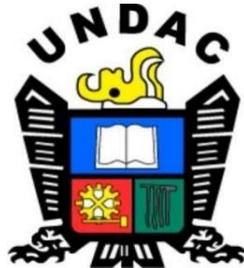


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Técnicas de reducción de costos del proceso de flotación para la
recuperación de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero Metalurgista**

Autor:

Bach. Yerika Yubitza CAMPOS VIDAL

Asesor:

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

Cerro de Pasco – Perú – 2024

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



T E S I S

**Técnicas de reducción de costos del proceso de flotación para la
recuperación de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO

Mg. Uldarico USURIAGA LÓPEZ
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 063-2024-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:

Técnicas de reducción de costos del proceso de flotación para la recuperación de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. CAMPOS VIDAL, Yerika Yubitza

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. SURICHAQUI HIDALGO, Marco Antonio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

11%

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 22 de febrero del 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villa Requis Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

A Dios y a mi querida madre, Yolanda Vidal Caro, quien ha sido el sostén de mi vida y un ejemplo a seguir, gracias a su amor incondicional, apoyo constante y sabiduría. A todas aquellas personas que confiaron en mí y con su apoyo inquebrantable alcanzo esta meta. De todo corazón, les agradezco por sus consejos y enseñanzas.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la empresa que me brinda la oportunidad de crecimiento profesional, así como a los ingenieros que me guiaron durante esta etapa de superación y aprendizaje. Mi gratitud se extiende al Ing. Marco Antonio Surichaqui Hidalgo por su apoyo constante, fundamental para mi desarrollo. A cada persona que confió en mí, gracias por sus contribuciones, motivaciones y confianza, elementos esenciales en mi camino hacia el éxito profesional.

RESUMEN

La investigación se centra como problema que, en los últimos meses se ha experimentado una disminución en las recuperaciones de concentrado principalmente en zinc, reduciendo la rentabilidad económica para la empresa, lo cual se busca emplear técnicas de reducción de costos del proceso de flotación para la recuperación de zinc, teniendo como objetivos analizar y determinar la influencia del consumo de reactivos, la recuperación de los valores de zinc y evaluar la obtención de concentrado final en la celda SW. La investigación es de tipo aplicada, nivel de estudio explicativa, con diseño de investigación experimental (causa – efecto), estos puntos se enfocan al tema de investigación que lleva por título Técnicas de reducción de costos del proceso de flotación para la recuperación de zinc en la planta de beneficio TLM S.A, los datos recopilados se obtuvo mediante la experimentación de pruebas metalúrgicas nivel laboratorio, tomando como muestra 1 kg de cada lote de mineral con un total de 55 kg en muestra, y la población es todo el mineral que ingresa a planta se evaluó reactivos formados en dos grupos G1: Z-6, CuSO₄, pH , MIBC y G2: Z-11, CuSO₄, pH , MIBC. En el caso del cianuro se utilizó progresivamente para ambos grupos.

Los resultados obtenidos son significativamente favorables puesto que la recuperación de zinc alcanza hasta los 94.65% para Grupo 1 y 78.00% para el Grupo 2, el contenido metálico supera al estándar en base al Grupo 1 y las pruebas en la celda SW, la calidad es comercializable ya que supera los 45%, se concluye que la optimización de reactivos y pruebas experimentales son de importancia para el proceso de flotación. Este enfoque proporciona una mayor eficiencia económica y maximiza la recuperación del concentrado de zinc.

PALABRAS CLAVES: Técnicas, rentabilidad, recuperación, optimización

ABSTRACT

The investigation focuses on the problem that, in recent months, there has been a decrease in concentrate recoveries, mainly in zinc, reducing the economic profitability for the company, which seeks to employ cost reduction techniques in the flotation process for the zinc recovery, with the objectives of analyzing and determining the influence of reagent consumption, the recovery of zinc values and evaluating the obtaining of final concentrate in the SW cell. The research is of an applied type, explanatory study level, with an experimental research design (cause – effect), these points focus on the research topic entitled Cost reduction techniques of the flotation process for the recovery of zinc in the TLM S.A benefit plant, the data collected was obtained through the experimentation of laboratory-level metallurgical tests, taking as a sample 1 kg of each batch of mineral with a total of 55 kg in sample, and the population is all the mineral that enters plant reagents formed in two groups G1: Z-6, CuSO₄, pH, MIBC and G2: Z-11, CuSO₄, pH, MIBC were evaluated. In the case of cyanide, it was used progressively for both groups.

