la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata depende de la composición química y estructura cristalina de los minerales presentes en el depósito. A continuación, se presentan algunas consideraciones y resultados de estudios sobre este tema:

Reactivos de flotación: La selección de los reactivos de flotación adecuados para cada tipo de mineral es crucial para lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés. Estos reactivos incluyen colectores, activadores, depresores y espumantes.

pH y condiciones de flotación: El pH y las condiciones de flotación pueden afectar la activación y flotación de los minerales. Por ejemplo, el sulfuro de cobre flota entre un pH de 3 y 12, mientras que el pH de flotación de la galena se encuentra en el rango neutro a ligeramente alcalino.

Métodos de flotación: La flotación de minerales polimetálicos sulfurados puede ser realizada mediante diferentes métodos, como la flotación bulk y la flotación selectiva.

La elección del método de flotación más adecuado depende de la composición química y estructura cristalina de los minerales.

Diagrama de flujo: El diseño del diagrama de flujo de la planta de procesamiento es crucial para lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés. El diagrama de flujo debe ser adaptado a la composición química y estructura cristalina de los minerales.

La cinética de flotación: Es un proceso importante en la recuperación de cobre, plomo y zinc con la presencia de plata mediante la flotación diferencial. La flotación diferencial se refiere a la separación de minerales mediante la adición de reactivos específicos a la pulpa de mineral para hacer que ciertos minerales floten y otros se hundan. En este proceso, se utiliza una combinación de reactivos para separar los minerales de cobre, plomo y zinc de la plata.

La cinética de flotación se refiere a la velocidad a la que los minerales flotan o se hunden en la pulpa de mineral. La velocidad de flotación depende de varios factores, incluyendo la naturaleza del mineral, la cantidad y tipo de reactivos utilizados, la agitación de la pulpa y la temperatura. En la recuperación de cobre, plomo y zinc

con la presencia de plata, la cinética de flotación es un factor importante en la optimización del proceso de flotación diferencial.

En general, se ha encontrado que los minerales de cobre flotan más rápido que los de plomo y zinc, lo que permite su separación efectiva. Sin embargo, la presencia de plata puede afectar la cinética de flotación y complicar la separación de los minerales. Por lo tanto, se utilizan diferentes reactivos y condiciones de operación para optimizar la recuperación de los minerales de cobre, plomo, zinc y plata.

2.2.7. Pruebas de flotación Batch

Las pruebas de flotación batch para minerales sulfurados de cobre, plomo y zinc con presencia de plata pueden ser utilizadas para evaluar y definir las variables del proceso de flotación, permitiendo la recuperación de los minerales de cobre, plomo-plata y zinc. Algunos ejemplos de estas pruebas incluyen:

Pruebas de flotación bulk: Estas pruebas se realizan para deprimir simultáneamente la esfalerita y la pirita. La pirita se deprime con cianuro y bisulfito de sodio, mientras que la esfalerita se deprime con sulfato de zinc.

Pruebas de flotación selectiva: Estas pruebas se realizan para producir un concentrado de zinc por separado. Para la flotación selectiva de minerales sulfurados de zinc, se requiere su activación con sulfato de cobre, y se debe incrementar el pH de flotación, que usualmente se encuentra entre 10.5 y 11.0.

Pruebas de flotación selectiva de minerales sulfurados de plomo y plata: En esta etapa, se realiza una flotación selectiva para producir un concentrado de plomo y plata por separado.

Pruebas de flotación selectiva de minerales sulfurados de cobre y plomo: En este paso, se busca producir un concentrado de cobre y plomo por separado.

Pruebas de flotación selectiva de minerales sulfurados de plomo y plata: En este último paso, se realiza una flotación selectiva para producir un concentrado de plomo y plata por separado.

Los resultados de las pruebas de flotación batch pueden ser utilizados para optimizar el proceso de flotación en la planta de procesamiento. Por ejemplo, en un estudio realizado en el distrito de Palca, departamento de Huancavelica, se llevaron a cabo pruebas de flotación en ciclo abierto y en ciclo cerrado para evaluar y definir las variables del proceso de flotación, permitiendo la recuperación de los minerales de cobre, plomo-plata y zinc.

Los resultados de la prueba de flotación en ciclo cerrado, aplicando las mejores condiciones de operación, indican recuperaciones del 86.12% de plomo, el 66.19% de cobre y el 74.32% de plata, con leyes de 37.40% en plomo, 7.65% en cobre y 2494.48 g/t en plata y el 10.99% de zinc.

En el circuito zinc, la recuperación final fue del 87.59% con una ley del 55.80% de zinc y 0.16% de arsénico.

2.2.8. Ventajas de realizar pruebas de flotación Batch de minerales polimetálicos con presencia de plata

Las ventajas de realizar pruebas de flotación batch de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata incluyen:

Optimización del proceso de flotación: Las pruebas de flotación batch permiten evaluar y definir las variables del proceso de flotación, como la selección de reactivos, pH y condiciones de flotación. Esto puede ayudar a mejorar la eficiencia y recuperación de los minerales de cobre, plomo y zinc.

Evaluación de la interacción entre metales: La presencia de plata en los minerales polimetálicos puede competir con otros metales por los mismos sitios de adsorción en la superficie de los minerales.

Las pruebas de flotación batch pueden ayudar a comprender cómo la plata afecta la flotación de los minerales de cobre, plomo y zinc.

Diseño de un diagrama de flujo adecuado: Los resultados de las pruebas de flotación batch pueden ser utilizados para optimizar el diseño del diagrama de flujo de la planta de procesamiento.

Esto puede ayudar a lograr una recuperación eficiente y de alta calidad de los metales de interés.

Evaluación de la efectividad de reactivos y técnicas de flotación: Las pruebas de flotación batch pueden ser utilizadas para evaluar la efectividad de diferentes reactivos y técnicas de flotación, como la flotación en ciclo abierto y en ciclo cerrado.

Esto puede ayudar a seleccionar el método de flotación más adecuado para la recuperación de los minerales de cobre, plomo y zinc.

En resumen, las ventajas de realizar pruebas de flotación batch de sulfuros de cobre, plomo y zinc con presencia de plata incluyen la optimización del proceso de flotación, evaluación de la interacción entre metales, diseño de un diagrama de flujo adecuado y evaluación de la efectividad de reactivos y técnicas de flotación.

2.2.9. Equipos y celdas para realizar pruebas de flotación Batch de minerales polimetálicos con presencia de plata

La flotación batch de minerales sulfurados de cobre, plomo, zinc y plata puede ser realizada utilizando diferentes equipos y celdas de flotación. Algunos ejemplos incluyen:

Celdas de flotación de laboratorio: Estas celdas pueden ser utilizadas para realizar pruebas de flotación batch en un entorno controlado y reducido. Estas celdas pueden ser de diferentes tipos, como celda de flotación de laboratorio de Denver, celda de flotación de laboratorio de Burbank o celda de flotación de laboratorio de Fleming.

Celdas de flotación de planta: Las celdas de flotación de planta son más grandes y pueden ser utilizadas para realizar pruebas de flotación batch en una escala más grande. Estas celdas pueden ser de diferentes tipos, como celda de flotación de planta de Denver, celda de flotación de planta de Burbank o celda de flotación de planta de Fleming.

Celdas de flotación de aire: Las celdas de flotación de aire son un tipo de celda de flotación que utiliza aire para ayudar a la formación de espuma. Estas celdas

pueden ser utilizadas para realizar pruebas de flotación batch en minerales sulfurados de cobre, plomo, zinc y plata.

Celdas de flotación de columna: Las celdas de flotación de columna son un tipo de celda de flotación que utiliza una columna de espuma para separar los sólidos de los líquidos. Estas celdas pueden ser utilizadas para realizar pruebas de flotación batch en minerales sulfurados de cobre, plomo, zinc y plata.

En resumen, los equipos y celdas de flotación utilizados para realizar pruebas de flotación batch de minerales sulfurados de cobre, plomo, zinc y plata pueden variar según el tipo de celda de flotación y el tamaño de la prueba. Algunos ejemplos incluyen celdas de flotación de laboratorio, celdas de flotación de planta, celdas de flotación de aire y celdas de flotación de columna.

2.3. Definición de términos básicos

Flotación selectiva: flotación selectiva se basa en la diferencia de propiedades de flotación entre los minerales de plomo y plata y los minerales de zinc, permitiendo la producción de concentrados de plomo-plata y zinc por separado

Circuito de flotación: Es un proceso de separación de minerales que se basa en la capacidad de ciertos minerales para adherirse a las burbujas de aire y flotar en la superficie de una suspensión de pulpa de mineral. Un circuito de flotación es un conjunto de etapas de flotación que se utilizan para separar los minerales de interés de la ganga.

Reactivos de flotación: Son sustancias químicas que se agregan a la pulpa de mineral para modificar las propiedades físicas y químicas de los minerales y mejorar la separación por flotación. Los reactivos de flotación pueden ser colectores, modificadores, activadores, depresores o espumantes, y se seleccionan en función de las propiedades de los minerales y las condiciones de operación.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La flotación selectiva influye en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.

