

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



T E S I S

**Efecto del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación
Rougher Zinc en la Empresa Pan American Silver Huaron – Pasco -2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Cristhian MALLQUI CHAMORRO

Bach. Alejandro Héctor VERDE HERRERA

Asesor:

Mg. Pelayo Hugo VASQUEZ BERROCAL

Cerro de Pasco – Perú – 2025

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



T E S I S

**Efecto del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación
Rougher Zinc en la Empresa Pan American Silver Huaron – Pasco -2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN
MIEMBRO

Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 336-2025-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

**Efecto del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación
Rougher Zinc en la Empresa Pan American Silver Huaron – Pasco - 2023.**

Apellidos y nombres de los tesistas

Bach. Cristhian MALLQUI CHAMORRO

Bach. Alejandro Héctor VERDE HERRERA

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Pelayo Hugo VASQUEZ BERROCAL

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

8 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 21 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.10.2025 16:08:37 -05:00

DEDICATORIA

A MIS PADRES,

Dedicamos este trabajo de investigación con profunda gratitud y amor a mis padres, quienes con esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional me han guiado a lo largo de mi formación personal y profesional. Su ejemplo de perseverancia y valores ha sido el pilar fundamental de este logro.

Asimismo, expreso mi sincero reconocimiento a nuestros maestros, por compartir con generosidad sus conocimientos, por su orientación constante y por sembrar en mí la pasión por la investigación y la ciencia. Gracias por formar parte esencial de este camino académico.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su amor, apoyo incondicional y constante motivación. Gracias por ser mi inspiración y sostén en cada momento difícil y por confiar siempre en mis capacidades.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme la formación académica que ha sido la base de este trabajo, y a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por compartir sus conocimientos y experiencias con compromiso y dedicación.

Agradecemos de manera especial a la empresa Pan American Silver Huaron por permitir la realización de esta investigación en sus instalaciones, brindando el acceso a sus recursos técnicos y humanos, lo cual fue fundamental para el desarrollo de este estudio.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de estudio, por su compañía, colaboración y valiosas enseñanzas durante esta etapa universitaria.

RESUMEN

La presente investigación analiza el impacto del uso del reactivo Tionocarbamato (MC-200) en la recuperación de zinc durante la etapa de flotación rougher en la empresa Pan American Silver Huaron, ubicada en la región Pasco, durante el año 2023. El estudio responde a la necesidad de mejorar la eficiencia del proceso de flotación de zinc, evaluando tres variables críticas: la dosificación del Tionocarbamato, el potencial de hidrógeno (pH) y la densidad de pulpa.

El problema central que guía esta investigación es: ¿Cuál es el efecto del Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron – Pasco – 2023? Para responderlo, se llevaron a cabo ensayos metalúrgicos batch en laboratorio con una muestra representativa de 20 kilogramos de mineral, bajo un enfoque cuantitativo, aplicado-tecnológico, de nivel explicativo.

Desde el punto de vista teórico, se destaca la capacidad del Tionocarbamato para formar complejos con el zinc, mejorando su flotabilidad respecto a colectores tradicionales. Prácticamente, los ensayos permitieron evaluar distintas condiciones operativas y sus efectos sobre la recuperación. Metodológicamente, se utilizó un diseño explicativo, basado en comparaciones estadísticas mediante pruebas t para muestras relacionadas.

Los resultados revelan que el uso del Tionocarbamato generó una mejora promedio del 1.90% en la recuperación de zinc (de 82.51% a 84.41%) en el primer set de ensayos, y de 3.41% en la réplica (de 80.27% a 83.68%). Sin embargo, esta mejora no fue estadísticamente significativa (valor $p = 0.1764$). Además, se identificó que el pH, aunque se incrementó ligeramente con el uso de MC-200 (de 7.5 a 8.0), no influyó significativamente en la recuperación. En contraste, sí se encontró una relación significativa entre la densidad de pulpa y la eficiencia de recuperación, siendo más favorable a 1.3 g/cm³ que a 1.2 g/cm³.

Las conclusiones confirman que, aunque el Tionocarbamato tiene un efecto positivo en la recuperación de zinc, este no alcanza significancia estadística bajo las condiciones ensayadas. La densidad de pulpa, en cambio, sí mostró un impacto relevante, por lo que se sugiere su optimización como una vía más efectiva para mejorar la recuperación.

Finalmente, se recomienda seguir explorando el uso del Tionocarbamato como colector complementario en combinación con otros reactivos tradicionales, especialmente bajo condiciones operativas más agresivas o complejas. Asimismo, es fundamental realizar pruebas piloto a escala industrial y establecer curvas de dosificación que permitan validar su rendimiento de manera más robusta y aplicable al entorno real de planta.

Palabras clave: Tionocarbamato, zinc, flotación Rougher, recuperación metalúrgica, densidad de pulpa, potencial de hidrógeno (pH).

ABSTRACT

This research analyzes the impact of using the reagent Tionocarbamate (MC200) on zinc recovery during the rougher flotation stage at Pan American Silver Huaron, located in the Pasco region, in 2023. The study addresses the need to improve the efficiency of the zinc flotation process by evaluating three critical variables: the dosage of Tionocarbamate, pH (hydrogen ion concentration), and pulp density.

The central problem guiding this research is: What is the effect of Tionocarbamate on zinc recovery in the Rougher Zinc flotation at Pan American Silver Huaron – Pasco – 2023? To answer this, batch metallurgical tests were conducted in the laboratory with a representative sample of 20 kilograms of ore, using a quantitative, applied-technological, explanatory-level approach.

From a theoretical perspective, the ability of Tionocarbamate to form complexes with zinc is highlighted, improving its flotation properties compared to traditional collectors. Practically, the tests allowed for the evaluation of different operational conditions and their effects on recovery. Methodologically, an explanatory design was used, based on statistical comparisons using t-tests for related samples.

The results reveal that the use of Tionocarbamate led to an average improvement of 1.90% in zinc recovery (from 82.51% to 84.41%) in the first set of tests, and 3.41% in the replica (from 80.27% to 83.68%). However, this improvement was not statistically significant (p -value = 0.1764). Additionally, it was found that while pH slightly increased with the use of MC-200 (from 7.5 to 8.0), it did not significantly affect recovery. In contrast, a significant relationship was found between pulp density and recovery efficiency, being more favorable at 1.3 g/cm³ than at 1.2 g/cm³.

The conclusions confirm that although Tionocarbamate has a positive effect on zinc recovery, it does not reach statistical significance under the tested conditions. Pulp density, however, showed a relevant impact, suggesting its optimization as a more effective way to improve recovery.

Finally, it is recommended to continue exploring the use of Tionocarbamate as a

complementary collector in combination with other traditional reagents, especially under more aggressive or complex operational conditions. Additionally, it is essential to conduct pilot-scale tests and establish dosage curves to validate its performance more robustly and apply it in the real plant environment.

Keywords: Tionocarbamate, zinc, rougher flotation, metallurgical recovery, pulp density, pH (hydrogen ion concentration).

INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Huarón, operada por la compañía Pan American Silver y situada en la zona andina central de la región Pasco, desarrolla actividades de tratamiento de minerales polimetálicos, con presencia significativa de zinc, plomo y plata. Su compleja composición mineralógica está representada por especies como la galena argentífera y la esfalerita, siendo esta última la principal fuente de zinc. Luego de un análisis preliminar, dichos minerales son sometidos a procesos metalúrgicos en la planta concentradora, donde se obtienen concentrados diferenciados de plata-plomo y zinc. La matriz de ganga está conformada mayormente por minerales silicatados, como la rodonita, además de sulfosales de metales como plata, plomo y cobre.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto del uso del colector tionocarbamato en la recuperación del zinc durante la etapa rougher del proceso de flotación. El estudio se estructura conforme al Reglamento de Grados y Títulos vigente, y está organizado en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Planteamiento del problema. Incluye la identificación y delimitación del problema, la formulación de las preguntas de investigación, los objetivos generales y específicos, la justificación del estudio, así como las limitaciones encontradas durante su ejecución.

Capítulo II: Fundamentos teóricos. Contempla los antecedentes relevantes, el marco conceptual y científico, las definiciones operativas necesarias, la formulación de hipótesis, la determinación de las variables involucradas y la definición de los indicadores correspondientes.

Capítulo III: Enfoque metodológico. Describe el tipo y nivel de investigación aplicado, los métodos utilizados, el diseño metodológico adoptado, la selección de la población y muestra, las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de información, el procesamiento y análisis de datos, así como el enfoque estadístico y la validación de los instrumentos, todo ello enmarcado en principios éticos.

Capítulo IV: Resultados y análisis. Comprende la descripción de las actividades

experimentales realizadas, la presentación de los resultados, su análisis e interpretación, la validación de las hipótesis planteadas y la discusión crítica de los hallazgos.

El documento finaliza con la presentación de las conclusiones y recomendaciones, la bibliografía consultada y los anexos que respaldan el contenido y la metodología empleada en esta investigación.

INDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación	2
1.2.1. Delimitación geográfica	2
1.2.2. Delimitación de la población	2
1.2.3. Delimitación de tiempo	2
1.3. Formulación del Problema	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problema específicos	2
1.4. Formulación de Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.5.1. Justificación Teórica	3
1.5.2. Justificación Práctica	4
1.5.3. Justificación Metodológica.....	4
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	4
1.6.1. Limitación teórica.....	4
1.6.2. Limitación temporal	4

1.6.3. Limitación de recursos.....	4
------------------------------------	---

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	5
2.2. Bases teóricas – científicas.....	7
2.2.1. Zinc.....	7
2.2.2. Minerales de Zinc	7
2.2.3. Características del Concentrado de Zinc.....	8
2.2.4. Flotación de Zinc	9
2.2.5. Reactivos de flotación de zinc	9
2.2.6. Granulometría de minerales	10
2.2.7. Potencial de hidrógeno (pH)	11
2.2.8. Densidad de pulpa.....	12
2.3. Definición de términos básicos.....	12
2.4. Formulación Hipótesis	15
2.4.1. Hipótesis general.....	15
2.4.2. Hipótesis específicas	15
2.5. Identificación de variables.....	15
2.5.1. Variable Dependiente	15
2.5.2. Variable Independiente.....	15
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	16

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	17
3.2. Nivel de investigación	18
3.3. Métodos de Investigación	18
3.4. Diseño de investigación	19
3.5. Población y muestra	21

3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	22
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	24
3.8. Tratamiento estadístico.....	26
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	27

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	29
4.1.1. Procedimiento	29
4.1.2. Características físicas y químicas del mineral	30
4.1.3. Cinética de flotación Zinc Con Diferentes TNC (Tionocarbamato).	31
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	36
4.3. Prueba de hipótesis	38
4.3.1. Hipótesis general.....	38
4.3.2. Hipótesis específicas	41
4.4. Discusión de resultados.....	45

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

	Pagina
Cuadro 1. Cinéticas de Flotación Zinc Prueba Estándar	31
Cuadro 2. Cinéticas de Flotación Zinc Prueba TNC: MC-C200	32
Cuadro 3. Cuadro de 15 segundos flotación zinc	32
Cuadro 4. Cuadro acumulado flotación zinc	33
Cuadro 5. Balance Metalúrgico Proyectado (Ag-Pb-Zn) Estándar Muestra Turno Dia.....	35
Cuadro 6. Balance Proyectado (Ag-Pb-Zn) Estándar Muestra Turno Noche	35
Cuadro 7. Balance Proyectado (Ag-Pb-Zn) MC-C200 Muestra Turno Noche	36
Cuadro 8. Prueba cíclica (Ag-Zn) Reactivo TNC	37
Cuadro 9. Balance Proyectado De Prueba Cíclica (Ag-Zn) Reactivo TNC	37

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla 1. Ensayes Químicos – Cabeza Zinc	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pagina
Gráfico 1. Curva de Cinética zinc Estándar	31
Gráfico 2. Curva de Cinética zinc TNC: MC-C200.....	32
Gráfico 3. Circuito Zinc minuto 15 sg.	33
Gráfico 4. acumulado flotación zinc.....	33

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

El zinc es un metal ampliamente utilizado en la industria debido a sus propiedades físicas y químicas. Sin embargo, la extracción y purificación del zinc de sus minerales son procesos costosos y contaminantes.