The results obtained are significantly favorable since the zinc recovery reaches up to 94.65% for Group 1 and 78.00% for Group 2, the metal content exceeds the standard based on Group 1 and the tests in the SW cell, the quality is marketable since it exceeds 45%, it is concluded that the optimization of reagents and experimental tests are important for the flotation process. This approach provides greater economic efficiency and maximizes zinc concentrate recovery.

KEYWORDS: Techniques, profitability, recovery, optimization

INTRODUCCIÓN

La optimización de costos en el procesamiento de minerales, desempeña un papel crucial para optar por técnicas con acciones específicas que logren garantizar la factibilidad económica y la continuidad operativa a largo plazo para lograr un objetivo. La tesis intitulada “Técnicas de reducción de costos del proceso de flotación para la recuperación de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023”, se ha desarrollado del siguiente modo:

CAPITULO I. Se expone el problema de investigación con la identificación y determinación, se describe las delimitaciones de la investigación, detallando la formulación del problema, se plantean los objetivos, justificación y las limitaciones que se va tratar en la investigación.

CAPITULO II. Se expone el marco teórico con los antecedentes con temas referentes a la investigación que abarca en cuanto a la recuperación del zinc y reducción de costos, con bases teóricas científicas en principios de la flotación de minerales polimetálico, variables operacionales, reactivos de flotación, optimización de procesos y evaluación económica, se detalla la definición de los términos más utilizados, se formula la hipótesis y la identificación de variables.

CAPITULO III. Se expone la metodología y técnicas de investigación en donde se enmarca los puntos del tipo, nivel, métodos y diseño que se usó en el trabajo de investigación, se detalla la población y la muestra tomada, también se describe las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados, asimismo del tratamiento estadístico, selección, validación y confidencialidad de instrumentos de investigación.

CAPITULO IV. Se expone los resultados y discusión de la investigación, en donde se detalla la descripción del trabajo de campo, la presentación de resultados

obtenidos, además se argumenta la prueba hipótesis y la discusión de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. Se exponen las conclusiones del estudio donde se centran en aspectos fundamentales. A su vez, se brindan recomendaciones sugeridas para guiar investigaciones futuras, brindar una perspectiva estratégica, enfatizar la relevancia actual del tema y proporcionar una base sólida para futuras investigaciones.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.2. Bases teóricas - científicas.....	7
2.2.1. Flotación de mineral	7
2.2.2. Variables operacionales en flotación	9
2.2.3. Circuito de flotación de zinc	10
2.2.4. Flotación de mineral Polimetálico (sulfuros).....	11
2.2.5. Activación y flotación de sulfuro de zinc	12
2.2.6. Reactivos de flotación.....	12
2.2.7. Optimización de procesos metalúrgicos	17
2.2.8. Costos y evaluación económica.....	18
2.3. Definición de términos básicos.....	18
2.4. Formulación de hipótesis	19
2.4.1. Hipótesis general.....	19
2.4.2. Hipótesis específica	20
2.5. Identificación de variables.....	20
2.5.1. Variable independiente	20
2.5.2. Variable dependiente	20
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	20

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	21
3.2. Nivel de investigación	21
3.3. Métodos de investigación	21

3.4.	Diseño de investigación	22
3.5.	Población y muestra.....	23
3.5.1.	Población	23
3.5.2.	Muestra	23
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos.....	23
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos	24
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de instrumentos de investigación	24
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
3.8.1.	Técnicas de procesamiento de datos.....	24
3.8.2.	Técnicas de análisis de datos	24
3.9.	Tratamiento estadístico.....	25
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	25