2.4.2. Hipótesis específica

- a. Las características físicas y químicas del mineral influyen en la recuperación de cobre, plomo y zinc en la planta concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.
- b. El grado de liberación del mineral influye en la recuperación de cobre, plomo y zinc a nivel batch en la planta concentradora Pan American Silver Huaron, Pasco 2023.
- c. Los reactivos de flotación influyen en la recuperación de cobre, plomo y zinc a nivel batch en la planta concentradora Pan American Silver Huaron, Pasco 2023.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Efecto de la flotación selectiva

2.5.2. Variable dependiente

Recuperación de cobre, plomo y zinc

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente			
Efecto de la flotación selectiva	La flotación selectiva es un método de separación de partículas o minerales en una mezcla heterogénea, basado en sus propiedades físico-químicas. Este proceso se utiliza principalmente en la industria minera para separar minerales valiosos de otros minerales indeseables.	Características físicas y químicas Grado de liberación Pruebas de flotación	Ley del minera, Ge y dureza % malla Dosificación de reactivos
Variable dependiente			
Recuperación de cobre, plomo y zinc	Razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa de material útil contenido en la alimentación, y se expresa como: Dónde: C = Peso del concentrado. c = Ley del mineral útil en el concentrado.	Recuperación Metalúrgica: $R = \frac{Cc}{Ff} \times 100$	Recuperación de Cu, Pb y Zn (%)

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se aplicó en el estudio es experimental aplicada. Al respecto Valarino et al. (2015) menciona, que el estudio **experimental** puede ser de campo o laboratorio de acuerdo al ambiente físico donde se realice la investigación, además, se realiza la manipulación de variables controlables. **Aplicada**, es porque se da solución a problemas reales. En nuestro caso se aplica la flotación selectiva en la recuperación de cobre, plomo y zinc.

3.2. Nivel de investigación

Según Samaniego (2022) manifiesta que de acuerdo al enfoque el estudio se ubica en el enfoque cuantitativo, en la que utiliza métodos y técnicas cuantitativas en la que hace uso de magnitudes, observación y medición de las unidades de análisis, el muestreo y análisis estadístico. Arias (2006) menciona que el nivel es el grado de profundidad con que se aborda el estudio.

El estudio se desarrolló en el **nivel explicativo**, en la se buscó el porqué de los hechos mediante la relación de causa y efecto.

3.3. Métodos de Investigación

En la investigación, se utilizan diversos métodos para recopilar y analizar información. Entre estos métodos se encuentran el analítico, deductivo e inductivo, así como los empíricos basados en la observación y experimentación.

(Tamayo y Tamayo, 2000), menciona que el método analítico implica descomponer un fenómeno o problema en sus partes constituyentes para comprender su estructura y funcionamiento. Cada parte se estudia por separado y luego se integran los resultados para obtener una comprensión más completa.

Por otro lado, el método deductivo consiste en inferir conclusiones particulares a partir de premisas generales o universales. Se parte de una premisa general o teoría para llegar a conclusiones específicas mediante reglas lógicas. Si las premisas son verdaderas, la conclusión también será válida.

En contraste, el método inductivo se basa en la observación de casos particulares para llegar a conclusiones o generalizaciones más amplias. A partir de la observación de situaciones específicas, se plantea una hipótesis que se pone a prueba y, si se confirma en repetidas ocasiones, se llega a una conclusión generalizada. Este método busca establecer patrones o regularidades a partir de la observación de casos individuales, estos diferentes métodos de investigación proporcionan herramientas para descomponer, inferir y generalizar información en el proceso de investigación. Cada uno tiene sus propias ventajas y limitaciones, y su elección dependerá del tipo de investigación y del objetivo que se persiga.

3.4. Diseño de investigación

Para el desarrollo de la tesis se tuvo que planificar las pruebas experimentales a partir de la muestra que se obtuvo de mina, que es de la siguiente manera:

1. La muestra de mina se sometió a una preparación mecánica reduciendo a un tamaño de $-\frac{1}{2}$ " en la chancadora de quijada y este producto después se reduce a -10 mallas en la chancadora de rodillo. Al final humanizando toda la muestra a - 10 mallas.

2. Se pesa la muestra 1 kilo para realizar la prueba de molienda y posteriormente realizar el acondicionamiento y flotación de cobre y plomo, después se flota zinc realizando la activación con sulfato de cobre.

3.5. Población y muestra

La población está conformada por todo el mineral de la zona intermedia nivel 100 estructura Maritza Ramal Tj 869, de la empresa Pan American Silver Huaron S.A.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La técnica e instrumento según Arías Odón (2006) menciona, la técnica son los pasos para recabar datos” (P. 67), por ejemplo: los procedimientos para separar el agua del aceite para recolectar datos. “Instrumento es el recurso, dispositivo, papel impreso, que se utiliza para el registro de información. (P. 68)

Técnica de recolección de datos

La observación. Esta técnica se utiliza permanentemente desde el inicio del estudio, muestreo, preparación mecánica etc.

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

Fuentes primarias. Se obtendrá de los reportes de las leyes del concentrado, relave del laboratorio químico.

Instrumentos de recolección de datos

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

Prueba estándar. Serie de pruebas que se realizó para obtener información de campo o laboratorio

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

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

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

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos durante las pruebas experimentales se recolectaron en el cuaderno de campo, teniendo en cuenta las variables estudiadas en función al objetivo específico. De igual manera se obtienen datos de reporte de laboratorio metalúrgico.

El procesamiento de datos se realizó aplicando el Microsoft Excell, generándose tablas y figuras que posteriormente se analizó.

3.8. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos de las pruebas se corrieron con el paquete estadístico del Minitab V-23. Estos datos nos permitieron demostrar la hipótesis planteada mediante el t estudent.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Los resultados obtenidos en la tesis son confiables, debido a que se mantuvieron los principios de valores y éticos del investigador, en la que se referencio las citas tomadas, teniendo en cuenta su autoría. A demás, se mantuvo los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales, en la que doy fe de los resultados obtenidos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Para la demostración de la hipótesis de la tesis se realizó preparativos del trabajo de campo en la planta concentradora de Huarón.

En primer lugar, se recibió la muestra enviada por geología en el laboratorio metalúrgico que consiste en 150 kg, siendo el tamaño de partícula mayor de 3 pulgadas, en cual se fracturó a 1/2 pulgada para después someterlo a un cuarteo hasta reducir a 75 kg. Esta muestra se lleva a la secadora de muestra.

El secado de la muestra mineral se realiza en la secadora a 105 °C durante 3 horas, hasta que la espátula no presenta una superficie fina de mineral del área introducida.

La muestra seca, se reduce con el cuarteador jones aproximadamente de 30,0 kilos, se procede a realizar la reducción de tamaño mediante preparación mecánica en la chancadora de quijada 7" x 11" y posteriormente, se reduce en la trituradora de rodillos a -6 mallas. Esta muestra, lo obtenemos tamizando con la malla tipo Tyler N° 6.

La muestra, se pesa 1 k para la molienda en un molino de bolas de laboratorio de 12" x 12", este proceso se realiza para cada prueba experimental.

Realizada la molienda, se descarga la pulpa en la celda de flotación, dándole las condiciones para la flotación, con una densidad de pulpa de 1300 g/L. Pero, antes de esta operación se adiciona reactivos en la molienda como: NaCN, cal, ZnSO₄.

La pulpa se acondiciona en la celda de flotación por espacio de 2 minutos, la cual contiene reactivos como: colectores, espumantes, para poder realizar la flotación.

También, se hizo la preparación de las muestras de mineral, para la prueba de molienda con el molino de bond y determinar el work index. De igual manera, se preparó muestras de mineral para realizar pruebas de molienda y determinar el tiempo de molienda.

4.1.1. Características físicas y químicas del mineral

En seguida le presentamos las características físicas y químicas del mineral estudiado.

a) Gravedad específica

La gravedad específica se determinó por el método de la fiola, en la que se utilizó 20 g de mineral en una fiola de 250 ml. En seguida se presenta la gravedad específica determinada.

Tabla 2. Gravedad específica

N° prueba	Muestra	Gravedad específica
1	MT-001	3,13
2	MT-002	3,09
Promedio		3,11

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

El valor de 3,11 g/cm³, nos sugiere que el mineral es pesado, una característica de los minerales sulfurados que se tiene que tener en cuenta al momento de realizar la prueba de grado de liberación y flotación.

b) Work Index

Esta prueba consistió en determinar la dureza del mineral y compararlo con la dureza del cuarzo. Se tuvo en cuenta la alimentación promedio F_{80} para el cuarzo es de 1543 micrones (100% - 6 mallas), y el P_{80} es de 262 micrones. El mineral tiene un F_{80} de 1372 micrones y un P_{80} de 233 micrones. El tiempo de la prueba de molienda fue de 10 minutos. La evaluación de la reducción del tamaño del mineral y el consumo de energía, se determinó aplicando la ecuación de Bond.

$$13,6 \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}Cz}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}Cz}} \right) = Wi \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}Min}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}Min}} \right)$$

Esta ecuación incorpora el valor de 13,6 que corresponde a la dureza del cuarzo.