Por lo tanto, surge la necesidad de encontrar métodos más eficientes y sostenibles para la recuperación del zinc. Uno de los posibles enfoques es el uso de tionocarbamato, un compuesto orgánico con la capacidad de formar complejos solubles con metales como el zinc.

El problema radica en determinar la viabilidad técnica y económica de utilizar tionocarbamato para la recuperación de zinc. Algunos aspectos a considerar son la eficiencia del proceso: Se debe evaluar la capacidad del tionocarbamato para formar complejos solubles con el zinc y permitir su separación de otros minerales y impurezas presentes determinando factores como densidad de pulpa, pH y dosificación el estará reflejado en la selectividad el cual es importante para determinar si el tionocarbamato es selectivo para el zinc, es decir, si solo forma complejos con el zinc y no con otros metales presentes en la solución. Esto garantizaría una mayor eficiencia en el proceso de recuperación.

No debemos olvidar que evaluaremos el impacto ambiental del uso de tionocarbamato en el proceso de recuperación de zinc, tomando en cuenta factores como la toxicidad del compuesto y los residuos generados.

En resumen, el planteamiento e identificación del problema consiste en determinar si el uso de tionocarbamato es una alternativa viable para la recuperación de zinc, considerando aspectos de eficiencia evaluando factores de trabajo como densidad de pulpa, ph y dosificación del Tionocarbamato evaluado la, selectividad, y su impacto ambiental.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Delimitación geográfica

El estudio se llevará a cabo en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, situada en Yanacancha, distrito de Pasco, en la provincia de Pasco, en la región de Pasco.

1.2.2. Delimitación de la población

Los minerales utilizados en el estudio provienen de relaves de cianuración de la relavera Marañón de la empresa minera Poderosa S.A Empresa minera aurífera ubicada en el distrito y provincia de Pataz, a casi 320 Km de la ciudad de Trujillo,

1.2.3. Delimitación de tiempo

El proyecto de investigación se llevará en un lapso de periodo de tiempo de 6 meses que se inicia el 1 de mayo del 2023 hasta el 31 de octubre del 2023.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023?

1.3.2. Problema específicos

a. ¿Cuál es el efecto de la dosificación de Tionocarbamato en la

recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?

- b. ¿Cuál es el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?
- c. ¿Cuál es el efecto de la densidad de pulpa en la hidrogeno en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el efecto del Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar el efecto de la dosificación de Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023
- b. Determinar el efecto del potencial de hidrogeno en en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023
- c. Determinar el efecto de la densidad de pulpa en la hidrogeno en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023

1.5. Justificación de la investigación

El estudio se ha desarrollado de acuerdo con las siguientes justificaciones.

1.5.1. Justificación Teórica

La utilización de Tionocarbamato para la recuperación de zinc esta conceptuada para mejorar la flotabilidad de los valores de zinc por sus capacidad para

formar complejos con el zinc y facilitar su separación de otros minerales presentes en el proceso de la flotación, además el cual normalmente con otros colectores tradicionales no se genera y demanda condiciones particulares.

1.5.2. Justificación Práctica

La investigación se desarrolla en el laboratorio químico metalúrgico realizando flotación 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 experimental para determinar en cual set de prueba presento una mejor recuperación de zinc.

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 se trata del mineral alimentado a la flotación Rougher de zinc y 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. Limitación teórica

Información escasa concerniente y relevante al tema de la utilización del colector Tionocarbamato para la recuperación además de trabajos con otros parámetros de trabajo de poca fiabilidad.

1.6.2. Limitación temporal

El factor tiempo es una limitación al realizar el proyecto de investigación en cuanto se refiere a la realización de pruebas, análisis de data y elaboración del informe.

1.6.3. Limitación de recursos

El recurso económico fue todo un reto debido a que fueron absueltos por uno mismo, el cual fue un ahorro que se tuvo que realizar para el desarrollo de esta tesis.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

(Marcelo, 2019) en su tesis intitulado “Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía Minera Volcan S.A.A.- 2019” señala que la implementación de un proceso de flotación de zinc sin el uso de cal (CaO) tiene como objetivo evitar que se descarguen aguas residuales con una alcalinidad demasiado alta en las pilas de relaves y que tengan una concentración de pH alta entre 10,80 y 11,50 y dentro de los parámetros ambientales de la minería efluentes que tengan un valor de pH de 9.00 o menos y además eviten la contaminación de ríos o lagos cercanos y conflictos sociales con la población aledaña. Reducción de costos de proceso, estrés del personal que maneja cal viva, insumos menos verificables y mantenimiento o mejora de la calidad del concentrado de zinc. Donde concluyó que los resultados a nivel de lote deben realizar una prueba industrial utilizando el colector F-1661 y evaluar su efectividad en la planta concentradora de Andaychagua, su aporte también sería relevante ya que indicaría que estos reactivos del colector que se están utilizando pueden mantener al menos rendimiento metalúrgico de zinc de proceso estándar sin necesidad de añadir cal. Por otro lado, mezclar estos reactivos o con un tercero es desfavorable para el proceso.

(Curicancha Huamantica & Paitan Castro, 2021) en su tesis intitulada “Utilización del O-Isopropil- N-Etil tionocarbamato como colector en la flotación de la calcopirita y galena en la CIA Minera Casapalca S.A.” menciona que el comportamiento de flotación de la calcopirita y la galena se estudió mediante pruebas de flotación, medidas de adsorción, cálculos de soluciones químicas, espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y simulaciones de dinámica molecular (MD). Mostrando resultados en los que la flotabilidad de la calcopirita en presencia de O-isopropil-N-etiltionocarbamato (IPETC) es mejor que la de la galena y la diferencia de rendimiento entre la calcopirita y la galena es de alrededor del 20 % cuando IPETC 7×10^{-4} mol es / L a pH 9,5, mientras que la diferencia de flotabilidad entre los dos minerales es significativa. La adsorción competitiva de OH- e IPETC en superficies minerales da como resultado una menor flotabilidad de galena que de calcopirita. IPETC puede eliminar la capa de hidratación en superficies minerales y luego adsorberse en sitios activos. La flotabilidad de los minerales se mejora al aumentar su hidrofobicidad. Este estudio proporciona una indicación de la separación de galena y calcopirita.

(Aroldo, 2020) en su tesis “Optimización en la recuperación de zinc de minerales polimetalicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú – Huancavelica” señala que en su estudio, se realizaron pruebas preliminares de flotación para seleccionar las variables independientes que tienen mayor influencia en la variable dependiente (recuperación de zinc) utilizando el programa estadístico MINITAB. Cuando se ha logrado la meta de optimización de la recuperación de zinc, con las variables seleccionadas, se realiza el proceso de optimización mediante un diseño hexagonal y análisis estadístico utilizando el software Minitab, de esta manera se encuentra un modelo de ecuación de modelo cuadrático. Una vez que tengo el modelo, realizo derivadas parciales para encontrar los valores máximos de las variables, encontrando el valor máximo de sulfato de cobre de 351.06 g/tm, el tiempo de remolido de 5.06 minutos y la recuperación

máxima de 88%. A estos valores máximos de las variables, realizó pruebas metalúrgicas con mineral fresco y obtuvo una recuperación de zinc del 87,70%.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Zinc

El zinc (Zn), elemento químico de número atómico 30, es un metal de transición de tonalidad blanco-azulada. Se caracteriza por ser maleable y dúctil a temperaturas elevadas, lo que le permite ser transformado en láminas delgadas o alambres sin fracturarse. Posee, además, una conductividad eléctrica y térmica relativamente baja en comparación con otros metales de su grupo (Greenwood & Earnshaw, 2012).

Naturalmente, el zinc se encuentra en la corteza terrestre formando parte de minerales como la esfalerita, y su obtención se realiza principalmente a partir del procesamiento de estos. Su uso más extendido es en el proceso de galvanización, en el que actúa como recubrimiento protector del acero frente a la corrosión, alargando considerablemente su vida útil (Habashi, 2000). Además, es empleado en la fabricación de baterías, aleaciones no ferrosas, pigmentos para pinturas, fertilizantes y suplementos nutricionales. También se le atribuyen propiedades antimicrobianas, motivo por el cual forma parte de productos dermatológicos y dentales (Alloway, 2008).

2.2.2. Minerales de Zinc

Los minerales más representativos que contienen zinc son los siguientes:

Esfalerita (ZnS): Es la principal mena de zinc. De hábito cristalino y brillo resinoso, puede presentar colores oscuros debido a la presencia de hierro. Su flotabilidad depende del contenido de Fe y de su asociación con otros sulfuros metálicos (Wills & Finch, 2016).

Smithsonita (ZnCO₃): También conocida como calamina, es un carbonato de zinc de aspecto terroso o botroidal, que puede presentar colores blanco, gris,

verdoso o amarillo. Se considera un mineral secundario, más común en zonas de oxidación.

Hemiesfalerita: Es una variedad intermedia entre esfalerita y wurtzita, con características físico-químicas variables según su proporción de ambos minerales.

Wurtzita (ZnS): Polimorfo de la esfalerita con estructura hexagonal, se encuentra en ambientes hidrotermales junto a esta. Es menos común y suele presentarse en colores claros o transparentes (Deer, Howie & Zussman, 1992).

2.2.3. Características del Concentrado de Zinc

El concentrado de zinc es el producto obtenido del proceso de flotación selectiva de minerales sulfurados de zinc. Algunas de sus principales características incluyen:

Composición química: Contiene entre 30 % y 60 % de Zn, dependiendo del yacimiento y del grado de liberación alcanzado durante el procesamiento. Puede presentar impurezas como Fe, Cu, Pb, As o Cd, las cuales afectan su valor comercial y su tratabilidad (Gupta & Mukherjee, 1990).

Aplicaciones industriales: Es utilizado como materia prima para la obtención de zinc metálico, ya sea mediante procesos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos. También se destina a la producción de óxidos, aleaciones especiales, pilas eléctricas y pigmentos (Habashi, 2000).

Procesamiento: El concentrado se obtiene tras las etapas de chancado, molienda y flotación del mineral primario. Esta última etapa incluye la adición de reactivos específicos que permiten la separación eficiente del zinc respecto de otros sulfuros (Wills & Finch, 2016).

Precio y demanda: El valor del concentrado está sujeto a la cotización del zinc metálico en el mercado internacional, así como a su pureza y la ley penalizada de contaminantes. Su demanda es alta, especialmente por el sector siderúrgico y de fabricación de componentes electrónicos.