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	26
4.1.1.	Análisis y composición mineralógica	27
4.1.2.	Característica de la muestra	28
4.1.3.	Prueba de moliendabilidad.....	28
4.1.4.	Pruebas de flotación nivel laboratorio	29
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	32
4.2.1.	Diseños factorial fraccionado 2^{k-1}	32
4.2.2.	Resultado del análisis de varianza	42
4.2.3.	Resultados de los efectos	43
4.2.4.	Resultado de los coeficientes.....	44

4.2.5. Resultado Modelo Matemático	45
4.2.6. Análisis T-Student	45
4.2.7. Resultado Celda Serrana SW	46
4.2.8. Resultado del consumo de cianuro	50
4.2.9. Análisis Económico	51
4.3. Prueba de Hipótesis	54
4.3.1. Primera hipótesis específica.....	54
4.3.2. Segunda hipótesis específica	54
4.3.3. Hipótesis general.....	55
4.4. Discusión de resultados	56

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Colectores.....	13
Tabla 2: Espumantes	14
Tabla 3: Operacionalización de variables	20
Tabla 4: Tiempos en las etapas de flotación.....	26
Tabla 5: Dosificación y costo económico prueba estándar	27
Tabla 6: Balance metalúrgico prueba estándar.....	27
Tabla 7: Composición química del mineral	27
Tabla 8: Análisis químico promedio	28
Tabla 9: Análisis Granulométrico, tiempo 2 minutos	28
Tabla 10: Análisis Granulométrico, tiempo 6 minutos	28
Tabla 11: Análisis Granulométrico, tiempo 10 minutos	28
Tabla 12: Variables Escala Real, Grupo 1	33
Tabla 13: Matriz de diseño a escala Codificada y escala Real, Grupo 1	33
Tabla 14: Dosificación de reactivos y tiempos de prueba, Grupo 1.....	34
Tabla 15: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 01	34
Tabla 16: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 02	34
Tabla 17: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 03	34
Tabla 18: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 04	35
Tabla 19: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 05	35
Tabla 20: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 06	35
Tabla 21: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 07	35
Tabla 22: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 08	35
Tabla 23: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 09	36
Tabla 24: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 10	36

Tabla 25: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 11	36
Tabla 26: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 12	36
Tabla 27: Variables Escala Real, Grupo 2	37
Tabla 28: Matriz de diseño a escala Codificada y escala real, Grupo 2.....	38
Tabla 29: Dosificación de reactivos y tiempos de prueba, Grupo 2.....	38
Tabla 30: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 01	39
Tabla 31: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 02	39
Tabla 32: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 03	39
Tabla 33: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 04	39
Tabla 34: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 05	39
Tabla 35: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 06	40
Tabla 36: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 07	40
Tabla 37: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 08	40
Tabla 38: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 09	40
Tabla 39: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 10	40
Tabla 40: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 11	41
Tabla 41: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 12	41
Tabla 42: Resultados del Análisis de Varianza Grupo 1 y Grupo 2	42
Tabla 43: Resultados de los efectos Grupo 1 y Grupo 2	43
Tabla 44: Resultados de los coeficientes Grupo 1 y Grupo 2	44
Tabla 45: Resultados Modelo Matemático Grupo 1 y Grupo 2	45
Tabla 46: Análisis T-Student Grupo 1 y Grupo 2	45
Tabla 47: Dosificación y tiempos de prueba Celda SW, Grupo 1	47
Tabla 48: Balance Metalúrgico Celda SW, Grupo 1	47
Tabla 49: Balance Metalúrgico Celda R-S-C, Grupo 1.....	47