Remplazando en la fórmula los valores del F_{80} y P_{80} del cuarzo, así mismo los valores F_{80} y P_{80} del mineral se tuvo una dureza de 13,85 Kw-h/TM.

Tabla 3. Dureza del mineral

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

Comparando el Work Index obtenido con de la tabla de dureza tenemos que el mineral tiene una dureza medio, ubicándose entre los valores de 10,89 y 14,51.

c) Ensaye químico

El reporte de ensaye químico emitido por el laboratorio se presenta en la tabla 1, el cual nos muestra el contenido mineralógico de la muestra.

Tabla 4. Ley de cabeza del mineral

Ag(gr/Tn)	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%Mn	%As	%Sb	%Bi
420,98	0,34	0,77	0,96	5,46	0,06	0,13	0,99	0,02

Nota: Elaborado por el tesista

En la tabla se observa, que el mineral tiene un alto contenido de plata de 420,98 g/ton, así mismo, tenemos, que el porcentaje de cobre, plomo son bajos con leyes de 0,34% y 0,77%. En relación al zinc, el contenido es de 0,96%, y de esta cantidad, el 2.17% se presenta como óxidos. Este nivel se considera moderado en comparación con la ley de cabeza, lo que implica que, aunque el zinc está presente, su forma podría afectar la eficiencia del proceso de flotación.

El contenido de hierro es de 5.46%, lo cual se califica como bajo para nuestro proceso. Esta baja concentración de hierro es beneficiosa, ya que no impactará negativamente en la calidad de los concentrados obtenidos.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para cumplir con los objetivos específicos del estudio, se determinó el grado de liberación y la determinación del efecto de los reactivos de flotación.

4.2.1. Determinación del grado de liberación

Esta prueba se realizó con 1000 gramos de mineral y 500 cm³ de agua, que se adicionaron al molino de bolas de 12" x 12" que contiene 20 K de bolas de 1" y ½", el tiempo de molienda se realizó a 0, 10, 15 y 20 min.

En seguida, se detallan los resultados de estas cuatro pruebas, que son fundamentales para estimar el tiempo óptimo de molienda necesario para alcanzar la granulometría deseada.

Tabla 5. Tiempo óptimo de molienda

TIEMPO DE MOLIENDA	m-200	m+65
	AC (-)	AC (+)
0	25.88	62.84
10	48.84	22.48
15	57.06	11.36
20	65.24	4.40
14.15	55	11.15

Nota: Elaborado por tesista

De la tabla 5 podemos afirmar que, conforme se incrementa el tiempo de molienda, también se eleva el porcentaje de material fino que logra pasar a través de la malla -200 y el porcentaje retenido disminuye.

La ecuación de molienda es:

$$Y = 1.977X + 27,006$$

Donde:

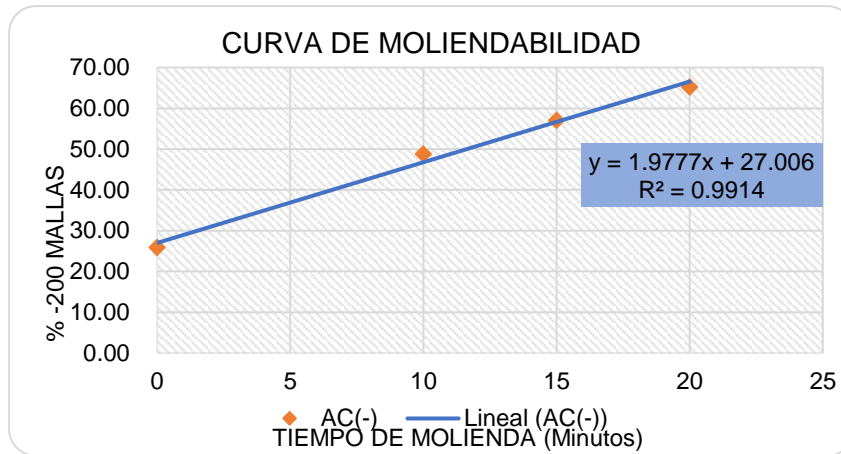
X: tiempo de molienda

Y: malla – 200

Se determina que el tiempo de molienda es 14,15 min para una molienda de 55% malla -200.

Así mismo, en la figura se presenta en la tabla la curva de moliendabilidad del mineral sulfurado.

Figura 1 Curva de molienda del mineral



Nota: Elaborado por el tesista

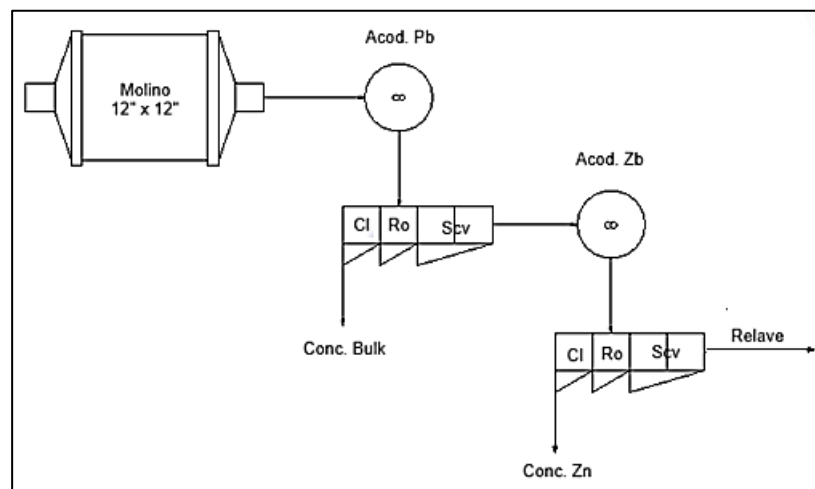
4.2.2. Determinación del efecto de los reactivos de flotación

Esta experiencia consiste en determinar el efecto de la adición de reactivos en la flotación bulk y flotación de zinc.

Esta prueba se planificó de acuerdo a la figura, que siguen los pasos establecidos para cada prueba experimental, de la siguiente manera: en primer lugar, se realizó las pruebas de flotación bulk y después la flotación de zinc.

También se adicionaron dos pruebas con los puntos experimentales, para ver el efecto de estos puntos.

Figura 2. Diagrama de flujo de las pruebas



Nota: Elaborado por tesista

a) Condiciones de la de flotación bulk

Molienda:

- Peso de mineral : 1000 g
- Agua : 500 cc
- Tiempo de molienda : 14.15 minutos
- Cianuro de sodio : 30 - 35 gr/TM
- Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación Rougher Bulk:

- pH de flotación : 8.0 – 9.0
- sulfato de zinc : 100 gr/TM
- Z-11/Z-6 : 10 gr/TM
- Espumante H-150 : 18.7 gr/TM
- Tiempo Acond : 2 minutos
- Flotación : 3 minutos

Flotación scavenger bulk:

- Z-11/Z-6 : 2.50 gr/TM
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner bulk I:

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

Flotación Cleaner bulk II:

- Tiempo de flotación : 3 minutos

Flotación Cleaner bulk III:

- Tiempo de flotación : 2 minutos

b) Flotación Rougher Separación Cobre-Plomo:

- RCS (bicromato) : 20 gr/TM
- Espumante H-150 : 1.6 gr/TM

- Tiempo de flotación : 5 minutos
- Tiempo de flotación : 3 minutos

Flotación Scavenger Separación Cobre-Plomo:

- RCS (bicromato) : 0 gr/TM
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación cleaner I Separación Cobre-Plomo:

- RCS (bicromato) : 20 gr/TM
- Espumante H-150 : 1.6 gr/TM
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Para ver el efecto de los reactivos de flotación, se determinó los parámetros de dosificación de los reactivos:

Tabla 6. Parámetro de flotación

Reactivos de flotación	Parámetros g/T		
	Nivel (-)	Punto central	Nivel (+)
X1: NaCN	25	30	35
X2: pH	8.0	8.5	9,0
X3: Z-11/Z-6	8	10	12
X4: H-150	16	18	20

Se aplicó el diseño factorial fraccionado en la que se determinó 8 pruebas experimentales, que se determinó aplicando el diseño factorial

$$N=2^{k-p}$$

Donde:

N: número de prueba

K: número de factores

P: factor a confundir

Como se va confundir un factor, hacemos $p=1$

$$N=2^{4-1}=8 \text{ pruebas}$$

Aplicando la matriz codificada del diseño factorial fraccionado tenemos la tabla siguiente:

Tabla 7. Matriz codificada del diseño factorial fraccionado

N° Pruebas	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₁ X ₄
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	-1	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	1	-1	1	-1
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1
8	1	1	1	1	1	1	1

Aplicando el diseño factorial fraccionado se procedió a realizar las pruebas metalúrgicas siguiendo el esquema de la flotación Plomo -cobre. Se adicionó dos pruebas con los puntos centrales haciendo un total de 10 pruebas.

1ra prueba experimental

Esta prueba se realizó dosificando reactivos con los niveles bajos del diseño factorial fraccionado. NaCN: 25 g/T, pH: 8, Z-11/Z-6: 8 g/T y H-150: 16 g/T. Realizado la prueba de flotación tenemos las respectivas recuperaciones. A continuación, le presentamos la tabla de dosificación de reactivos.