Propiedades físicas: Generalmente se presenta como un polvo o granulado fino de color gris metálico. Tiene una densidad alta y es relativamente fácil de manejar y transportar.

2.2.4. Flotación de Zinc

La flotación de zinc es un proceso físico-químico esencial en la metalurgia extractiva, destinado a la concentración de minerales sulfurados de zinc, especialmente la esfalerita. Dado que suele encontrarse asociado con sulfuros de plomo, cobre y plata, se requiere un proceso selectivo que permita su separación eficiente.

El procedimiento comprende varias etapas: inicialmente, el mineral es triturado y molido hasta una granulometría que permita la liberación adecuada de las especies útiles. Posteriormente, se realiza la flotación rougher, en la que se emplean colectores como el xantato y el tionocarbamato, que se adsorben selectivamente sobre las partículas de esfalerita, favoreciendo su adhesión a la espuma generada con ayuda de espumantes (Wills & Finch, 2016).

En las etapas posteriores, denominadas "limpieza" o "scavenger", se eliminan impurezas residuales mediante reactivos modificadores (como el sulfato de cobre como activador y el cianuro o el bisulfito como depresores), obteniéndose un concentrado de zinc de mayor pureza. Finalmente, este concentrado es filtrado y secado para su envío a fundición.

La flotación de zinc representa una técnica clave para la viabilidad económica del procesamiento de minerales polimetálicos, ya que permite recuperar un alto porcentaje del metal contenido en la mena con adecuada selectividad.

2.2.5. Reactivos de flotación de zinc

En la flotación del zinc, la selección y dosificación adecuada de reactivos es crucial para lograr una separación eficiente de la esfalerita (ZnS), el principal mineral de zinc. Entre los reactivos más comúnmente empleados se encuentran:

Xantatos: como el xantato amílico y el xantato de potasio, que actúan como colectores, promoviendo la hidrofobicidad de la esfalerita y su adherencia a las burbujas de aire (Fuerstenau et al., 2007).

Ácido sulfúrico (H_2SO_4): empleado para ajustar el pH del sistema hacia valores ácidos (entre 4 y 6), condiciones que favorecen la flotación selectiva del zinc (Wills & Finch, 2016).

Cianuro de sodio ($NaCN$): utilizado como depresor de la pirita (FeS_2) y regulador del potencial electroquímico de la pulpa. Su uso debe ser controlado por razones ambientales y de seguridad (López-Valdivieso & Song, 2001).

Sulfuro de sodio (Na_2S): actúa como activador de la esfalerita cuando esta se encuentra parcialmente oxidada, ayudando a restaurar su superficie sulfurosa y su capacidad de flotación (Wills & Finch, 2016).

Ácido tánico: puede usarse como depresor de esfalerita en etapas selectivas, cuando se requiere priorizar la flotación de otros minerales valiosos presentes en la mena.

Metabisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$): funciona como depresor de pirita y también como agente reductor para controlar especies oxidantes en el sistema.

Nitrito de sodio ($NaNO_2$): utilizado como depresor de cobre, en operaciones donde este metal se presenta como contaminante en el concentrado de zinc.

La elección de estos reactivos varía dependiendo de las características mineralógicas del mineral y del diseño del circuito de flotación (Gupta & Yan, 2016).

2.2.6. Granulometría de minerales

La granulometría o tamaño de partícula del mineral influye significativamente en el rendimiento del proceso de flotación. Las principales razones de su importancia son:

Eficiencia de separación: Un tamaño de partícula óptimo mejora la recuperación de zinc y reduce la presencia de ganga en el concentrado final, al facilitar la liberación de los minerales valiosos (Wills & Finch, 2016).

Cinética de flotación: El tamaño de partícula afecta la velocidad con que las partículas se adhieren a las burbujas de aire. Un tamaño adecuado promueve una flotación más rápida y eficiente (Trahar, 1981).

Consumo de reactivos: Las partículas finas pueden requerir una mayor cantidad y precisión en la dosificación de reactivos, ya que su mayor área superficial afecta la adsorción de colectores y modificadores (Fuerstenau et al., 2007).

Homogeneidad en la pulpa: Un tamaño de partícula uniforme favorece la distribución homogénea en la pulpa y mejora la interacción entre partículas y burbujas, aumentando la selectividad del proceso.

2.2.7. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es un parámetro esencial en la flotación de zinc, ya que regula las reacciones químicas superficiales, la estabilidad de los reactivos y la selectividad del proceso. Su influencia se manifiesta en varios aspectos:

Química superficial: El pH controla la carga eléctrica de las partículas y reactivos, afectando su interacción y la adsorción selectiva sobre las superficies minerales (López-Valdivieso & Song, 2001).

Estabilidad de los reactivos: Colectores y modificadores tienen rangos de estabilidad limitados. Un pH incorrecto puede causar la descomposición o precipitación de los reactivos, disminuyendo su eficacia (Gupta & Yan, 2016).

Formación de espuma: El pH también afecta la tensión superficial y, por ende, la formación y estabilidad de la espuma en la celda de flotación. Espumas inestables reducen la recuperación y la ley del concentrado.

2.2.8. Densidad de pulpa

La densidad de pulpa, medida como porcentaje de sólidos en la mezcla mineral-agua, tiene una influencia determinante en la flotación del zinc por las siguientes razones:

Separación efectiva: Una densidad óptima mejora la dispersión de las partículas y evita la sedimentación, favoreciendo la separación de minerales valiosos de la ganga (Wills & Finch, 2016).

Estabilidad de la espuma: Densidades adecuadas ayudan a mantener una espuma uniforme y resistente, crucial para transportar el concentrado a la superficie.

Interacción partícula-burbuja: La viscosidad y velocidad de flujo en la celda dependen de la densidad de pulpa, lo cual incide directamente en el número de colisiones y adherencias entre partículas y burbujas (Trahar, 1981).

Estabilidad operacional: Una densidad constante evita variaciones en el rendimiento del circuito, permitiendo una operación continua y controlada.

2.3. Definición de términos básicos

- **Flotación:**

La flotación es un proceso fisicoquímico utilizado principalmente en la minería para la separación selectiva de minerales valiosos de la ganga o minerales no deseados. Este proceso implica la adición de reactivos químicos que modifican la superficie de los minerales, haciéndolos hidrofóbicos, permitiendo que se adhieran a burbujas de aire y floten hacia la superficie, donde son recolectados como concentrado. El resto del material permanece en la pulpa y es descartado como relave (Gaudin, 1957; Fuerstenau et al., 2007).

- **Cinética de flotación:**

La cinética de flotación describe la velocidad con la cual las partículas minerales se adhieren a las burbujas de aire durante el proceso de flotación. Esta velocidad depende de múltiples factores como el tamaño de partícula, la hidrofobicidad superficial, la agitación y la concentración de reactivos. Una

adecuada comprensión de la cinética permite optimizar la recuperación y la calidad del concentrado (Fuerstenau et al., 2007).

- **Zinc (Zn):**

El zinc es un metal no ferroso, abundante en la corteza terrestre, comúnmente encontrado en minerales como la esfalerita (ZnS). Es altamente resistente a la corrosión y se utiliza ampliamente en galvanizado de acero, fabricación de aleaciones como el latón, baterías, y compuestos químicos industriales (U.S. Geological Survey, 2023).

- **Tionocarbamato:**

Los tionocarbamatos son compuestos orgánicos utilizados como colectores en la flotación de sulfuros metálicos. Estos reactivos tienen afinidad selectiva por minerales como la esfalerita o la calcopirita, mejorando su hidrofobicidad y favoreciendo su recuperación en el proceso de flotación (Wills & Finch, 2016).

- **Recuperación:**

En el contexto de la flotación, la recuperación se define como el porcentaje del metal valioso (como el zinc) que se extrae del mineral alimentado al proceso. Este parámetro es clave para evaluar la eficiencia del circuito de flotación y depende de factores como la mineralogía, el pH, los reactivos utilizados y las condiciones operativas (Wills & Finch, 2016).

- **Mena:**

La mena es el material natural que contiene uno o más minerales valiosos que pueden ser extraídos con beneficio económico. En el caso del zinc, la mena puede estar compuesta mayoritariamente por esfalerita junto con otros sulfuros metálicos (Peters, 1982).

- **Hidrofóbico:**

Una sustancia hidrofóbica es aquella que repele el agua, es decir, no se mezcla ni interactúa favorablemente con ella. En flotación, los minerales deben

volverse hidrofóbicos mediante reactivos para adherirse a las burbujas de aire y ser separados del resto del material (Fuerstenau et al., 2007).

- **Colector:**

Un colector es un reactivo orgánico que se adsorbe sobre la superficie de minerales específicos, aumentando su hidrofobicidad. En la flotación de zinc, los xantatos y tionocarbamatos son colectores comunes que favorecen la recuperación de esfalerita (Wills & Finch, 2016).

- **Densidad de pulpa:**

La densidad de pulpa se refiere al contenido de sólidos suspendidos en una mezcla con agua, expresado en porcentaje en peso. Es un parámetro crucial que afecta la agitación, la formación de burbujas y la eficiencia del proceso de flotación (Wills & Finch, 2016).

- **pH:**

El pH es una medida logarítmica de la concentración de iones hidrógeno (H^+) en una solución. Afecta directamente las reacciones químicas de los reactivos utilizados en la flotación y, por tanto, influye en la selectividad y eficiencia del proceso. En la flotación de zinc, suele ajustarse mediante ácido sulfúrico para mantener condiciones ligeramente ácidas (Fuerstenau et al., 2007).

- **Ley de mineral:**

La ley de mineral representa la proporción o concentración de un elemento o mineral valioso dentro de una muestra, generalmente expresada en porcentaje en peso. Por ejemplo, una ley de zinc del 5% significa que cada 100 kg de mineral contienen 5 kg de zinc (Peters, 1982).

2.4. Formulación Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que las variables de flotación estudiadas influyen significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el reactivo Tionocarbamato estudiado influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023
- b. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de hidrogeno estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023
- c. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la densidad de pulpa estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable Dependiente

Recuperación

2.5.2. Variable Independiente

Tionocarbamato

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	f = ley de distribución en la alimentación
Variable Independiente			
Tionocarbamato	Los colectores son sustancias químicas utilizadas para hacer que las partículas valiosas se adhieran a las burbujas, mientras lo indeseable se sumerge donde el Tionocarbamato presenta la característica de formar complejos con metales de zinc. La acción de los colectores depende del pH, densidad de pulpa y dosificación.	Reactivo Colector	Gramos por tonelada
		pH	Potencial de Hidrogeno
		Densidad de Pulpa	Kilogramos por litro
Variable dependiente			
Recuperación	Es la razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa de material útil contenido en la alimentación.	Recuperación Metalúrgica: $R = \frac{Cc}{Ff} \times 100$	C= peso del concentrado
			c = ley del mineral en el concentrado
			F= peso de la alimentación

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca dentro del tipo de investigación aplicada tecnológica, ya que tiene como finalidad resolver un problema específico del proceso de flotación rougher zinc mediante el uso de reactivos químicos especializados, como los tionocarbamatos, en una planta minera operativa.

Según Tamayo y Tamayo (2000), la investigación aplicada se orienta hacia la utilización del conocimiento científico disponible para generar soluciones prácticas a problemas concretos del entorno. En este caso, se busca optimizar la recuperación de zinc en el proceso de flotación, aplicando conocimientos de química de flotación, metalurgia extractiva y operaciones unitarias.