Tabla 50: Balance General Grupo 1 (Celda SW – Celda R-S-C)	48
Tabla 51: Dosificación de reactivos y tiempos de prueba Celda SW, Grupo 2	48
Tabla 52: Balance Metalúrgico Celda SW, Grupo 2.....	49
Tabla 53: Balance Metalúrgico Celda R-S-C, Grupo 2.....	49
Tabla 54: Balance General Grupo 2 (Celda SW – Celda R-S-C)	49
Tabla 55: Consumo de Cianuro Prueba: Estándar / Grupo 1 / Grupo 2.....	50
Tabla 56: Costo de Reactivos.....	51
Tabla 57: Costo/Beneficio de las pruebas Grupo 1	52
Tabla 58: Costo/Beneficio de las pruebas Grupo 2.....	53
Tabla 59: Costos y beneficios analizados de las pruebas Grupo 1 / Grupo 2	60
Tabla 60: Costo/Beneficio de la prueba celda serrano SW - Grupo 1	63
Tabla 61: Costo/Beneficio de la prueba celda serrano SW - Grupo 2	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tiempo de Molienda.....	29
Figura 2: Diagrama de Flujo Nivel Laboratorio	30
Figura 3: Cinética de Flotación	31
Figura 4: % Recuperación de Zinc frente Ley de Zinc, Grupo 1	37
Figura 5: % Recuperación de Zinc frente Ley de Zinc, Grupo 2	41
Figura 6: Diagrama de Flujo Nivel Laboratorio con celda SW	46
Figura 7: Costo de Ganancia de las Pruebas Grupo 1 / Prueba Estándar.....	52
Figura 8: Costo de Ganancia de las Pruebas Grupo 2 / Prueba Estándar.....	53
Figura 9: Comparativo de los grupos de pruebas Estándar / Grupo 1 / Grupo 2	56
Figura 10: % Recuperación de Zinc Grupo 1 / Grupo 2	57
Figura 11: Contenido Metálico de Zinc Grupo 1 / Grupo 2.....	58
Figura 12: % Calidad de Zinc Grupo 1 / Grupo 2.....	58
Figura 13: Diferencia de Ganancia de las Pruebas del Grupo 1 y Grupo 2	61
Figura 14: % Recuperación Zinc vs Costo de Ganancia (\$) de las Pruebas Estándar / Grupo 1 / Grupo 2 (CELDA SW).....	62

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Desde hace más de 10 años, la empresa minera TLM S.A. concentra minerales polimetálicos como plata, cobre, plomo, zinc y en su planta de beneficio en el distrito de Ticapampa. Sin embargo, la empresa está experimentando una disminución en la recuperación de su concentrado de zinc, esto ha provocado una baja económica afectando negativamente a la rentabilidad de la empresa. Ante esta situación, se busca una solución para reducir los costos de procesamiento del circuito de zinc y recuperar una mayor cantidad de concentrado de zinc mediante pruebas a nivel laboratorio.

El problema consiste en que, la mina San Miguel provee mineral para el procesamiento metalúrgico a través de campañas (lotes), en los últimos meses se ha experimentado una disminución en las recuperaciones de concentrado principalmente en zinc (Zn), la pregunta de investigación es si existe alguna alternativa que permita reducir los costos de procesamiento y recuperar un mayor porcentaje del concentrado.

Como metalúrgicos, es nuestra responsabilidad utilizar pruebas de flotación para determinar las condiciones operativas más adecuadas en el proceso, obteniendo una buena recuperación y de calidad. Para resolver este problema, se realizaron pruebas experimentales a nivel de laboratorio para tratar de encontrar una solución en cuanto a la recuperación y optimización del recurso económico del circuito de zinc. En este proceso se incluyeron los siguientes: activación de la pirita y otros metales, los parámetros óptimos del proceso, el uso de reactivos, el costo y la rentabilidad de la producción.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrolló dentro del laboratorio metalúrgico – planta de beneficio TLM S.A.

1.2.2. Delimitación temporal

- Se centró únicamente en el año 2023.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera influye las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación en la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye el consumo de reactivos en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023?

- ¿De qué manera influye la obtención del concentrado final en la primera celda serrano SW en las técnicas de reducción de costos para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación en la recuperación de valores de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar la influencia del consumo de reactivos en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación de valores de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023
- Evaluar la obtención de concentrado final de Zn en la primera celda de flotación serrano SW como parte de las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación de valores de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023

1.5. Justificación de la investigación

La investigación se basa en la necesidad de reducir los costos del área de flotación para recuperar concentrado de zinc de buena calidad. Una caída en el rendimiento del concentrado puede afectar significativamente la rentabilidad de la empresa, por lo que es un problema mayor que requiere soluciones efectivas y urgentes.