Tabla 8. Dosificación de reactivos

Nombre:	Tiempo (min)	Reactivos gr/ton							
		pH	NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS
Molienda	14.15	8.00							
Ro-Bk	3.00		20.00	5.00			16.0		
Scv- Bk	2.00			3.00					
1° Cl Bk	2.00		5.00						
2° Cl Bk	2.00								
3° Cl Bk	2.00								

Realizada las pruebas cíclicas de flotación tenemos las siguientes recuperaciones.

Tabla 9. Balance metalúrgico de la prueba 1

PRODUCTO P-1	Peso gr	% Peso	*** ENSAYES ***					DISTRIBUCION PORCENTUAL				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	10.11	1.02	30353.29	18.33	2.84	2.26	2.41	72.99	54.65	3.74	2.37	0.45
Conc. Pb	12.81	1.28	3754.25	7.46	50.11	2.61	4.85	11.44	28.18	83.70	3.46	1.14
Relave Final	977.08	96.19	67.00	0.06	0.10	0.93	5.49	15.57	17.17	12.56	94.17	98.41
Cbza Calc.	1000.00	98.49	420.43	0.34	0.77	0.96	5.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos de laboratorio

En la tabla 9 observamos una recuperación de 83,7% de plomo con una calidad de concentrado de 50,11%; el cobre tiene una ley de concentrado de 18,30%, siendo la recuperación de 54.56%. La plata tiene una recuperación aceptable de 72,99%, que se encuentra mayormente en el concentrado de cobre llegando a 30353,29 g/T. El hecho de adicionar cianuro de sodio favorece a la depresión del fierro, la combinación de colector Z-11/Z-6 favorece en la extracción de cobre y plomo, con un control de pH en 8, ha favorecido a la recuperación de plata.

2da prueba experimental

Esta prueba se realizó dosificando reactivos con los niveles bajos del diseño factorial fraccionado. NaCN: 35 g/T, pH: 8, Z-11/Z-6: 8 g/T y H-150: 20 g/T. Realizado la prueba de flotación tenemos las respectivas recuperaciones. A continuación, le presentamos la tabla de dosificación de reactivos

Tabla 10. Dosificación de reactivos

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton						
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS
molienda	14.15	8.00							
Ro-Bk	3.00		30.00	5.00			20.0		
Scv- Bk	2.00			3.00					
1° Cl Bk	2.00		5.00						
2° Cl Bk	2.00								
3° Cl Bk	2.00								

Realizada las pruebas cíclicas de flotación tenemos las siguientes recuperaciones.

Tabla 11. Balance metalúrgico de la prueba N° 02

PRODUCTO P-2	Peso gr	% Peso	*** ENSAYES ***					DISTRIBUCION PORCENTUAL				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	10.13	1.02	32178.71	19.22	2.63	1.81	2.21	77.62	57.41	3.47	1.92	0.41
Conc. Pb	12.79	1.28	3988.25	8.27	51.99	2.39	4.18	12.15	31.19	86.49	3.20	0.98
Relave Final	977.08	96.19	44.00	0.04	0.08	0.93	5.49	10.24	11.41	10.04	94.88	98.61
Cbza Calc.	1000.00	98.49	419.97	0.34	0.77	0.96	5.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos de laboratorio

En esta prueba experimental se observa un incremento de la recuperación de plomo que tiene una ley de 86,5%, con una calidad de concentrado de 50,99%; el cobre tiene una ley de concentrado de 19,22%, siendo la recuperación de 57.41%. La plata incrementa su recuperación respecto a la prueba anterior que tiene 77,62% y está ligada mayormente en el concentrado de cobre llegando a 32 178,71 g/T. Al incrementar la dosificación de NaCN se deprimió más el fierro, limpiando el concentrado de plomo y cobre. La dosificación de la combinación Z-11/Z-6 se mantuvo en 8 g/T.

4ta prueba experimental

Esta prueba se realizó dosificando reactivos en función a la matriz codificada del diseño factorial fraccionado. NaCN: 35 g/T, pH: 9, Z-11/Z-6: 8 g/T y H-150: 16 g/T. Realizado la prueba de flotación tenemos las respectivas recuperaciones. A continuación, le presentamos la tabla 12 de dosificación de reactivos.

Tabla 12. Reactivos para la flotación

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton						
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS
Molienda	14.15	9.00							
Ro-Bk	3.00		30.00	5.00			16.0		
Scv- Bk	2.00			3.00					
1° Cl Bk	2.00		5.00						
2° Cl Bk	2.00								
3° Cl Bk	2.00								

Realizada las pruebas cíclicas de flotación tenemos las siguientes recuperaciones.

Tabla 13. Balance metalúrgico de la prueba 4

PRODUCTO P-4	Peso gr	% Peso	*** ENSAYES ***					DISTRIBUCION PORCENTUAL				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	10.18	1.02	32080.89	20.18	2.40	1.55	2.43	77.79	60.57	3.18	1.65	0.45
Conc. Pb	12.81	1.28	3998.25	7.42	52.82	2.45	4.58	12.20	28.02	88.00	3.28	1.08
Relave Zinc	977.01	96.19	43.00	0.04	0.07	0.93	5.50	10.01	11.41	8.82	95.07	98.47
Cbza Calc.	1000.00	98.49	419.81	0.34	0.77	0.96	5.46	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos de laboratorio

En la tabla 13 se observa un incremento de la ley de concentrado de plomo a 52,82% y de cobre a 20,18%, de igual manera podemos visualizar la recuperación mejoró a 88% y 60,57% respectivamente. En esta prueba al incrementar la dosificación de NaCN 35 g/T y el pH en 9, se produjo el incremento de depresión de fierro. La dosificación de la combinación del colector se mantuvo en 8 g/T y de igual manera se mantuvo la dosificación de espumante H-150 en 16 g/T. La plata también incremento en su recuperación a 77,79 obteniendo 32 080,89 g/T.

7ma prueba experimental

Esta prueba se realizó dosificando reactivos de acuerdo a la matriz codificada del diseño factorial fraccionado. NaCN: 25 g/T, pH: 9, Z-11/Z-6: 12 g/T y H-150: 16 g/T. Realizado la prueba de flotación tenemos las respectivas recuperaciones. A continuación, le presentamos la tabla de dosificación de reactivos.

Tabla 14. Reactivos para la flotación

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton						
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS
Molienda	14.15	9.00							
Ro-Bk	3.00		20.00	9.00			16.0		
Scv- Bk	2.00			3.00					
1° CI Bk	2.00		5.00						
2° CI Bk	2.00								
3° CI Bk	2.00								

Tabla 15. Balance metalúrgico de la prueba 7

PRODUCTO P-7	Peso gr	% Peso	*** ENSAYES ***					DISTRIBUCION PORCENTUAL				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	10.11	1.02	30460.00	18.69	2.66	2.77	2.41	73.25	55.72	3.51	2.92	0.45
Conc. Pb	12.44	1.28	3774.22	7.39	50.07	4.25	4.85	11.17	27.11	81.00	5.50	1.10
Relave Zinc	977.45	96.19	67.00	0.06	0.12	0.90	5.50	15.58	17.18	15.49	91.58	98.45
Cbza Calc.	1000.00	98.49	420.39	0.34	0.77	0.96	5.46	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos de laboratorio

En la tabla 15 se observa que incrementa la recuperación de plomo a 81%, sin embargo, la recuperación de cobre baja a 55,72% esto se debe posiblemente al incremento de NaCN que origina la depresión de cobre, que al aumentar la combinación de colector a 16 g/T activo el zinc ensuciando el concentrado de cobre. La plata baja en su recuperación a 73,25% y se incrementa en el relave a 67,0 g/T.

9na prueba experimental

Esta prueba se realizó dosificando reactivos con los puntos centrales del diseño de la matriz codificada del diseño factorial fraccionado. NaCN: 30 g/T, pH: 8.5, Z-11/Z-6: 10 g/T y H-150: 18 g/T. Realizado la prueba de flotación tenemos las respectivas recuperaciones. A continuación, le presentamos la tabla de dosificación de reactivos.

Tabla 16. Reactivos para la flotación

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos gr/ton						
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS
molienda	14.15	8.5							
Ro-Bk	3.00		25.00	7.00			18.0		
Scv- Bk	2.00			3.00					
1° Cl Bk	2.00		5.00						
2° Cl Bk	2.00								
3° Cl Bk	2.00								

Con los parámetros establecidos se proceda a realizar las pruebas teniendo los siguientes resultados.

Tabla 17. Balance metalúrgico de la prueba 9

PRODUCTO P-9	Peso gr	% Peso	*** ENSAYES ***					DISTRIBUCION PORCENTUAL				
			Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Cu	10.15	1.02	32168.89	20.23	2.88	1.82	2.11	77.77	60.54	3.80	1.93	0.39
Conc. Pb	12.84	1.28	3998.25	7.41	50.90	2.37	4.28	12.23	28.05	85.00	3.18	1.01
Relave Zn	977.01	96.19	43.00	0.04	0.09	0.93	5.51	10.01	11.41	11.20	94.89	98.60
Cbza Calc.	1000.00	98.49	419.86	0.34	0.77	0.96	5.46	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos de laboratorio

En la tabla 17 observamos, el plomo incrementa su recuperación a 85%, de igual manera el cobre mejora su recuperación a 60,54%. También se observa que la calidad del concentrado de plomo mejora a 50,90%, así como también el concentrado de cobre en 20,23%. De igual manera la recuperación de plata mejora en 77,77% encontrándose en el cobre con 32 168,89 g/T. En esta prueba la dosificación de reactivos se mantuvo de acuerdo a lo planificado en el diseño factorial fraccionado.