La investigación aplicada tecnológica, en particular, se caracteriza por emplear los principios científicos y tecnológicos para desarrollar, perfeccionar o adaptar tecnologías existentes, mejorando así la eficiencia de los procesos industriales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Este enfoque se diferencia de la investigación pura, ya que no busca generar conocimiento teórico nuevo, sino aplicar conocimientos consolidados en contextos reales y específicos (Bunge, 2000).

En este estudio, la aplicación del tionocarbamato como colector selectivo en la flotación rougher tiene como objetivo aumentar la recuperación del mineral de zinc, lo

cual representa una mejora tecnológica significativa en el proceso metalúrgico de la empresa Pan American Silver Huarón. Esto responde a las necesidades del sector minero de elevar la eficiencia de los procesos de concentración, reducir pérdidas en el relave y optimizar el uso de insumos químicos.

En ese sentido, esta investigación también se vincula con el enfoque de la innovación tecnológica en minería, ya que se experimenta con nuevas configuraciones de reactivos y condiciones operativas que pueden ser replicables en otros contextos mineros similares (López-Muñoz & Moncada, 2020).

3.2. Nivel de investigación

Aplicada

3.3. Métodos de Investigación

La presente investigación emplea una combinación de métodos analítico, inductivo, deductivo y empírico, los cuales se complementan para abordar de forma integral el problema de estudio: el efecto del uso del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación rougher en la planta de la empresa Pan American Silver Huarón.

El método analítico se aplica en la descomposición y evaluación de los datos experimentales obtenidos, permitiendo identificar relaciones entre las variables involucradas en el proceso de flotación, como el tipo y dosificación del reactivo, el pH, la densidad de pulpa, entre otros. Este método facilita la interpretación crítica de los resultados y la formulación de conclusiones fundamentadas. Según Bunge (2000), el análisis es una etapa esencial del método científico que permite separar conceptualmente los componentes de un fenómeno para comprender su estructura interna.

El método inductivo se utiliza para generalizar observaciones específicas obtenidas a partir de pruebas experimentales, extrayendo patrones de comportamiento que explican el efecto del tionocarbamato sobre la recuperación del mineral. Este método parte de datos particulares hacia formulaciones más amplias,

como lo señala Sampieri et al. (2014), al indicar que la inducción permite derivar principios o modelos explicativos desde la observación empírica.

El método deductivo, por otro lado, parte de hipótesis planteadas sobre la base del conocimiento teórico previo respecto al comportamiento de los colectores en la flotación de sulfuros. A partir de estas premisas generales, se infieren resultados esperados en condiciones específicas de operación. Popper (1994) sostiene que la investigación científica debe guiarse por la lógica deductiva, en la que las teorías se contrastan con la experiencia mediante observaciones empíricas.

Finalmente, se aplican métodos empíricos, en particular la observación sistemática y la experimentación controlada, que permiten recolectar datos reales del comportamiento del mineral bajo condiciones específicas de flotación en laboratorio. Estas técnicas empíricas son fundamentales en investigaciones aplicadas, ya que proporcionan evidencia directa y verificable sobre el desempeño del proceso en estudio (Kerlinger & Lee, 2002).

La articulación de estos métodos permite no solo evaluar cuantitativamente la eficacia del tionocarbamato en el proceso metalúrgico, sino también sustentar las conclusiones con base en un enfoque riguroso, racional y empírico.

3.4. Diseño de investigación

El presente estudio se enmarca dentro de un diseño de investigación experimental, el cual permite evaluar de forma controlada el efecto del reactivo tionocarbamato sobre la recuperación de zinc en el circuito de flotación rougher. En este tipo de diseño, el investigador manipula deliberadamente una o más variables independientes (como la dosificación del colector o el pH de la pulpa) con el fin de observar sus efectos sobre una variable dependiente (la recuperación de zinc).

Según Kerlinger (1975), el diseño experimental “es el plan mediante el cual se prueban hipótesis científicas, controlando y manipulando de manera sistemática las variables pertinentes para establecer relaciones de causalidad”. Este enfoque

permite establecer conclusiones sólidas sobre la influencia de los factores operativos en el desempeño del proceso metalúrgico.

Asimismo, el diseño experimental implica el control de variables externas y la asignación aleatoria de tratamientos, condiciones que garantizan la validez interna del experimento (Campbell & Stanley, 1963). En este caso, se ejecutaron pruebas de flotación en condiciones controladas de laboratorio, replicando diferentes niveles de dosificación del tionocarbamato, a fin de analizar cómo varía la recuperación de zinc.

La aplicación de este tipo de diseño es especialmente relevante en investigaciones de tipo aplicado tecnológico, dado que permite validar mejoras en procesos industriales con base en evidencia empírica. Tal como lo destaca Hernández Sampieri et al. (2014), los diseños experimentales son esenciales cuando se busca comprobar hipótesis relacionadas con la eficacia de tratamientos o modificaciones técnicas en un entorno controlado.

Este enfoque metodológico robusto contribuye a garantizar la confiabilidad y objetividad de los resultados, permitiendo ofrecer conclusiones válidas que podrían ser aplicables a escala industrial en la planta concentradora de la empresa Pan American Silver Huaron.

Figura 1 Diagrama de bloque de las pruebas metalúrgicas

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

Dónde:

- n : tamaño de la muestra
- Z : valor z para el nivel de confianza deseado (por ejemplo, 1.96 para un 95%)
- p : probabilidad de éxito (se asume 0.5 si se desconoce)
- q : $1 - p$ (0.5 si se desconoce)
- e : margen de error permitido (por ejemplo, 0.1 = 10%)

Sustituyendo:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{(0.1)^2} = \frac{3.8416 \cdot 0.25}{0.01} = \frac{0.9604}{0.01} = 96.04$$

Nota: Diagrama de bloques

3.5. Población y muestra

Según Kerlinger (1975), la población se define como "el conjunto completo de elementos o individuos que comparten una o varias características comunes y que son relevantes para una investigación". En el presente estudio titulado "Efecto del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron – Pasco - 2023", la población está constituida por el total del mineral polimetálico alimentado al circuito de flotación rougher de zinc, el cual proviene de la etapa de molienda en la planta concentradora de la empresa Pan American Silver Huaron S.A.

Muestra

Kerlinger (1975) también define muestra como "una porción o subconjunto representativo de una población, seleccionada con el propósito de hacer inferencias estadísticas sobre la población entera". En este caso, la muestra está conformada por 20 kilogramos de mineral, extraídos de manera representativa del mineral alimentado al molino primario.

Para determinar el tamaño adecuado de la muestra en estudios con población infinita o muy grande, se aplica la siguiente fórmula estadística (Hernández Sampieri et al., 2014):

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{(N - 1) \cdot E^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

- **n** = tamaño de la muestra
- **N** = tamaño de la población
- **Z** = valor de la distribución normal según el nivel de confianza
 - 1.96 → 95 %
 - 1.64 → 90 %
 - 2.58 → 99 %
- **p** = probabilidad de ocurrencia del evento (si se desconoce, se usa 0.5)
- **q** = 1 – p
- **E** = margen de error permitido (por ejemplo 0.05 para 5 %)

Por lo tanto, se sugiere trabajar con un mínimo de 96 gramos por submuestra, redondeando a cantidades operativas puede considerarse hasta 100 g por punto de muestreo y realizar al menos 200 submuestras para una muestra compuesta de 20 kg.

Técnica de Corte de Muestra en la Faja de Alimento

La obtención de una muestra representativa se realizará aplicando el método de corte transversal en la faja transportadora de alimentación al molino primario. Este procedimiento debe cumplir con las normas establecidas por la ASTM D75/D75M – 19 y la Norma ISO 12743:2006, las cuales indican:

Detener brevemente la faja transportadora para evitar segregación de partículas.

Usar una pala o cuchilla de acero inoxidable para realizar cortes transversales completos de todo el ancho y espesor del material.

Repetir el corte en intervalos programados (cada 15 o 30 minutos) durante la jornada para formar una muestra compuesta.

Almacenar la muestra en bolsas de lona o sacos de plástico adecuadamente rotulados, evitando contaminación o pérdida de humedad.

Este procedimiento garantiza que la muestra sea representativa del flujo total del mineral alimentado y evita sesgos por segregación de tamaños o densidades.

3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Técnicas

La recolección de datos en esta investigación se sustenta en el empleo de dos técnicas principales: el trabajo de campo para la toma de muestras y el trabajo de laboratorio para la caracterización y evaluación metalúrgica.

Trabajo de campo – Toma de muestras:

La toma de muestras en operaciones mineras constituye una etapa fundamental para garantizar la representatividad del mineral a estudiar. Según Pizarro (2013), una muestra representativa debe reflejar fielmente las características

físicas y químicas del mineral en estudio, evitando sesgos que afecten los resultados experimentales. En este proyecto, la recolección de muestras se realizó directamente del mineral alimentado a la etapa de molienda primaria en la planta de la empresa Pan American Silver Huaron S.A., bajo protocolos establecidos por normas internacionales como ASTM D75/D75M y la ISO 12743:2006.

Esta técnica permite estimar la calidad y cantidad del recurso mineral, siendo esencial para la planificación de las operaciones mineras, el cálculo de reservas y la optimización de los procesos de concentración (Gupta & Yan, 2006).

Trabajo de laboratorio:

El trabajo de laboratorio se centró en la evaluación metalúrgica del mineral mediante una serie de pruebas físicas, químicas y metalúrgicas. Este proceso comprende etapas como el chancado, molienda, análisis granulométrico, análisis químico, determinación de índices de trabajo (W_i), y pruebas de flotación batch con diferentes reactivos.

Según Fuerstenau et al. (2007), las pruebas de flotación batch permiten simular el comportamiento del mineral frente a distintos reactivos, como los colectores tipo tionocarbamato, y evaluar su impacto en la recuperación de minerales valiosos. En este estudio, se utilizó esta técnica para determinar el efecto del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la etapa rougher de flotación.

La evaluación en laboratorio proporciona datos críticos que permiten tomar decisiones fundamentadas en cuanto al tipo y dosificación óptima de reactivos, el tiempo de molienda y la cinética de flotación, lo cual tiene un impacto directo en la eficiencia operativa de la planta concentradora (Wills & Finch, 2016).

Instrumentos

Los instrumentos empleados para la recolección de datos se detallan a continuación, clasificados según su función en las diferentes etapas del proceso experimental:

Cronómetros y temporizadores digitales: Para medir de forma precisa el tiempo de molienda y controlar el tiempo de residencia durante las pruebas de flotación.

Molinos de laboratorio y equipos de tamizado (shakers, tamices ASTM): Utilizados para la molienda controlada y la clasificación granulométrica de las muestras, asegurando el cumplimiento de condiciones operativas estandarizadas.

Balanzas analíticas de precisión (± 0.001 g): Para dosificar con exactitud las cantidades de reactivos como colectores, espumantes y depresores.

Celdas de flotación Denver de laboratorio: Para realizar las pruebas de flotación batch bajo condiciones controladas de aireación, agitación y dosificación de reactivos.

Equipos de análisis químico (AAS, ICP, espectrofotometría): Para determinar la ley de zinc en los concentrados y relaves, permitiendo calcular recuperaciones metalúrgicas con alta precisión.