La falta de estrategias adecuadas en el procesamiento ha limitado la recuperación del concentrado de zinc y ha elevado su costo de procesamiento. Esta

investigación busca desarrollar técnicas para la reducción de costos y aumentar la recuperación de concentrado de Zn, mediante la identificación de las prácticas más eficientes y rentables.

1.6. Limitaciones de la investigación

- Factor climatológico
- Disponibilidad de recursos
- Este proyecto se enfoca únicamente en el circuito de Zinc.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

El sector minero es clave en la obtención de ingresos económicos al Perú y la extracción de zinc es relevante en la industria minera y los altos costos de producción son un problema común para las empresas mineras. La optimización del proceso de flotación puede ser una herramienta eficaz para reducir los costos operativos.

Chamorro (2005) en la tesis, “Optimización del proceso de flotación de concentrado de zinc en la Compañía Minera Yauliyacu S.A.” Universidad Nacional Mayor de San Marcos; realizo diseños experimentales por factorial simple con el objetivo de evaluar los parámetros que intervienen en el proceso de flotación en el circuito de Zinc, con la finalidad de dar una solución al alto grado de hierro (Fe) en el concentrado de Zinc y minimizar el contenido de Zinc en el relave, concluyendo que; las condiciones críticas para una flotación efectiva del zinc son la cantidad adecuada de CuSO_4 y el control del pH de la pulpa. Estos factores son óptimos

para lograr la activación total del zinc presente en la muestra y permitir la liberación de espuma para facilitar la evacuación.

Vera (2019) en la tesis; “Evaluación Del Efecto De Nuevos Reactivos Colectores Y Depresores Para Mejorar La Recuperación Del Proceso De Flotación En Los Circuitos De Plomo Y Zinc De La Planta Concentradora Antonio Raymondi”, Universidad Nacional San Agustín, teniendo como objetivo la evaluación de nuevos reactivos dentro de los circuitos de plomo y zinc, con la finalidad de una mejor recuperación mediante la correcta aplicación de los reactivos y si se es factible el reemplazo del colector xantato Z-11, concluyendo que la aplicación de reactivos colectores y depresores tiene un impacto positivo en la eficiencia del proceso de flotación y recomienda que la evaluación de reactivos con la dosificación pueda mejorar la recuperación del concentrado.

Elgueta (2022) en el estudio, “Diagnóstico del proceso de flotación: herramienta efectiva para reducir los costos operativos en la planta concentradora”, nos indica que el objetivo es resaltar la importancia de la etapa de flotación así como hacer diagnósticos continuos para la identificación de cuellos de botella, ya que entre el 15% y el 20% del costo total representa el proceso de flotación y entre el 60% al 70% representa entre el chancado y molienda, concluyendo que la optimización del proceso de flotación para la recuperación y la ley de concentrado es crucial ya que esto tiene un impacto significativo en la economía de la empresa.

Rodríguez (2015) con la tesis, “Evaluación de la flotación de zinc en la Planta Concentradora Austria Duvaz S.A.”, Universidad Nacional de San Agustín, evaluó la flotabilidad del zinc con el objetivo de determinar rangos óptimos para las variables muy influyentes para la recuperación, además evaluar los factores que afectan a la flotación y optimizando la dosificación de reactivos, concluyendo con

un buen manejo de reactivos en base a los rango se pueda mejorar la recuperación del concentrado y que la activación de Zinc en el circuito Bulk se utilice una alta concentración de sulfato de zinc $ZnSO_4$ para ser controlada.

Quilca (2021) con la tesis, “Optimización del circuito de flotación de zinc para mejorar la recuperación y selectividad del concentrado de zinc en Minera Bateas SAC”, Universidad Nacional del Centro del Perú, tiene como objetivo determinar los reactivos, cambios y caracterización dentro del circuito de flotación del zinc para mejorar la recuperación y calidad del concentrado y ello concluye que al evaluar distintos reactivos para el circuito, se encontró que el reactivo A-242 ofrece mejores resultados que el A-3418 y se debe retirar este último del circuito, el estudio se centró en la mejora de los parámetros operacionales y la selección de reactivos, lo que resultó en un incremento de la recuperación del concentrado de zinc y una disminución de los costos operativos.