Con las recuperaciones obtenidas de las pruebas experimentales procedemos a alimentar al software estadístico del Minitab y correr los datos.

Tabla 18. Corrida de las pruebas con Minitab

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	NaCN	pH	Z-11/Z-6	H-150	Recuperación
1	1	1	1	1	25	8.0	8	16	83.7
2	2	2	1	1	35	8.0	8	20	86.5
3	3	3	1	1	25	9.0	8	20	83.5
4	4	4	1	1	35	9.0	8	16	88.0
5	5	5	1	1	25	8.0	12	20	80.0
6	6	6	1	1	35	8.0	12	16	82.4
7	7	7	1	1	25	9.0	12	16	81.0
8	8	8	1	1	35	9.0	12	20	84.0
9	9	9	0	1	30	8.5	10	18	85.0
10	10	10	0	1	30	8.5	10	18	84.9

En la tabla 18 se observa, que la cuarta prueba tiene una recuperación más alta en comparación con las otras pruebas, siendo la recuperación del plomo de 88%. También, se aprecia que la segunda prueba alcanza una recuperación de 86,5%, seguido de la novena prueba que tenemos un 85% de recuperación.

También, tenemos los efectos promedios de los factores estudiados que enseguida le presentamos:

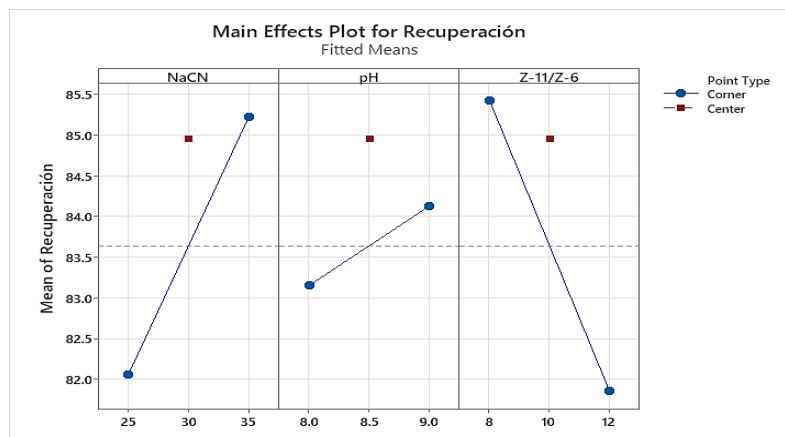
Tabla 19. Coeficientes codificados

Termino	Effect
Constante	84.606
NaCN	3.175
Ph	0.975
Z-11/Z-6	-3.575

Análisis de efectos

En primer lugar, podemos mencionar que el NaCN tiene un valor de 3,175 positivo, seguido del efecto de la combinación Z-11/Z-6 que tiene un valor negativo de -3,575, siendo el valor más alto. El efecto del pH es positivo con un valor de 0,975. De lo mencionado líneas arriba podemos deducir que el colector está trabajando con su nivel máximo por lo tanto se tiene que mantener como una constante. El NaCN favorece en la recuperación del plomo, debido a que se viene trabajando con su nivel mínimo, pudiendo maximizarse la recuperación del plomo. El control del pH también favorece con las condiciones de la flotación. Lo mencionado lo podemos observar en la figura de efectos.

Figura 3. Efectos medios de la recuperación de plomo



Nota. Imagen obtenida del Minitab.

De lo mencionado líneas arriba, lo manifestado se comprueba mediante el análisis de variancia, que en seguida se presenta en la tabla 20.

Tabla 20. Análisis de Varianza

Fuente de variación	Suma cuadrados	Grado de libertad	Media cuadrados	F-Value	P-Value
NaCN	20.1613	1	20.1613	68.11	0.000
pH	1.9013	1	1.9013	6.42	0.052
Z-11/Z-6	25.5613	1	25.5613	86.36	0.000
Curvatura	2.7563	1	2.7563	9.31	0.028
Error	1.4800	5	0.2960		
Total	51.8600	9			

Coeficiente correlación 95,00%

En la tabla 20 se observa que el factor que tiene mayor influencia es la combinación de los colectores Z-11/Z-6, seguido por el cianuro de sodio, esto lo deducimos por el valor de P-value que es 0,000 y 0,000 respectivamente. De igual manera, se observa que hay un posible efecto de curvatura por el valor de 0,028. Para un coeficiente de correlación de 95.00%.

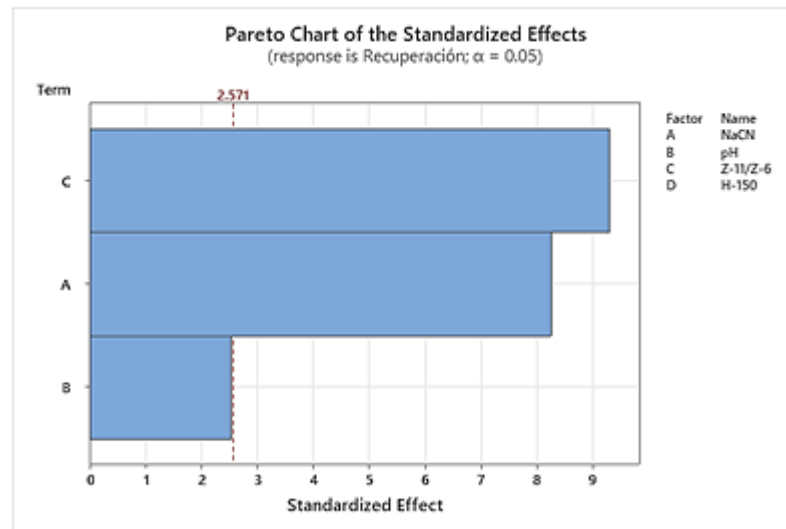
El valor F para la tabla para un 95% de significancia, observamos F-Ratio del factor colector es 86,36, por lo tanto, este factor es significativo y tiene una influencia alta en la recuperación de plomo. De igual manera el NaCN tiene un F-Ratio de 68,11. Por lo que se corrobora que estos factores son una variable y se encuentra en su nivel mínimo y se puede maximizar y a la vez es una variable en el proceso.

El modelo matemático del proceso se presenta

$$\text{Recup. Pb} = 74.76 + 0.317 \text{ NaCN} + 0.975 \text{ pH} - 0.893 \text{ Z-11/Z-6} + 1.313 \text{ Ct Pt}$$

En el modelo matemático se observa, que la constante es positiva y viene hacer el promedio de los valores del vector respuesta, así mismo es el valor inicial del proceso en estudio, el signo positivo de la constante nos indica que se encuentra en su valor mínimo y puede ser maximizado para alcanzar el valor optimo, que depende de los factores NaCN, pH, combinación de colectores Z-11/Z-6 y los puntos centrales.

Figura 4. Efectos estandarizados de Pareto



En el diagrama de Pareto se observa que los factores más significativos son la combinación de colectores Z-11/Z-6 y el NaCN, porque están por encima del punto crítico de $t=2,571$. Además, se observa que el pH se encuentra por debajo del punto crítico de Pareto por lo que no es significativo. El espumante no se observa en el diagrama de Pareto porque en la selección de factores no tiene influencia en el proceso.

4.2.3. Efectos de los reactivos en la flotación de zinc

Las pruebas se realizaron adicionando sulfato de cobre, activando al sulfuro de zinc, se incrementó el pH en el rango de 10,5 a 11,5. A continuación les presentamos las condiciones de flotación de zinc.

Condiciones de la Flotación de Zinc

Flotación Rougher Zinc:

- Cal : 750 gr/TM
- pH de flotación : 10.5 – 11,5
- Tiempo Acondicionamiento : 5 minutos
- sulfato de Cobre : 175 gr/TM
- Z-11/Z-6 : 10,5 gr/TM

- Espumante H-150 : 12,5 gr/TM
- Flotación : 3 minutos

Flotación scavenger zinc:

- sulfato de Cobre : 25 gr/TM
- Z-11/Z-6 : 7,50 gr/TM
- Tiempo de flotación : 2 minutos

Flotación Cleaner zinc I:

- Cal : 150 gr/TM
- pH : 11.60
- Tiempo de flotación : 3 minutos

Flotación Cleaner zinc II:

- Cal : 150 gr/TM
- pH : 11,60
- Tiempo de flotación : 3 minutos

Flotación Cleaner zinc III:

- Cal : 150 gr/TM
- pH : 11,60
- Tiempo de flotación : 2 minutos

En el desarrollo de las pruebas experimentales aplicamos el diseño factorial.

A continuación, le presentamos el diseño del estudio con sus respectivos parámetros.