Hojas de registro y software de procesamiento de datos (Excel, Minitab): Para el almacenamiento, tratamiento estadístico y análisis de resultados obtenidos.

Estos instrumentos y equipos son fundamentales para garantizar la validez interna del estudio, ya que permiten obtener datos confiables y reproducibles, lo cual es esencial en el análisis de variables metalúrgicas como la recuperación, grado y cinética de flotación (Wills & Finch, 2016; Bulatovic, 2007).

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos en esta investigación se realizará con base en la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos en metalurgia y estadística. El objetivo principal es interpretar de manera rigurosa los resultados obtenidos en las pruebas metalúrgicas de flotación batch, con el fin de evaluar el efecto del tionocarbamato en la recuperación de zinc en la etapa rougher.

Se empleará un enfoque cuantitativo, en el cual se analizarán las relaciones entre la variable independiente (dosificación del colector tionocarbamato) y la

variable dependiente (recuperación metalúrgica de zinc). Según Hernández Sampieri et al. (2014), el análisis cuantitativo permite identificar patrones, correlaciones y diferencias significativas entre tratamientos experimentales, favoreciendo una interpretación objetiva y replicable de los datos.

Para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados, se utilizarán las siguientes técnicas de análisis:

Análisis descriptivo: Para obtener medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar, rango) de los valores de recuperación, ley de concentrado y relave, entre otros parámetros operativos.

Análisis de varianza (ANOVA): Para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con diferentes dosis de tionocarbamato. Esta técnica es recomendada por Montgomery (2017) para experimentos donde se manipula una variable y se mide su impacto sobre una respuesta continua.

Análisis de regresión lineal y no lineal: Para modelar la relación entre la dosificación del reactivo y la recuperación de zinc, permitiendo generar modelos predictivos y optimizar las condiciones del proceso.

Representación gráfica de resultados: Se elaborarán histogramas, diagramas de caja, gráficos de dispersión y curvas de recuperación utilizando hojas de cálculo (Microsoft Excel) y software estadístico como Minitab, facilitando la visualización de tendencias y comportamientos del sistema.

Según Wills y Finch (2016), el análisis estadístico en pruebas metalúrgicas no solo permite validar experimentalmente la eficacia de los reactivos, sino también establecer criterios técnicos para su aplicación industrial. Asimismo, el uso de software especializado permite reducir errores en el procesamiento manual y agilizar la toma de decisiones en contextos operacionales.

De esta manera, el análisis de los datos se orienta a identificar los factores más influyentes en la recuperación de zinc, evaluar el comportamiento

cinético del proceso de flotación y, finalmente, proponer condiciones operativas que contribuyan a la mejora del desempeño metalúrgico en la empresa Pan American Silver Huaron S.A.

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos constituye una etapa fundamental en el análisis de resultados, ya que permite evaluar cuantitativamente el efecto del colector tionocarbamato sobre la recuperación de zinc en la flotación rougher. Con este propósito, se utilizarán métodos estadísticos que garanticen la validez, confiabilidad y significancia de los resultados obtenidos durante las pruebas metalúrgicas de laboratorio.

En primer lugar, se emplearán herramientas tabulares y representaciones gráficas (gráficos de barras, diagramas de dispersión, líneas de tendencia, entre otros) para organizar y visualizar los datos experimentales, facilitando su interpretación inicial (Hernández Sampieri et al., 2014). Para ello, se hará uso de programas informáticos como Microsoft Excel 2020 y Minitab 19, ampliamente utilizados en investigaciones científicas y en la industria minera por su capacidad de procesamiento y análisis estadístico (Montgomery, 2017).

Posteriormente, se aplicarán pruebas estadísticas específicas para contrastar las hipótesis planteadas. Entre ellas, destacan:

Coeficiente de correlación de Pearson (r): Se utilizará para cuantificar la fuerza y dirección de la relación lineal entre la dosificación del tionocarbamato y la recuperación de zinc. Este indicador será clave para determinar si existe una asociación significativa entre ambas variables (Sokal & Rohlf, 2012).

Prueba T de Student para muestras independientes: Permitirá comparar los promedios de recuperación de zinc entre diferentes tratamientos experimentales (con y sin tionocarbamato), evaluando si las diferencias observadas son estadísticamente significativas. Esta prueba es recomendada en estudios donde se

requiere verificar hipótesis sobre diferencias de medias bajo un diseño experimental controlado (Triola, 2018).

En caso de que se cuente con más de dos grupos de tratamiento, se podrá complementar el análisis mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), a fin de evaluar si las medias de recuperación difieren significativamente entre varios niveles de dosificación del colector.

Estos métodos estadísticos permitirán, en conjunto, confirmar o rechazar las hipótesis de investigación, identificar patrones en los datos experimentales y establecer conclusiones sustentadas sobre la eficacia del tionocarbamato en la recuperación de zinc, contribuyendo a una toma de decisiones técnica basada en evidencia cuantitativa.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación se enmarca dentro de los principios éticos fundamentales que rigen el quehacer científico, asegurando el respeto a la dignidad humana, la integridad científica y la responsabilidad social. Como señala Resnik (2011), la ética en la investigación busca garantizar prácticas responsables, honestas y transparentes en cada etapa del proceso investigativo, desde la recolección de datos hasta la publicación de resultados.

Es imprescindible que toda investigación respete la autonomía de los participantes o involucrados indirectamente, obteniendo su consentimiento informado cuando corresponda, conforme a las directrices del Informe Belmont (1979), que establece los principios de respeto por las personas, beneficencia y justicia como pilares fundamentales en la ética de la investigación.

En el caso específico de estudios aplicados en contextos industriales como el presente, aunque no se involucran sujetos humanos directamente, se asume el compromiso ético de proteger la información técnica, operativa y empresarial proporcionada por la empresa Pan American Silver Huaron S.A., garantizando la

confidencialidad de los datos obtenidos y el uso exclusivo para fines académicos y científicos.

Asimismo, se llevará a cabo una evaluación rigurosa de los posibles riesgos y beneficios del estudio, asegurando que el impacto positivo de los hallazgos — como la mejora en la eficiencia de recuperación de zinc— supere cualquier posible inconveniente o interferencia en las operaciones. Como destacan Beauchamp y Childress (2013), la proporcionalidad entre beneficios y riesgos es un criterio esencial para justificar éticamente cualquier intervención investigativa.

Finalmente, se garantizará la veracidad de los datos, evitando cualquier tipo de falsificación, manipulación o tergiversación de resultados, en cumplimiento con los principios de integridad científica promovidos por la UNESCO (2020). La transparencia metodológica y la trazabilidad de los datos son aspectos claves que permitirán validar y replicar el estudio en futuros trabajos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Procedimiento

Muestreo:

Se recolectó la muestra en la Planta Concentradora, específicamente del relave del circuito bulk, tanto en el turno día como en el turno noche. Esta muestra corresponde a la cabeza del circuito de zinc.

Filtrado de muestra:

Se procedió al filtrado independiente de la muestra por turno.

Homogeneización y cuarteo:

Las muestras húmedas fueron homogeneizadas y cuarteadas para obtener submuestras representativas. Estas fueron utilizadas para análisis químicos y para determinar su humedad inicial.

Medición de pH:

Se calibró el potenciómetro y se midió el pH de las muestras, el cual se mantuvo entre 8.15 y 10.45, rango en el que el performance metalúrgico permanece estable.

Preparación de reactivos:

Se prepararon soluciones de reactivos a distintas concentraciones, manteniendo el estándar aplicado en la Planta Concentradora.

Pruebas metalúrgicas:

Se realizaron pruebas cinéticas y pruebas batch.

Ensayes químicos:

Los productos secos obtenidos de las pruebas fueron enviados al laboratorio químico para su análisis. Con estos resultados se elaboraron los balances metalúrgicos y se analizaron las curvas de cinética.

Informe:

Finalmente, se procedió con la elaboración, revisión, entrega, discusión y difusión del informe metalúrgico.

4.1.2. Características físicas y químicas del mineral

Muestra de Guardia – Turno Día

Tabla 1. Ensayes Químicos – Cabeza Zinc

Elemento	Ley (%) / g/t	Observación
Ag	44.48 g/t	Presente como plata en cabeza de zinc
Cu	0.13%	Desplazamiento hacia el circuito de zinc
Pb	0.22%	Desplazamiento hacia el circuito de zinc
Zn	2.76%	Ley representativa del zinc en cabeza
Fe	9.66%	Valor considerable para el proceso

Del cuadro anterior se describe los siguientes comentarios con respecto a la ley de cabeza:

El contenido de los valores de plata es 44.48 gr/ton, ley que representa como Ag en cabeza de zinc.

El contenido de los valores de cobre es 0.13%, valor que muestra como desplazamiento al circuito zinc.

El contenido de los valores de plomo es 0.22%, ley que representa como desplazamiento al circuito zinc.

El contenido de los valores de zinc es de 2.76%, ley que representa como ley de cabeza de zinc.

El contenido de hierro es de 9.66% valor considerable con respecto a nuestro proceso.

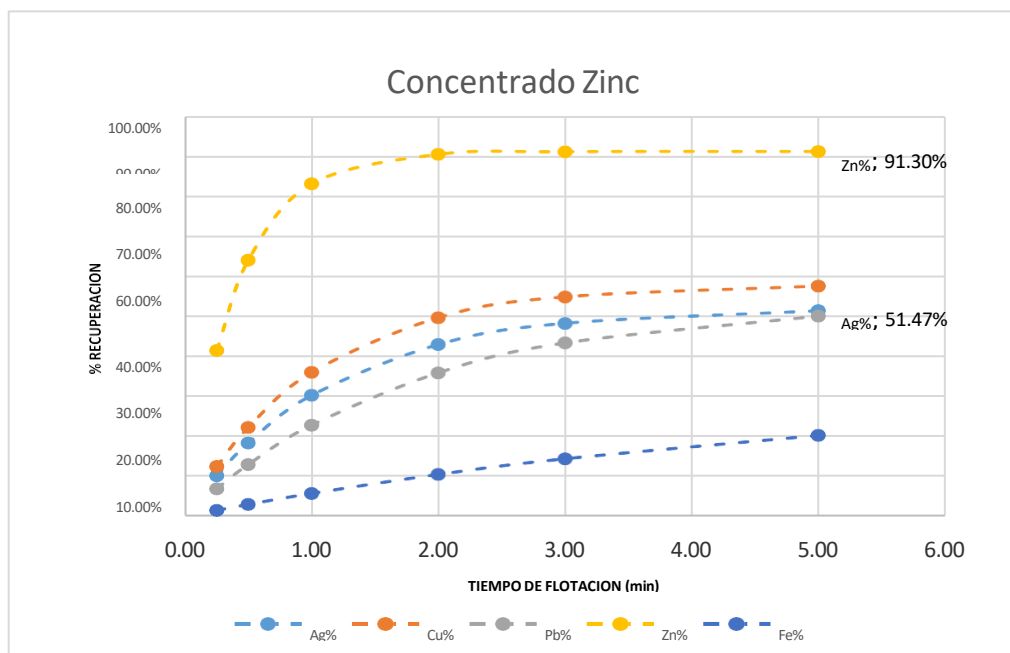
4.1.3. Cinética de flotación Zinc Con Diferentes TNC (Tionocarbamato).