Chávez (1991) en su trabajo de investigación titulado; “Estudio del zinc y su comercialización”, Universidad Nacional de Ingeniería, el estudio analizó las diferentes técnicas de comercialización del zinc y su impacto en los costos de producción, concluyendo que la selección adecuada de la técnica de comercialización puede ser fundamental en la reducción de costos operativos.

Las revisiones de los estudios muestran que la optimización del proceso de flotación depende en gran medida de las técnicas utilizadas para recuperar el zinc y reducir los costos operativos.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Flotación de mineral

El proceso se realiza mediante diversas etapas y es empleado en la industria minera a fin de recuperar metales polimetálicos.

El proceso de flotación es una etapa de la concentración de minerales que ocurre en tres fases (líquido, sólido y gas), se separa el mineral valioso de aquel material no valioso aprovechando sus características físico – químicas mediante la adición de reactivos; esto propicia la generación de espumas y su posterior colección mediante canaletas o launders, para lo cual se utilizan equipos mecánicos, y/o neumáticos, denominadas celdas de flotación. (Metso:outotec., 2021)

Durante la flotación, las burbujas de aire se adhieren a los minerales valiosos y los llevan a la superficie de la pulpa, generando una espuma que se recolecta en la parte superior del tanque de flotación. Las impurezas, por otro lado, se hunden y se eliminan en el fondo del tanque. Una vez que se ha separado la espuma con los minerales valiosos, se procede a su posterior tratamiento y recuperación.

La flotación es un proceso clave en la industria minera, ya que permite la obtención de los metales preciosos contenidos en los minerales que son esenciales para la fabricación de productos manufacturados. Para asegurar la eficacia del proceso, se requiere un conjunto de medidas y controles adecuados para mantener el proceso en óptimas condiciones.

La flotación de minerales puede ser:

- Flotación directa: Implica que el mineral de interés se separa y recoge en la espuma, mientras que los componentes no deseados se descartan en el relave.
- Flotación Inversa: El mineral de interés se considera no flotable y es la ganga la que flota mediante la adición de reactivos selectivos.

La eficiencia de la flotación del zinc es crucial para la rentabilidad de la operación minera. Si la etapa de flotación no es efectiva, se puede perder una

cantidad significativa de mineral valioso, lo que aumentaría los costos de producción. Además, una inadecuada recuperación de zinc afectaría la calidad del producto final y, por lo tanto, su valor en el mercado.

2.2.2. Variables operacionales en flotación

Las variables operacionales son los parámetros que se controlan y se ajustan durante la flotación selectiva para optimizar la recuperación y la calidad del concentrado. Estas variables incluyen factores como el pH del agua, la dosis y el tipo de reactivos químicos, la granulometría y la densidad de la pulpa, la agitación del tanque de flotación, el tiempo de residencia y la temperatura del agua, entre otros. Controlar estas variables permite ajustar el proceso de flotación para mejorar la selectividad de la separación de los minerales y reducir las pérdidas de valor en el concentrado final. La optimización de las variables operacionales es fundamental para maximizar la eficiencia y rentabilidad de la operación minera.

- a. Granulometría:** Distribución de las partículas en la muestra de mineral en tamaños diferentes. Es importante considerar la granulometría en la flotación de minerales para lograr una buena concentración.
- b. Tipo de Reactivos:** El reactivo en la flotación fundamental (colectores, espumantes y modificadores), con la finalidad de hidrofobizar la superficie del mineral deseado. Existen diversos tipos de reactivos disponibles en el mercado, cada uno con características específicas a utilizar depende de una evaluación detallada de las propiedades superficiales del mineral.
- c. Dosificación de reactivos:** El manejo adecuado de los reactivos en cantidades, es esencial para lograr una operación eficiente y selectiva, debe ser monitoreada y ajustada regularmente de acuerdo al manejo de las cantidades según el proceso y pruebas de laboratorio.