Ver tabla

Tabla 21. *Parámetros de flotación de sulfuro de zinc*

Factores	Nivel (-)	Nivel (+)
X1: pH	10,50	11,50
X2: CuSO ₄	170	190
X3: Z-11/Z-6	16	20

Aplicando el diseño factorial para las variables en estudio tenemos:

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

En la tabla siguiente le presentamos la dosificación de reactivos en las diferentes etapas de la flotación cíclica.

Tabla 22. *Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc*

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/T						
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	RCS	ZnSO4
molienda	14.15	9.40							100.00
Ac Zn 1°	3.00	10.50			500.00				
Ac Zn 2°	2.00				200.00	125.00			
Ro Zn	3.00			10.00			12.5		
Scv- Zn	2.00			7.50		25.00			
1°Cl Zn	2.00	11.50			200.00				
2°Cl Zn	2.00	11.50			200.00				
3° Cl Zn	2.00	11.50			100.00				
Total, gr/ton			35.00	35.00	1,200.00	150.00	34.34	40.00	100.00

Nota: Elaborado por el tesista

Con los parámetros ya establecidos se procedió a realizar las pruebas experimentales aplicando el diseño codificado del diseño factorial.

Tabla 23. *Matriz codificada del diseño factorial en la flotación de zinc*

N°	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

Primera prueba de flotación

Con los parámetros definidos se procedió a realizar las pruebas experimentales para cada una de las corridas. Esta corrida se realizó a un pH de 10.5, CuSO₄ a 170 g/T y la combinación Z-11/Z-6 a 16 g/T. Ver tabla 24

Tabla 24. Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/T									
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	RCS	ZnSO4			
Ac Zn 1°	3.00	10.50			400.00							
Ac Zn 2°	2.00				200.00	150.00						
Ro Zn	3.00			10.00				12.5				
Scv- Zn	2.00			6.00			20.00					
1°Cl Zn	2.00	10.50			200.00							
2°Cl Zn	2.00	10.50			100.00							
3° Cl Zn	2.00	10.50			100.00							
Total, gr/ton		10.50		16.00	1,000.00	170.00	34.34					

Nota: Elaborado por el tesista

Realizada las pruebas tenemos las respectivas recuperaciones que se presenta en la tabla 25

Tabla 25. Balance metalúrgico de la prueba 01

Producto P-1	Peso g	% peso	Ensaye					Recuperación				
			Ag g/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Zn	13.81	1.38	496.47	0.86	1.32	43.21	17.12	12.88	16.72	31.61	76.12	4.57
Relave Zn	986.19	98.62	47.02	0.06	0.04	0.19	5.01	87.12	83.28	68.39	23.88	95.43
Cabeza Cal.	1000.00	100.00	53.23	0.07	0.06	0.78	5.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

En esta prueba se observa, que la recuperación de zinc es 76,12 %, con una calidad de concentrado de 43,21; además se observa, el desplazamiento de fierro en el concentrado de zinc es alto que esta con 17,12%. Al trabajar con un pH bajo de 10,5 no se logra deprimir el fierro.

Tercera prueba de flotación

Esta prueba experimental se realizó a un pH de 10.5 se mantuvo este parámetro respecto a la prueba anterior, de igual manera se mantuvo la dosificación de la combinación Z-11/Z-6 a 16 g/T. Se incremento la dosificación del CuSO₄ a 190 g/T. Ver tabla 26

Tabla 26. Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/T									
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	RCS	ZnSO4			
Ac Zn 1°	3.00	11.50			500.00							
Ac Zn 2°	2.00				200.00		170.00					
Ro Zn	3.00			10.00					12.5			
Scv- Zn	2.00			6.00				20.00				
1°Cl Zn	2.00	11.50					200.00					
2°Cl Zn	2.00	11.50					200.00					
3° Cl Zn	2.00	11.50					100.00					
Total, gr/ton		11.50		16.00	1,200.00		190.00		12.5			

Nota: Elaborado por el tesista

Con los parámetros ya establecidos se procedió a correr la respectiva prueba experimental. En seguida le presentamos los resultados de esta prueba en la tabla 27

Tabla 27. Balance metalúrgico de la prueba 03

Producto P-3	Peso g	% peso	Ensaye					Recuperación				
			Ag g/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Zn	14.44	1.44	500.61	0.89	1.33	42.39	15.42	13.58	18.15	33.36	78.10	4.30
Relave Zn	985.56	98.56	46.67	0.06	0.04	0.17	5.03	86.41	81.84	66.64	21.90	95.70
Cabeza Cal.	1000.00	100.00	53.23	0.07	0.06	0.78	5.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

En esta prueba se observa, que la recuperación de zinc es 76,12 %, con una calidad de concentrado de 43,21; además se observa, el desplazamiento de fierro en el concentrado de zinc es alto que esta con 17,12%. Al trabajar con un pH bajo de 10,5 no se logra deprimir el fierro.

Sexta prueba de flotación

Esta prueba experimental se trabajó a un pH de 11.5, la dosificación del CuSO₄ se mantiene también en 170 g/T y se incrementa la dosificación de la combinación del colector Z-11/Z-6 a 20 g/T. Ver tabla 28

Tabla 28. Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/T							
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	RCS	ZnSO4	
Ac Zn 1°	3.00	11.50			500.00					
Ac Zn 2°	2.00				200.00	150.00				
Ro Zn	3.00			14.00			12.5			
Scv- Zn	2.00			6.00		20.00				
1°Cl Zn	2.00	11.50			200.00					
2°Cl Zn	2.00	11.50			200.00					
3° Cl Zn	2.00	11.50			100.00					
Total gr/ton		11.50		20.00	1,200.00	170.00	12.5			

Nota: Elaborado por el tesista

Con los parámetros ya establecidos se procedió a correr la respectiva prueba experimental. En seguida le presentamos los resultados de esta prueba en la tabla 29

Tabla 29. Balance metalúrgico de la prueba 06

Producto P-6	Peso g	% peso	Ensaye					Recuperación				
			Ag g/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Zn	15.83	1.58	440.01	0.77	1.22	42.68	15.61	13.08	17.11	33.32	83.18	4.77
Relave Zn	984.18	98.42	47.01	0.06	0.04	0.14	5.01	86.92	82.89	66.68	16.82	95.23
Cabeza Cal.	1000.00	100.00	53.23	0.07	0.06	0.81	5.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

En esta prueba se observa, que la recuperación de zinc es 83,18 %, con una calidad de concentrado de 42,68; además se observa, el desplazamiento de fierro en el concentrado de zinc es alto que esta con 15,61%. Al trabajar con un pH de 10,5 no se logra deprimir el fierro y de esta manera contaminando el concentrado de zinc.

Séptima prueba de flotación

Esta prueba experimental se trabajó a un pH de 10,5, la dosificación del CuSO₄ se incrementó respecto a la prueba anterior a 190 g/T, de igual manera se incrementó la dosificación de la combinación del colector Z-11/Z-6 a 20 g/T. Ver tabla 30

Tabla 30. Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/T									
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	RCS	ZnSO4			
Ac Zn 1°	3.00	10.50			400.00							
Ac Zn 2°	2.00				200.00		170.00					
Ro Zn	3.00			14.00				12.5				
Scv- Zn	2.00			6.00			20.00					
1°Cl Zn	2.00	10.50			100.00							
2°Cl Zn	2.00	10.50			200.00							
3° Cl Zn	2.00	10.50			100.00							
Total, gr/ton		10.50		20.00	1,000.00		190.00	12.5				

Nota: Elaborado por el tesista

Con los parámetros ya establecidos se procedió a correr la respectiva prueba experimental. En seguida le presentamos los resultados de esta prueba en la tabla 31

Tabla 31. Balance metalúrgico de la prueba 07

Producto P-7	Peso g	% peso	Ensaye					Recuperación				
			Ag g/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Zn	16.15	1.62	478.01	0.75	1.19	49.12	14.61	14.50	17.10	33.30	85.69	4.55
Relave Zn	983.85	98.39	46.29	0.06	0.04	0.12	5.02	85.50	82.90	66.70	14.31	95.45
Cabeza Cal.	1000.00	100.00	53.26	0.07	0.06	0.91	5.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

En esta prueba se observa, que la recuperación de zinc es 86,69 %, con una calidad de concentrado de 49,12; además se observa, el desplazamiento de fierro en el concentrado de zinc es 14,61%. Se mejoro la calidad de concentrado, debido al incremento de colector y sulfato de cobre.