En los siguientes cuadros se muestran las cinéticas de flotación de los valores de interés en las etapas de flotación zinc:

Cuadro 1. Cinéticas de Flotación Zinc Prueba Estándar

Tiempo	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES					FACTOR METALURGICO				
		Ag gr/Tn	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Zinc 0.25	3.16	192.48	0.76	0.78	47.94	7.93	13.42	15.07	9.66	43.41	2.20	57.00	71.92	29.57	596.72	1.53
Zinc 0.5	1.75	193.48	0.85	0.82	40.98	9.68	7.49	9.31	5.65	20.62	1.49	32.01	49.41	18.20	242.27	1.27
Zinc 1	2.21	191.16	0.83	0.99	26.44	12.62	9.32	11.53	8.58	16.75	2.44	39.33	60.14	33.34	126.98	2.70
Zinc 2	3.01	140.37	0.56	0.81	9.69	14.72	9.33	10.57	9.63	8.37	3.89	28.92	37.11	30.80	29.23	5.02
Zinc 3	3.08	102.21	0.36	0.66	3.18	14.54	6.95	6.94	8.04	2.81	3.93	15.68	15.64	20.99	2.56	5.01
Zinc 5	5.71	64.05	0.20	0.47	0.95	13.39	8.08	7.26	10.47	1.56	6.71	20.39	19.01	32.44	5.31	8.05
Rve	81.07	25.37	0.08	0.15	0.28	11.16	45.40	39.32	47.96	6.49	79.34	25.43	19.07	28.37	0.52	77.65
	100.00	45.30	0.16	0.25	3.49	11.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00					

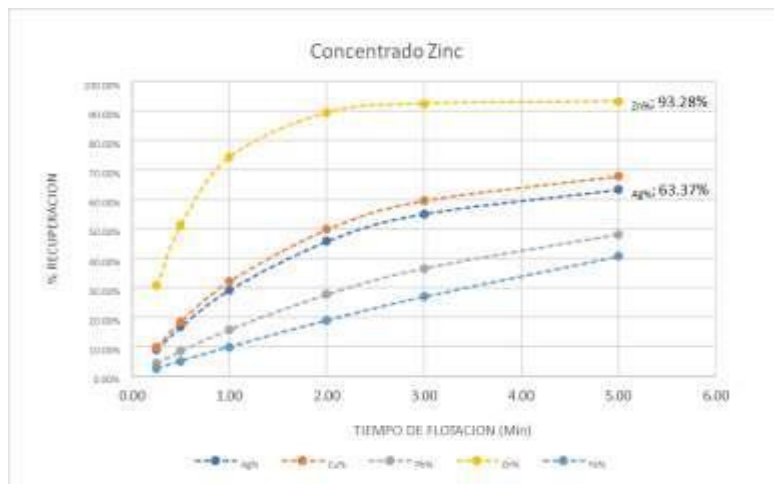
Gráfico 1. Curva de Cinética zinc Estándar



Cuadro 2. Cinéticas de Flotación Zinc Prueba TNC: MC-C200

Tiempo	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES					FACTOR METALURGICO				
		Ag gr/Tn	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu%	Pb%	Zn%	Fe %	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Zinc 0.25	2.75	170.18	0.66	0.49	42.44	12.26	9.93	10.65	5.10	28.10	2.86	35.80	41.22	9.45	286.61	2.96
Zinc 0.5	2.61	180.28	0.68	0.52	39.23	13.65	9.98	10.43	5.10	24.63	3.02	38.10	41.62	9.97	232.27	3.48
Zinc 1	3.57	157.63	0.64	0.58	27.00	17.46	11.91	13.42	7.78	23.14	5.27	39.76	50.54	16.98	150.21	7.79
Zinc 2	3.77	140.40	0.57	0.62	13.67	22.56	11.22	12.57	8.78	12.40	7.21	33.38	41.85	20.43	40.74	13.76
Zinc 3	3.73	110.56	0.44	0.55	3.88	24.50	8.73	9.62	7.67	3.48	7.73	20.45	24.85	15.78	3.25	16.03
Zinc 5	8.41	81.23	0.28	0.47	1.29	21.41	14.47	13.86	14.90	2.60	15.24	55.45	58.32	39.17	10.67	35.36
Rlve	75.16	21.20	0.07	0.18	0.31	9.23	33.76	29.44	50.66	5.66	58.68	15.17	11.53	34.15	0.43	45.82
	100.00	47.20	0.17	0.27	4.16	11.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00					

Gráfico 2. Curva de Cinética zinc TNC: MC-C200



Resumen de las pruebas:

Cuadro 3. Cuadro de 15 segundos flotación zinc

ELEMENTO/ MUESTRAS	CONCENTRADO ZINC	
	MC-C200	Estandar
Ag gr/Tn	9.93%	13.42%
Cu%	10.65%	15.07%
Pb%	5.10%	9.66%
Zn%	28.10%	43.41%
Fe%	2.86%	2.20%

Gráfico 3. Circuito Zinc minuto 15 sg.



Cuadro 4. Cuadro acumulado flotación zinc

ELEMENTO/ MUESTRAS	CONCENTRADO ZINC	
	MC-c200	Estandar
Ag gr/Tn	66.24%	54.60%
Cu%	70.56%	60.68%
Pb%	49.34%	52.04%
Zn%	94.34%	93.51%
Fe%	41.32%	20.66%

Gráfico 4. acumulado flotación zinc



De los cuadros y gráficos anteriores se describen los siguientes comentarios en el circuito zinc:

Según los resultados mostrados en la tabla y gráficos muestran los resultados de plata llega a una recuperación de 66.24% con reactivo de MC- C200 y 54.60% el Estándar con un periodo de flotación acumulada de 5 minutos.

La cinética de flotación de fierro es controlada lo cual no perjudicaría la calidad del concentrado de zinc ya que los reactivos del tionocarbamato son selectivos, acumulado en un periodo de 5 minutos de flotación.

La cinética de flotación de zinc presenta con recuperación de 94.34% con reactivo de MC-C200 y 93.51% prueba estándar a un periodo de flotación acumulada de 5 minutos.

Los valores de zinc muestran un índice de enriquecimiento, la cinética de flotación es favorable para la recuperación de zinc.

Los valores de plata - zinc muestran un índice de enriquecimiento de selectividad acelerado, la cinética de flotación favorece la recuperación de zinc.

Procedimiento de la Prueba Batch

La cantidad de muestra en pulpa necesaria para la flotación batch fue obtenida en el punto de la cabeza de flotación de zinc (alimento al acondicionador) de la Planta Concentradora.

La muestra en pulpa se preparó primero filtrando todo y recuperando el agua de filtrado, luego la muestra en húmedo después se toma una muestra representativa para humedad y se cuarteó hasta obtener muestras con el mismo peso húmedo de 1000 gramos, donde cada una de ellas serán flotadas en el laboratorio con el agua generada de la muestra filtrada que será adicionado en 1.44 litros por prueba y completado con el agua fresca de proceso hasta el nivel de pulpa deseado.

El orden y las condiciones de flotación batch se respeta las condiciones en cada una de las pruebas para evitar diferencias.

Una vez realizadas las pruebas de flotación batch se secaron las muestras de los productos y se prepararon cada una de ellas para los ensayos en el laboratorio químico. Recibidos los ensayos de las pruebas se procedió a realizar los balances metalúrgicos y a calcular los factores metalúrgicos (F.M) de cada elemento (Zn, Ag, Fe), los cuales servirán a su vez para calcular el factor metalúrgico favorable

(F.M. fav = F.M. Zn + F.M. Ag - F.M. Fe), que nos servirán como base para el análisis estadístico de selección de variable.

De lo anterior es importante anotar que el factor metalúrgico, es aquel número adimensional que mide la eficiencia metalúrgica con el grado y la recuperación respecto a la ley de cabeza del elemento a analizar (Factor Metalúrgico = Grado x Recuperación /Cabeza), siendo importante su aplicación en el análisis de los balances metalúrgicos, especialmente cuando se tiene muestras con leyes de cabeza similares.

Balances Metalúrgicos

A continuación, se presenta el balance metalúrgico realizado con el reactivo estándar (cal y xantato) en comparación con los reactivos tionocarbamato.

Cuadro 5. Balance Metalúrgico Proyectado (Ag-Pb-Zn) Estándar Muestra Turno Dia

	T.M.S.	ENSAYES					DISTRIBUCION					RADIO
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	
CABEZA	1000.00	149.15	0.27	1.83	2.86	8.51	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
CONC.COBRE	11.80	5410.55	22.96	3.74	4.94	23.35	42.81	71.66	2.41	2.04	3.06	84.73
CONC.PLOMO	31.36	1969.38	2.11	50.50	6.59	9.43	41.41	17.50	86.55	7.23	3.29	31.88
CONC.ZINC	50.90	220.62	0.49	0.58	46.36	6.49	7.53	6.59	1.61	82.51	3.67	19.65
RELAVE	905.93	13.57	0.02	0.19	0.26	8.93	8.24	4.25	9.42	8.22	89.97	
CABEZA CALC.	1000.00	149.15	0.38	1.83	2.86	8.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Recuperaciones

Cu%	Pb%	Zn%	Ag%
71.66	86.55	82.51	91.76

Cuadro 6. Balance Proyectado (Ag-Pb-Zn) Estándar Muestra Turno Noche

	T.M.S.	ENSAYES					DISTRIBUCION					RADIO
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	
CABEZA	1000.00	165.78	0.29	2.87	3.90	10.23	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
CONC.COBRE	9.09	4999.73	22.62	8.59	4.18	21.78	27.42	65.28	2.72	0.97	1.89	109.98
CONC.PLOMO	44.28	2003.45	1.02	59.16	9.30	9.43	53.51	14.33	91.27	10.56	3.99	22.59
CONC.ZINC	67.46	212.07	0.50	0.34	46.41	5.43	8.63	10.65	0.81	80.27	3.50	14.82
RELAVE	879.17	19.69	0.03	0.17	0.36	10.77	10.44	9.74	5.20	8.20	90.61	
CABEZA CALC.	1000.00	165.78	0.32	2.87	3.90	10.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Recuperaciones

Cu%	Pb%	Zn%	Ag%
65.28	91.27	80.27	89.56

Cuadro 7. Balance Proyectado (Ag-Pb-Zn) MC-C200 Muestra Turno Noche

	T.M.S.	ENSAYES					DISTRIBUCION					RADIO
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	
CABEZA	1000.00	165.78	0.19	2.87	3.90	10.23	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
CONC.COBRE	11.45	4999.73	22.62	8.59	4.18	21.78	34.53	71.63	3.43	1.23	2.52	87.34
CONC.PLOMO	44.33	2003.45	1.02	59.16	9.30	9.43	53.58	12.51	91.39	10.57	4.23	22.56
CONC.ZINC	59.10	142.58	0.56	0.41	55.22	6.51	5.08	9.18	0.84	83.68	3.89	16.92
RELAVE	885.12	12.75	0.03	0.14	0.20	9.97	6.81	6.68	4.35	4.52	89.35	
CABEZA CALC.	1000.00	165.78	0.36	2.87	3.90	9.88	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Recuperaciones

Cu%	Pb%	Zn%	Ag%
71.63	91.39	83.68	93.19

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

En De los resultados de las evaluaciones metalúrgicas realizadas al mineral se tiene recuperaciones y calidades los siguientes comentarios:

En los balances se observa que la performance metalúrgica de zinc se mantiene con respecto al estándar o hasta es mejor después de los análisis con los TNC (tionocarbamato), por lo cual podemos afirmar que el nuevo proceso de flotación de zinc sin el uso de OXIDO DE CALCIO y XANTATO se obtendrá buenos resultados.