- d. Densidad de pulpa:** Cantidad de porcentaje de sólidos que se encuentra en la pulpa de mineral.
- e. Tiempo de residencia:** Tiempo que el mineral permanece en las celdas de flotación y esto depende de la cinética de flotación.
- f. pH:** Punto ácido o alcalino de la pulpa de mineral, esto es una variable crítica en la flotación, ya que afecta la acción de los reactivos utilizados.
- g. Aireación y acondicionamiento de la pulpa:** Refiere a la introducción de aire en la pulpa de mineral para crear burbujas que recojan los minerales valiosos. El acondicionamiento de la pulpa implica la mezcla de la pulpa con los reactivos, tiempo y puede incluir la adición de agua.
- h. Calidad del agua:** Agua utilizada en la flotación, que puede afectar la eficiencia ya que pueden ser tomada como agua recirculante el cual contiene otros reactivos residuales y sólidos en suspensión.

2.2.3. Circuito de flotación de zinc

La flotación de minerales consta de tres etapas: rougher, scavenger y cleaner:

- a. Rougher:** En esta etapa se separa los minerales valiosos de las impurezas mediante la adición de reactivos químicos y la introducción de aire a la pulpa mineral. La espuma resultante se somete a una serie de etapas de limpieza.
- b. Scavenger:** Recupera los minerales valiosos que no se separaron en la etapa rougher mediante la adición de más reactivos y aire para formar una nueva espuma.
- c. Cleaner:** Se mejora la calidad del concentrado de minerales mediante la eliminación de impurezas y el aumento de la concentración de los minerales valiosos.

2.2.4. Flotación de mineral Polimetálico (sulfuros)

En el libro, "Introducción a la Flotación de Minerales", refiere que la flotación de sulfuros es uno de los procedimientos más significativos en la concentración de minerales debido a que la mayoría de las menas sulfuradas son procesadas por flotación. Los sulfuros generalmente presentan propiedades hidrofóbicas, esto facilita la adsorción de los colectores en la superficie y su posterior flotación. Sin embargo, la flotación de sulfuros también presenta desafíos debido a la complejidad de la composición mineralógica y la variabilidad de las condiciones de los procesos de flotación. (Astucuri, 1994, p. 23)

Azañero (2015) nos dice lo siguiente:

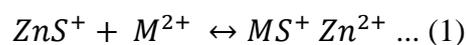
Los minerales sulfurados constituyen un sector importante en el desarrollo de los procesos de flotación selectiva y son los minerales que se procesan en mayor volumen. Estos son recursos de metales no ferrosos tales como: plomo, cobre, zinc, plata, oro, antimonio, molibdeno, etc. En la naturaleza están juntos en crecimientos mineralógicos complejos, requiriendo molienda fina y flotación diferencial en varias etapas, en colaboración con reactivos, activadores y depresores que mediante su uso promueven la separación selectiva. (Azañero, 2015, p. 216)

La existencia de sulfuros en cantidades económicamente recuperables en las reservas, se utiliza el procesamiento metalúrgico que permite obtener tres concentrados. Este proceso es económicamente viable y consta de lo siguiente:

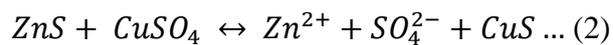
- En la primera etapa, se realiza la flotación bulk Ag-Pb, el objetivo es deprimir la presencia de marmatita, esfalerita, pirita y otras impurezas.
- En la segunda etapa, se activan y flotan los sulfuros de zinc (esfalerita y marmatita), mientras se vuelve a deprimir la pirita con otras impurezas (relave).

2.2.5. Activación y flotación de sulfuro de zinc

Antes de poder flotar la marmatita, es necesario realizar una activación previa, ya que este mineral no puede absorber xantatos de cadena corta sin ella. La activación se lleva a cabo mediante la formación de una capa de ion activante sobre la superficie de la marmatita. Dicha capa de ion activante permitirá la interacción con el xantato al formar una superficie adecuada para la adsorción. El proceso de activación se define mediante la siguiente reacción.