Octava prueba de flotación

Esta prueba experimental se trabajó a un pH de 11.5, la dosificación del CuSO₄ se mantiene también en 190 g/T y se incrementa la dosificación de la combinación del colector Z-11/Z-6 a 20 g/T. Ver tabla 32

Tabla 32. Reactivos dosificados en las etapas de flotación de zinc

Nombre:	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/T							
			NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	RCS	ZnSO4	
Ac Zn 1°	3.00	11.50			500.00					
Ac Zn 2°	2.00				200.00	170.00				
Ro Zn	3.00			14.00			12.5			
Scv- Zn	2.00			6.00		20.00				
1°Cl Zn	2.00	11.50			200.00					
2°Cl Zn	2.00	11.50			200.00					
3° Cl Zn	2.00	11.50			100.00					
Total, gr/ton		11.50		20.00	1,200.00	190.00	12.5			

Nota: Elaborado por el tesista

Con los parámetros ya establecidos se procedió a correr la respectiva prueba experimental. En seguida le presentamos los resultados de esta prueba en la tabla 33

Tabla 33. Balance metalúrgico de la prueba 08

Producto P-8	Peso g	% peso	Ensaye					Recuperación				
			Ag g/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. Zn	16.20	1.62	476.15	0.78	1.14	49.91	12.01	14.49	16.99	31.94	88.00	3.73
Relave Zn	983.80	98.38	46.26	0.06	0.04	0.11	5.07	85.50	83.01	68.06	12.00	96.27
Cabeza Cal.	1000.00	100.00	53.22	0.07	0.06	0.92	5.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota. Datos obtenidos de laboratorio

En esta prueba se observa, que la recuperación de zinc es 88,00 %, con una calidad de concentrado de 49,91; además se observa, el desplazamiento de hierro en el concentrado de zinc bajo a 12,01%. Al trabajar con un pH a 11.5 se logró un poco bajar el hierro.

Los datos obtenidos de recuperación obtenidos del balance metalúrgico se alimentan al programa estadístico del Minitab, como se observa en la tabla 34.

Tabla 34. Corridas de las pruebas experimentales con Minitab en la flotación de zinc

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	pH	CuSO4	Z-11/Z-6	Recp. Zn
1	1	1	1	1	10.5	170	16	76.12
2	2	2	1	1	11.5	170	16	78.00
3	3	3	1	1	10.5	190	16	78.10
4	4	4	1	1	11.5	190	16	77.54
5	5	5	1	1	10.5	170	20	79.42
6	6	6	1	1	11.5	170	20	83.18
7	7	7	1	1	10.5	190	20	85.69
8	8	8	1	1	11.5	190	20	88.00

En esta tabla se observa que la máxima recuperación es de 88,0 % de zinc, de igual manera en la prueba siete la recuperación es aceptable que es 85,69%.

Los datos obtenidos con el Minitab se presentan en seguida, obteniéndose los efectos promedios como se observa en la tabla 35.

Tabla 35. Coeficientes codificados

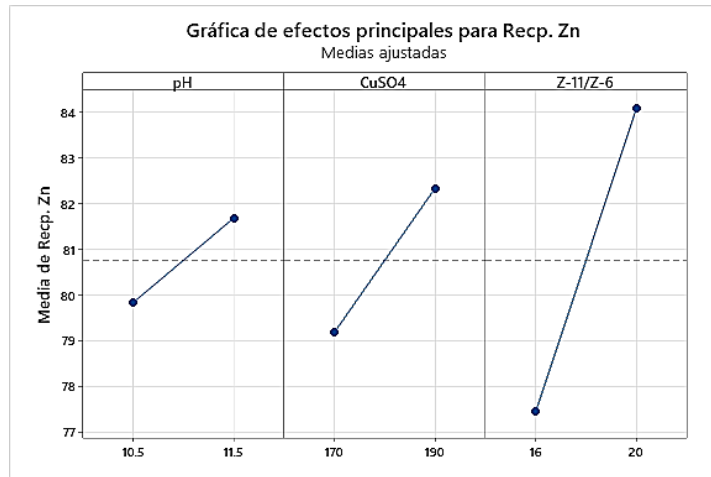
Término	Efecto
Constante	80.756
pH	1.848
CuSO ₄	3.152
Z-11/Z-6	6.633
pH*CuSO ₄	-0.972
pH*Z-11/Z-6	1.187
CuSO ₄ *Z-11/Z-6	2.392

Análisis de los efectos

De la tabla N° podemos visualizar que la combinación de colectores Z-11/Z-6, CuSO₄ y pH son positivos que tienen valores de 6,633, 3,152 y 1,848 respectivamente, por lo que están con su nivel mínimo, por lo que tienen que ser maximizados, es decir los tres son variables y deberán ser optimizados y establecidos su rango de trabajo óptimo.

Gráficamente podemos visualizar que el efecto medio del vector respuesta nos indica que el orden de mayor significancia es el factor Z-11/Z-66 seguido del factor CuSO₄ y pH, esto lo deducimos por la pendiente.

Figura 5. Efectos principales



Para corroborar y aseverar lo manifestado líneas arriba, hacemos uso del análisis de varianza una vez calculado la suma de cuadrados y media de cuadrados en la que tenemos en la tabla 36

En esta prueba no se realizó prueba con los puntos centrales, por tal motivo la interacción triple lo asumimos como error, esto debido al valor bajo obtenido.

Tabla 36. Análisis de Varianza

Fuente	SC	GL	MC	Valor F	Valor p
pH	6.827	1	6.8265	55.72	0.085
CuSO ₄	19.877	1	19.8765	162.24	0.050
Z-11/Z-6	87.980	1	87.9801	718.13	0.024
pH*CuSO ₄	1.892	1	1.8915	15.44	0.159
pH*Z-11/Z-6	2.820	1	2.8203	23.02	0.131
CuSO ₄ *Z-11/Z-6	11.448	1	11.4481	93.44	0.066
Error	0.123	1	0.1225		
Total	130.966	7			

Nota. Coeficiente de correlación de R-99.91%

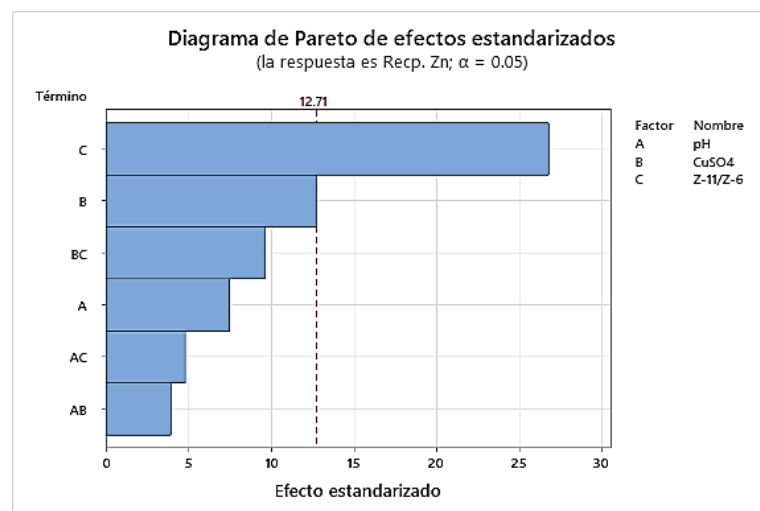
Del análisis de varianza, el factor que tiene mayor significancia es la combinación de colector Z-11/Z-6 por el valor de 0,025, seguido del factor sulfato de cobre que tiene un valor de 0,05 para un coeficiente de correlación de 99,91%.

El modelo matemático para el proceso es:

$$\text{Recp. Zn} = 121.0 + 8.66X_1 + 0.151X_2 - 15.64X_3 - 0.097X_1X_2 + 0.594X_1X_3 + 0.0598X_2X_3$$

La constante del modelo matemático es positiva, viene hacer el promedio de los valores del vector respuesta. Así mismo viene hacer el valor inicial del proceso, el valor positivo del de la constante nos indica que está en el valor mínimo y puede ser maximizado, para llegar al valor óptimo que depende del factor Z-11/Z-6 y del factor CuSO_4 .

Figura 6. Diagrama de efectos de Pareto



Nota. Imagen obtenida del Minitab

En el diagrama de Pareto se aprecia que el factor que tiene mayor influencia en el proceso es Z-11/Z-6 seguido del factor sulfato de cobre que tienen influencia en la recuperación de zinc. El factor pH no tiene influencia esto lo deducimos por el valor del punto crítico de $t = 12,71$

4.3. Prueba de Hipótesis

La contrastación de la hipótesis se realiza en función de la hipótesis general que se propuso en la tesis.

Hipótesis Nula H_0

La flotación selectiva no influye en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.

Hipótesis alterna H₁

La flotación selectiva influye en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.