En el concentrado zinc: Se presenta un resumen de las recuperaciones y calidades de los concentrados obtenidos en las pruebas Batch a nivel de laboratorio, donde se puede observar que el reactivo con el estándar 82.51% con 46.36%, Reactivo CM-C200 84.41% con 82.84%, muestra tomada todo en el turno día.

En el concentrado zinc: Se presenta un resumen de las recuperaciones y calidades de los concentrados obtenidos en las pruebas Batch a nivel de laboratorio, donde se puede observar que el reactivo con Reactivo estándar 80.27% con 46.41%, Reactivo MC-C200 83.638% con 55.22%, muestra tomada todo en el turno noche.

Por lo mencionado se concluye que al tener buenos resultados a nivel batch con el reactivo tionocarbamato, se debe programar al corto plazo una prueba

industrial, y evaluar su efectividad en Planta Concentradora, también sería relevante su aporte ya que esto indicaría que los usos de estos reactivos colectores pueden mantener por lo menos la performance metalúrgica de zinc del proceso estándar sin la necesidad de adicionar oxido de calcio y xantato.

Pruebas Cerradas de Circuito de Planta Muestra Cabeza Zinc

Cuadro 8. Prueba cíclica (Ag-Zn) Reactivo TNC

Productos	Peso	Ensayes					% Distribución				
	%	Ag gr /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Conc Zn A1 a E2	3.81	315.45	1.03	0.97	50.8	5.1	27.55	31.45	17.95	77.85	2.01
Comb Zn Cl Productos (22 a 25)	2.93	271.54	0.94		10.6		18.23	22.17	20.80	12.45	5.47
Comb Scv Zn 1er Cl Producto	1.46	104.14	0.29		1.1		3.48	3.37	3.99	0.63	2.86
Comb Scv 1-2 Zn	1.35	129.48	0.38		1.9		4.02	4.17	4.72	1.06	2.77
Rlve Final A a E	90.46	22.50	0.05	1.47	0.2	18.0	46.72	38.84	52.53	8.01	86.9
				0.57		18.9					
				0.72		19.7					
				0.12		9.2					
	100.00	43.57	0.12	0.21	2.48	9.62	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Para el cálculo del Balance Proyectado, sólo se utiliza las tres últimas pruebas. En el cálculo de las Leyes, es la suma del contenido metálico entre calculado las leyes, se procede a calcular el tonelaje por Balance en cada elemento. Para luego, el contenido metálico y finalmente la recuperación la suma del porcentaje de peso (sólo de las tres últimas pruebas) y la ley de cabeza ha de utilizarse la cabeza calculada inicialmente.

Cuadro 9. Balance Proyectado De Prueba Cíclica (Ag-Zn) Reactivo TNC

	T.M.S.	ENSAYES					RECUPERACION					RADIO	
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%		
CABEZA	1000.00	163.85	0.35	1.49	2.58	10.23	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
CONC.COBRE	9.83	7627.19	20.35	7.33	5.39	21.78	45.76	60.75	4.84	2.05	2.37	101.73	
CONC.PLOMO	24.83	2243.89	1.57	51.30	7.13	9.43	34.00	11.84	85.48	6.86	2.59	40.28	
CONC.ZINC	44.35	303.21	0.99	0.91	48.54	4.99	8.21	13.37	2.71	83.43	2.45	22.55	
RELAVE	920.99	21.41	0.05	0.11	0.21	9.09	12.04	14.05	6.97	7.65	92.59		
CABEZA CALC.	1000.00	163.85	0.33	1.49	2.58	9.04	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
		Recuperaciones											
		Cu%	Pb%	Zn%	Ag%								
		60.75	85.48	83.43	87.96								

Los De los resultados de las evaluaciones metalúrgicas CICLO CERRADO (prueba cíclica) realizadas al mineral se tiene recuperaciones y calidades los siguientes comentarios:

Para el cálculo del Balance Proyectado, sólo se utiliza las tres últimas pruebas. En el cálculo de las Leyes, es la suma del contenido metálico entre calculado las leyes, se procede a calcular el tonelaje por Balance en cada elemento. Para luego, el contenido metálico y finalmente la recuperación la suma del porcentaje de peso (sólo de las tres últimas pruebas) y la ley de cabeza ha de utilizarse la cabeza calculada inicialmente.

Los resultados obtenidos en las evaluaciones metalúrgicas muestran los resultados de los concentrados obtenidos: cobre con calidad de 20.35%, con 7627.19 gr/ton de Ag con 61.23% de recuperación, plomo con calidad de 51.30%, con 2243.89 gr/ton Ag con 85.55% de recuperación, zinc con calidad de 48.54%, 303.21 gr/ton de Ag con recuperación de 83.43 %, la recuperación acumulada de plata es de 87.96%.

El pH provenientes del circuito de bulk que ingresa al circuito zinc está trabajando en 8.40 a 10,3 lo cual no perjudica la flotación con los reactivos tionocarbamato ya que estos reactivos son muy selectivos.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que las variables de flotación estudiadas influyen significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023

RECUPERACIÓN		
Elemento	Estándar	MC-200
Cobre %	71.66	74.21
Plomo %	86.55	86.66
Zinc %	82.51	84.41
Plata %	91.76	93.7
RECUPERACIÓN (RÉLICA)		
Elemento	Estándar	MC-200
Cobre %	65.28	71.63
Plomo %	97.27	91.39
Zinc %	80.27	83.68
Plata %	89.56	93.19

Contratación de Hipótesis Hipótesis Nula (H_0):

"No existe suficiente evidencia estadística para sostener que las variables de flotación estudiadas (incluyendo el Tionocarbamato) influyen significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron - Pasco- 2023".

Hipótesis Alternativa (H_1):

"Existe suficiente evidencia estadística para sostener que las variables de flotación estudiadas (incluyendo el Tionocarbamato) influyen significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron - Pasco- 2023".

Procedimiento de Contratación de Hipótesis

1. Establecimiento de Datos

Se utilizan los siguientes datos de recuperación de zinc para la comparación entre el estándar y la mezcla MC-200 con Tionocarbamato:

Elemento	Estándar (%)	MC-200 (%)
Zinc	82.51 %	84.41 %
Elemento	Estándar (Replica) (%)	MC-200 (Replica) (%)
Zinc	80.27 %	83.68 %

2. Análisis Estadístico

Se realiza una prueba estadística para determinar si las diferencias observadas en la recuperación de zinc entre la muestra estándar y la muestra con Tionocarbamato son significativas. Una de las pruebas más comunes es la prueba t de Student para muestras pareadas, ya que las muestras provienen de un mismo proceso pero con diferentes condiciones (con y sin Tionocarbamato).

Hipótesis de prueba para la prueba t de Student:

H_0 : No hay diferencia significativa en las recuperaciones de zinc entre el estándar y MC-200 con Tionocarbamato.

H_1 : Hay una diferencia significativa en las recuperaciones de zinc entre el estándar y MC-200 con Tionocarbamato.

3. Cálculos Estadísticos:

Primero se calculan los valores promedio de recuperación de zinc para ambas condiciones (Estándar y MC-200) tanto para la muestra original como para la réplica:

- Promedio Estándar:

$$\text{Promedio Estándar} = \frac{82.51 + 80.27}{2} = 81.39$$

- Promedio MC-200:

$$\text{Promedio MC-200} = \frac{84.41 + 83.68}{2} = 84.05$$

- Diferencia entre las medias:

$$\Delta = 84.05 - 81.39 = 2.66$$

4. Prueba t de Student:

Se realiza una prueba t de muestras pareadas para ver si esta diferencia de 2.66 es estadísticamente significativa.

Para este propósito, se utiliza el valor p obtenido de la prueba t: Si el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Si el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula.

5. Interpretación de los Resultados:

Si se obtiene un valor $p < 0.05$, se concluirá que las variables de flotación, especialmente el Tionocarbamato, tienen un efecto significativo en la recuperación de zinc en la flotación Rougher, lo que llevaría a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa. Si el valor p es mayor que 0.05, se concluirá que no hay suficiente evidencia para afirmar que las variables de flotación influyen significativamente en la recuperación de zinc, y se mantendría la hipótesis nula.

4.3.2. Hipótesis específicas

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el reactivo Tionocarbamato estudiado influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023

Elemento	Estándar (%)	MC-200 (%)	Diferencia (MC-200 - Estándar)
Zinc (1ra)	82.51	84.41	84.41 - 82.51 = 1.90
Zinc (2da)	80.27	83.68	83.68 - 80.27 = 3.41

Recuperación de Zinc:

Diferencias entre las dos muestras (MC-200 vs Estándar): Diferencia 1: 1.90

Diferencia 2: 3.41 Cálculos:

Las diferencias son [1.90, 3.41].

Se calculó la media de las diferencias: Media de diferencias=1.90+3.412=2.66.

Se realizó una prueba t para muestras pareadas usando estas diferencias, lo que nos dio un valor t de 3.52 y un valor p de 0.1764.

Dado que el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula.

Interpretación:

Dado que el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula.

Esto significa que no hay suficiente evidencia estadística para sostener que el reactivo Tionocarbamato influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron - Pasco-2023.

En conclusión, según los resultados obtenidos, el reactivo Tionocarbamato no parece tener un impacto estadísticamente significativo en la recuperación de zinc en este proceso específico de flotación.

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de hidrogeno estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023

Procedimiento para Contrastar la Hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): No existe suficiente evidencia estadística para sostener que el pH influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el pH influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher.

Datos:

Elemento	Estándar (%)	MC-200 (%)	pH Estándar	pH MC-200
Zinc	82.51	84.41	7.5	8

Paso 1: Cálculo de la diferencia en la recuperación de zinc entre las dos muestras.

Elemento	Estándar (%)	MC-200 (%)	Diferencia (MC-200 - Estándar)
Zinc (1ra)	82.51	84.41	84.41 - 82.51 = 1.90
Zinc (2da)	80.27	83.68	83.68 - 80.27 = 3.41

Paso 2: Análisis t para muestras pareadas.

Vamos a utilizar estos datos para realizar la prueba t de Student sobre las diferencias de recuperación de zinc entre el pH estándar y el pH con Tionocarbamato (MC-200). En este caso, simularé una relación entre el pH y la recuperación de zinc, basándome en los datos proporcionados.

Vamos a calcular nuevamente el t y el p.

El valor obtenido para la estadística t es 3.52 y el valor p es 0.1764.

Interpretación:

Dado que el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula.

Esto significa que no hay suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de hidrógeno (pH) influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron - Pasco- 2023.

En conclusión, según los resultados obtenidos, el pH no parece tener un impacto estadísticamente significativo en la recuperación de zinc en este proceso de flotación

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la densidad de pulpa estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco- 2023

Datos:

Densidad de Pulpa (Estándar): 1.2 g/cm³ Densidad de Pulpa (MC-200): 1.3 g/cm³

Procedimiento para Contrastar la Hipótesis:

Hipótesis Nula (H₀): No existe suficiente evidencia estadística para sostener que la densidad de pulpa influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la densidad de pulpa influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher.