4.3.1. Estadístico de prueba

La demostración de la hipótesis del estudio se realiza mediante la comparación de recuperaciones de las pruebas obtenidas con las recuperaciones promedio obtenido en planta concentradora que es 79%

$$H_0: \mu = 79$$

$$H_1: \mu > 79$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,10$$

Estadístico de prueba

$$n_1 = 8$$

$$\bar{Y}_1 = 84,73$$

$$S^2 = 3,20$$

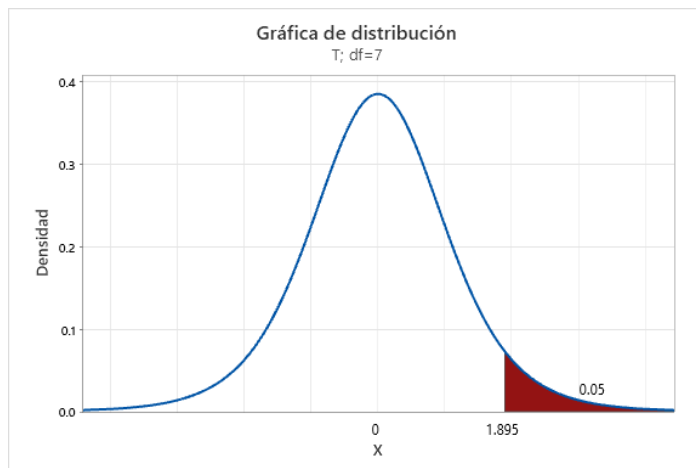
$$S_1 = 1,79$$

$$t_c = \frac{\bar{y} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$
$$t_c = \frac{84,73 - 79}{\frac{3,20}{\sqrt{8}}} = 9,06$$

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

De tablas $t_{(7,0,05)} = 1,89$

$t_c > t_t$ reemplazando valores $9,06 > 1.89$



Como 9,06 es mayor que 1,895 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Decisión

Se acepta la Hipótesis Alterna

Conclusión

La flotación selectiva influye en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huaron, para un nivel de significancia de 0,05%

4.4. Discusión de resultados

En la tesis nos propusimos como objetivo determinar el efecto de la flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata a nivel batch en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, con la determinación de las características físicas y químicas del mineral, grado de liberación y dosificación de reactivos como cal, sulfato de cobre y Z-11/Z-6 se logró demostrar la hipótesis general de la tesis con un t calculado $9,06 > t$ tabla 1,89.

La gravedad específica del mineral es $3,11 \text{ g/cm}^3$ que es un parámetro importante en la flotación y molienda de mineral, que nos da a conocer que el mineral es pesado, el work index determinado es $13,85 \text{ Kw-h/TM}$ y nos sugiere que el mineral

tiene una dureza media y por ultimo los análisis químicos del mineral de cabeza nos da la referencia las leyes del mineral que están ingresando al proceso de flotación siendo un mineral con bajas leyes de cobre 0,34%, plomo 0,77% y zinc 0,96%, el fierro también se encuentra bajo con 5,46%. Todos estos parámetros tienen influencia en la flotación selectiva del mineral.

El grado de liberación del mineral es 55% - 200 mallas, que se obtuvo en un tiempo de 11,15 minutos, siendo este dato relevante para la flotación donde la mena se libera de la ganga y tiene efecto directo en la recuperación de cobre, plomo y zinc.

La dosificación de reactivos en la flotación cobre, plomo se determinó que el NaCN se debe dosificar en 35 g/T, los colectores Z-11/Z-6 se debe dosificar a 8 g/T y el espumante H-150 en 6 g/T, que al final es indiferente si adicionas un poco más o menos en el rango establecido, estos parámetros tienen influencia en la recuperación de 88% de plomo y 60,57% de cobre y la plata alcanzo una recuperación de 77,79%. En la flotación de zinc también se tuvo buenos resultados alcanzando una recuperación de 88% con una calidad de concentrado de 49,91%, en la que se dosifico reactivos de flotación, siendo el factor mas importante el Z-11/Z-6 con 20 g/T seguido por el sulfato de cobre (CuSO_4) con 190 g/T y la dosificación de cal controlando el pH en el rango de 10,50 a 11.50.

CONCLUSIONES

En la tesis se determinó que la flotación selectiva tiene influencia en la recuperación de cobre, plomo y zinc donde la dosificación de los reactivos de flotación como NaCN, cal, CuSO₄ y combinación de colectores Z-11/Z-6 favorecieron en la recuperación de los metales mencionados. De acuerdo al primer objetivo específico se determinó que la gravedad específica del mineral es 3,11 g/cm³, el work index es 13,6 Kw-h/Tm y el ensaye químico nos sugiere que el mineral es de baja ley tanto el cobre, plomo y zinc, que tiene 0,34%, 0,77% y 0,96%.

De acuerdo al segundo objetivo específico se determinó que el grado de liberación es de 55% - 200 mallas en la que se tiene una buena liberación de la mena y que al final tiene influencia en la recuperación de cobre, plomo y zinc.

De acuerdo al tercer objetivo específico se determinó que los reactivos dosificados tienen influencia en la recuperación de cobre, plomo y zinc dentro de los parámetros establecidos. En la recuperación de cobre y plomo se dosifico NaCN 35 g/T, colector Z-11/Z-6 8 g/T, la dosificación del espumante H-150 no tiene demasiado influencia dentro del rango de parámetro establecido; se alcanzó 60,57% de recuperación de cobre, plomo 88 % con una calidad de concentrado de 20,18% y 52,82% de plomo. En la flotación de zinc se dosifico cal con 1200 g/T alcanzando a 11,5 de pH, sulfato de cobre 190 g/T y combinación de colectores Z-11/Z-6 en 20 g/T donde se tuvo una buena recuperación de 88% zinc con una calidad de concentrado de 49,91%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda optimizar la selección y dosificación de reactivos en la flotación selectiva, así como ajustar las condiciones operativas, para maximizar la recuperación de metales y mejorar la calidad de los concentrados, contribuyendo a la rentabilidad y sostenibilidad de la operación minera.

Se recomienda monitorear y ajustar continuamente el pH durante el proceso de flotación para mejorar la recuperación de metales y mejorar la eficiencia del proceso de concentración.

Se recomienda optimizar los tiempos de flotación y las condiciones operativas para mejorar la recuperación de metales y la calidad de los concentrados en la Planta Concentradora.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvino Justo, E. T., & Valle Ccanto, F. (2019). *Incremento de la recuperación de cobre a partir de minerales polimetálicos en la Unidad Minera Cerro Lindo – Nexa Resources*. Junin - Peru: Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. Caracas - Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A.
- Carvo Cuellar, K. E., & Aguirre Galindo, B. (2023). *Caracterización geometalúrgica del mineral veta farallon NV 180 y los parámetros de flotación de minerales polimetálicos en la Compañía Minera Huaron S.A*. Huancayo - Junin - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- De la Rosa Canales, J. M. (2013). *Flotación Selectiva de Minerales Sulfuros de Plomo - Zinc*. México: Repositorio Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gallegos Caceres, C. A. (2018). *Evaluación de la recuperación de plata en la Unidad Minera Cerro Lindo*. Arequipa - Peru: Repositorio de la Universidad de San Agustín de Arequipa.
- Hernandez Sampieri, R. C., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- N.Kerlinger , F. (1975). *Investigación del comportamiento: técnicas y metodología*. Mexico: Nueva Editorial Interamericana.
- Peñuelas, M. A. (2010). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN*. Mexico: D.R. Universidad Autonoma de Sinalga.
- Tamayo y Tamayo, M. (2000). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa.

ANEXOS

Instrumento de Recolección de Datos

Herramienta	Descripción	Definición
Equipos	Balanza	Instrumento utilizado para medir la masa o peso de un objeto. Se emplea para pesar con precisión los reactivos y muestras en la preparación de soluciones.
	Molino de bolas	es un equipo rotatorio diseñado para triturar y pulverizar materiales mediante el impacto y la fricción.
	Celda de Flotación	Con este equipo se obtuvo el concentrado y relave en una bandeja que posteriormente se sometió a un secado
	Potenciómetro	Instrumento que mide la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito. Se utiliza para medir el pH de manera precisa.
	Chancadora	Son máquinas diseñadas para reducir el tamaño físico de las rocas extraídas de la mina
	Equipo de Absorción Atómica	Este equipo nos reportará los ensayos tanto de la ley de cabeza concentrado y relave de las pruebas metalúrgicas.
	Cronometro	Instrumento que mide y registra el tiempo transcurrido con precisión para las pruebas.
Materiales	Reporte de ensaye	Se utilizó para obtener los resultados de las pruebas experimentales.
	Cuaderno de campo	Libro o libreta donde se registran las observaciones, mediciones y datos obtenidos durante los experimentos o análisis de pruebas.
	Cámara	Dispositivo que captura imágenes o videos de los procesos y procedimientos realizados en las pruebas en laboratorio o campo.
	Flowsheet Prueba estándar	Serie de pruebas que se realizó para obtener información de campo o laboratorio

Nota: Autoría Propia

Matriz de Consistencia

Efecto de la Flotación Selectiva en la Recuperación de Plomo, Cobre, Zinc y Plata a nivel Bach en la Planta Concentradora Pan American Silver Huarón, Pasco 2023.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
¿Cuál es el efecto de la flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de la flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la flotación selectiva influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	VARIABLE INDEPENDIENTE	<p style="text-align: center;">Enfoque investigación cuantitativa. Tipo de investigación aplicada - tecnológica. Nivel explicativo. Población: mineral de la zona intermedia nivel 100 estructura Maritza Ramal Tj 869. Muestra: 50 kg del sub grupo de la población proporcionada por la empresa Pan American Silver Huarón</p>
			Flotación Selectiva	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿Cuál es el efecto de los reactivos de flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de los reactivos de flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que los reactivos de la flotación selectiva estudiada influyen significativamente en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	Recuperación Metalúrgica	
¿Cuál es el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de hidrogeno influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.		
¿Cuál es el efecto de la cinética de flotación selectiva de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de la cinética de flotación selectiva en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la cinética de flotación selectiva estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo, cobre y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.		