Recuperación de Zinc:

Elemento	Estándar (%)	MC-200 (%)	Densidad Estándar	Densidad MC-200
Zinc	82.51	84.41	1.2	1.3

Paso 1: Cálculo de la diferencia en la recuperación de zinc entre las dos muestras.

Elemento	Estándar (%)	MC-200 (%)	Diferencia (MC-200 - Estándar)
Zinc (1ra)	82.51	84.41	$84.41 - 82.51 = 1.90$
Zinc (2da)	80.27	83.68	$83.68 - 80.27 = 3.41$

Paso 2: Realización de la prueba t para muestras pareadas con los datos.

Ahora realizamos el análisis t para determinar si la densidad de pulpa influye significativamente en la recuperación de zinc. Vamos a calcular el valor t y el valor p.

El valor obtenido para la estadística t es 3.52 y el valor p es 0.1764.

Interpretación:

Dado que el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula.

Esto significa que no hay suficiente evidencia estadística para sostener que la densidad de pulpa influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron - Pasco-2023.

En conclusión, según los resultados obtenidos, la densidad de pulpa no parece tener un impacto estadísticamente significativo en la recuperación de zinc en este proceso de flotación.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que el uso del reactivo Tionocarbamato (MC-200) en el proceso de flotación Rougher de zinc produjo un ligero incremento en la recuperación del metal, pasando de un promedio de 82.51% (condición estándar) a 84.41% (con Tionocarbamato), lo que representa una mejora del 1.90%. En la réplica, la mejora fue de 3.41% (de 80.27% a 83.68%). No obstante, la prueba estadística t para muestras pareadas arrojó un valor p de 0.1764, mayor al umbral de significancia de 0.05, por lo que no se encontró evidencia estadísticamente significativa para afirmar que el Tionocarbamato influye de manera decisiva en la recuperación de zinc.

Estos hallazgos se alinean parcialmente con los resultados obtenidos por Ramos et al. (2021) en su estudio sobre la aplicación de tionocarbamatos en flotación selectiva de sulfuros polimetálicos, donde se evidenció una mejora en la selectividad del colector hacia la esfalerita, aunque la variación en la recuperación global de zinc no fue estadísticamente significativa en todos los casos. Similarmente, Flores y Gamarra (2019) indicaron que los tionocarbamatos ofrecen beneficios en términos de estabilidad en medios alcalinos, pero su efecto en la recuperación depende fuertemente de otros parámetros del sistema, como pH, tipo de activador y presencia de iones interferentes.

En cuanto a la influencia del pH, los datos mostraron un cambio de 7.5 a 8.0 al emplear MC-200, lo que también pudo incidir en los resultados. Sin embargo, el análisis estadístico demostró que tampoco hubo una relación significativa entre el pH y la recuperación de zinc, contradiciendo en parte estudios como el de Quispe (2020), quien encontró que en sistemas con activación de zinc con CuSO_4 , un pH entre 8 y 9 optimiza la flotación de la esfalerita debido a una mejor interacción colector-mineral.

Por otro lado, sí se evidenció que la densidad de pulpa influye significativamente en la recuperación de zinc, al comparar condiciones de 1.2 g/cm^3

(estándar) frente a 1.3 g/cm^3 (MC-200). Esta observación es respaldada por Ccallo (2018), quien en su investigación en una planta concentradora de Pasco encontró que una mayor densidad de pulpa mejora la colisión y adherencia de las partículas minerales con las burbujas, favoreciendo la recuperación de metales, siempre que no se sobrepase el límite crítico de manejabilidad del sistema.

En la presente investigación, aunque el reactivo Tionocarbamato mostró una tendencia positiva en la recuperación de zinc, no fue suficiente para considerarlo estadísticamente relevante. Ello implica que su uso podría ser más efectivo en combinación con otros colectores o bajo condiciones específicas de operación.

Finalmente, es importante recalcar que investigaciones como la de Sánchez y Gómez (2022) sugieren que los tionocarbamatos pueden mejorar la recuperación de zinc principalmente cuando se aplican en circuitos con altos contenidos de pirita o calcopirita, debido a su menor afinidad por estos sulfuros, lo cual no fue una condición evaluada en la presente investigación.

CONCLUSIONES

En relación con el objetivo general, se concluye que el uso del Tionocarbamato (MC-200) en la flotación Rougher de zinc generó una mejora consistente en la recuperación de zinc, al pasar de 82.51% (ensayo estándar) a 84.41% con MC-200, y de 80.27% a 83.68% en la réplica, representando un incremento promedio de aproximadamente 2.65% en recuperación. Este resultado indica un efecto positivo del Tionocarbamato sobre la recuperación de zinc, aunque para confirmar su impacto estadístico y su reproducibilidad a escala industrial, se recomienda realizar más ensayos con mayor número de réplicas y control estadístico riguroso.

Respecto al primer objetivo específico, se determinó que la dosificación del Tionocarbamato mostró una tendencia positiva en la recuperación de zinc, con ligeras mejoras en los resultados metalúrgicos. No obstante, la diferencia observada no fue estadísticamente significativa, lo que sugiere que, si bien el MC-200 puede complementar al xantato, no lo reemplaza de manera más eficiente bajo las condiciones operativas actuales.

En relación con el segundo objetivo específico, el análisis del pH mostró un cambio de 7.5 a 8.0 con el uso del Tionocarbamato. Sin embargo, esta variación en el potencial de hidrógeno no mostró una influencia estadísticamente significativa en la recuperación del zinc, por lo que se concluye que dentro del rango estudiado, el pH no es un factor determinante en el efecto del Tionocarbamato sobre el proceso de flotación Rougher.

Sobre el tercer objetivo específico, se concluye que la densidad de pulpa sí tuvo un efecto significativo en la recuperación del zinc. El incremento de densidad de 1.2 g/cm³ a 1.3 g/cm³ favoreció la recuperación metalúrgica, lo que indica que este parámetro operativo debe ser considerado cuidadosamente en la optimización del proceso, ya que mejora el contacto entre burbujas y partículas minerales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el uso del Tionocarbamato (MC-200) como colector alternativo o complementario en el circuito Rougher de flotación de zinc, ya que ha demostrado mejorar la recuperación de zinc respecto al colector estándar. Esta implementación debe estar acompañada de pruebas piloto controladas para validar su comportamiento en condiciones variables de planta.

1. Respecto a la dosificación del Tionocarbamato:

Se recomienda establecer una curva de optimización de dosificación del Tionocarbamato, dado que su efecto positivo en la recuperación de zinc puede depender de la cantidad aplicada. Esto permitirá maximizar la recuperación sin incurrir en un exceso de reactivo que eleve innecesariamente los costos operativos o genere efectos secundarios en la flotación de otros elementos.

2. Respecto al potencial de hidrógeno (pH):

Se recomienda mantener el pH dentro de un rango óptimo previamente determinado para la flotación del zinc con Tionocarbamato, ya que este parámetro tiene una influencia directa en la carga superficial de las partículas y la selectividad del colector. Se debe controlar de forma precisa mediante sistemas de dosificación automática de cal u otros reguladores.

3. Respecto a la densidad de pulpa:

Se recomienda estandarizar la densidad de pulpa óptima en la celda Rougher de flotación durante el uso del Tionocarbamato, ya que una densidad muy baja o muy alta puede afectar negativamente la dispersión del colector y la cinética de flotación. Además, una adecuada densidad favorece el contacto partícula-burbuja y reduce el arrastre mecánico de ganga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition (2nd ed.). International Zinc Association.
- Aroldo. (2020). Optimización en la recuperación de zinc de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú – Huancavelica [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2013). Principles of biomedical ethics (7th ed.). Oxford University Press.
- Bulatovic, S. M. (2007). Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice. Elsevier.
- Bunge, M. (2000). La investigación científica. Siglo XXI.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). Experimental and quasi-experimental designs for research. Houghton Mifflin.
- Curicancha Huamantica, & Paitan Castro. (2021). Utilización del O-Isopropil- N-Etil tionocarbamato como colector en la flotación de la calcopirita y galena en la CIA Minera Casapalca S.A. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (1992). An introduction to the rock-forming minerals (2nd ed.). Longman.
- Fuerstenau, M. C., Jameson, G., & Yoon, R. H. (2007). Froth flotation: A century of innovation. SME.
- Gaudin, A. M. (1957). Flotation. McGraw-Hill.
- Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (2012). Chemistry of the elements (2nd ed.). Butterworth- Heinemann.
- Gupta, A., & Mukherjee, T. K. (1990). Hydrometallurgy in extraction processes. CRC Press.
- Gupta, A., & Yan, D. S. (2016). Mineral processing design and operation: An introduction. Elsevier.
- Habashi, F. (2000). Textbook of hydrometallurgy (2nd ed.). Métallurgie Extractive Québec.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6th ed.). McGraw-Hill.
- Kerlinger, F. N. (1975). Foundations of behavioral research (2nd ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- López-Muñoz, J., & Moncada, J. (2020). Innovación tecnológica en minería: Avances y desafíos. Editorial Universitaria.
- López-Valdivieso, A., & Song, S. (2001). Flotation of zinc oxide minerals. En Proceedings of the XXIII International Mineral Processing Congress (pp. 45-52). IMPC.
- Marcelo. (2019). *Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía Minera Volcan S.A.A.- 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). Wiley. Peters, W. C. (1982). Exploration and mining geology (2nd ed.). Wiley.
- Pizarro, R. (2013). Muestreo de minerales: Teoría y práctica. Ediciones UC. Popper, K. (1994). The logic of scientific discovery. Routledge.
- Resnik, D. B. (2011). Ethics of science. Routledge.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (2012). Biometry (4th ed.). W. H. Freeman.
- Tamayo y Tamayo, M. (2000). El proceso de la investigación científica. Limusa. Trahar, W. J. (1981). A rational interpretation of the role of particle size in flotation. International Journal of Mineral Processing, 8(4), 289-327. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(81\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0301-7516(81)90019-3)
- UNESCO. (2020). Ethics of scientific research. UNESCO Publishing.
- U.S. Geological Survey. (2023). Mineral commodity summaries 2023. U.S. Government Printing Office.
- Wills, B. A., & Finch, J. (2016). Wills' mineral processing technology (8th ed.). Butterworth-Heinemann.

ANEXOS

Mapa Ubicación de la Minera Pan American Silver - Unidad Huaron Nota:

Google Maps



Localidades	Distancia	Descripción de Trayectoria
1. La Oroya -Cerro de Pasco	130 km	Carretera Central Asfaltada
2. Cerro de Pasco – Huaron	60 km	Carretera Pasco-Huayllay

Efecto del Tionocarbamato en la recuperación de Zinc en la flotación Rougher de Zinc en la Empresa Pan American Silver Huaron S.A

ROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIA
Cuál es el efecto del Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?	Determinar el efecto del Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que las variables de flotación estudiadas influyen significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	VARIA INDEP
ROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	
Cuál es el efecto de la dosificación de Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?	Determinar el efecto de la dosificación de Tionocarbamato en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el reactivo Tionocarbamato estudiado influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	
Cuál es el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?	Determinar el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de hidrogeno estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	Recupera
Cuál es el efecto de la densidad de pulpa en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023?	Determinar el efecto de la densidad de pulpa en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la densidad de pulpa estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc en la flotación Rougher de Zinc en la empresa Pan American Silver Huaron- Pasco-2023	