“Para la flotación de la esfalerita y marmatita de las colas de la flotación Cu — Pb, se usa generalmente el sulfato de cobre como activante, el cual forma una superficie de covelita sobre la esfalerita”. (Azañero, 2015, p. 228)



Al mismo tiempo, es crucial evitar la flotación de la pirita (deprimir), y esto se logra al aumentar el pH a un rango de 10 a 12. En este rango, la pirita no flota debido a que se crea un ambiente alcalino, además tener en cuenta que las condiciones pueden variar de acuerdo a las condiciones dadas.

2.2.6. Reactivos de flotación

Los reactivos de flotación son sustancias químicas utilizadas en la técnica de concentración de minerales, es fundamental comprender que los efectos de los reactivos no solo dependen del tipo utilizado, sino también de la dosis, combinación, forma y orden de adición. De hecho, la influencia de los reactivos en el proceso de flotación es mucho más significativa que variables como: la molienda, aireación y densidad de la pulpa.

Azañero (2015) refiere que:

Los reactivos está basada en equilibrios iónicos, y este equilibrio es difícil de controlar, ya que aparte de los reactivos que introducimos en la pulpa, hay una considerable cantidad de ion es en ella, procedentes de las impurezas que aporta el mineral. (Azañero Ortiz, 2015, p. 70)

2.2.6.1. Colector

Son los reactivos más comunes y utilizados en la flotación por espuma. Estos compuestos químicos son sustancias que se adhieren a la superficie del mineral haciéndolo hidrofóbico, es decir, repelen el agua y atraen el aire. Esto hace que los fragmentos de mineral se adhieran a las burbujas de aire creadas por la flotación y se eleven hacia la parte superior del fluido concentrado, formando una capa espumosa de concentrado.

Tabla 1: Colectores

Colector	Descripción	Usos
Xantato Z-11	Xantato isopropilico de sodio	Flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc
Xantato Z-6	Xantato amflico de potasio	Flotación de minerales de sulfuro con alta ley y alta recuperacion plomo y zinc
Aerofloat 25	Ditiofosfatos	Flotacion de plata, plomo, cobre y sulfuros de zinc activados.
Aerofloat 242	Ditiofosfatos	Flotación de plomo, cobre, zinc y mejora la recuperacion en la plata
Aeropromoter 404	Promotores AERO	Flotación de cobre, plomo y zinc
Aerophine 3418	Ditiofosfinatos dialquilos	Flotación de cobre y minerales activados de Zinc

“La reacción entre los colectores y la superficie de los minerales está sujeta a los mecanismos que posibiliten dicho fenómeno, por lo tanto, requieren de cierto tiempo para que ello ocurra” (Astucuri, 1994, p. 131).

2.2.6.2. Espumante

Es un tipo de reactivo que reduce la presión superficial y crea una espuma poco estable en la interfaz aire / agua. Esto se logra mediante la reducción de la cohesión entre las burbujas de aire y la superficie líquida, lo que permite la formación y estabilidad de la espuma, “en forma general

puede decirse que los colectores tienen afinidad por la interfase sólido-líquido, los espumantes la tienen por la interfase líquido-gas” (Astucuri, 1994, p. 142).

Las espumas que se forman deben cumplir las siguientes características:

- El agente de flotación debe presentar características superficiales apropiadas, de manera que el mineral deseado se adhiera a las burbujas y evitar que la ganga se adhiera.
- Las burbujas deben ser lo suficientemente estables para resistir la carga del mineral y lo suficientemente dinámico para transportarlo hasta el borde de la celda.
- El agente de flotación debe ser versátil para permitir la formación continua y ruptura de burbujas, permitiendo que el agua y minerales no deseados drenen en la pulpa.
- Las burbujas no deben poseer una estabilidad tan elevada que impida su rotura durante el proceso de lavado y canaletas, pero debe ser capaz de regenerarse al ser expuesto al aire en las siguientes etapas de flotación.

Tabla 2: Espumantes

Espumante	Descripción	Usos
Ácido de pino	Se obtiene a partir de la destilación de la resina de los pinos. Es un espumante natural y se utiliza en la flotación de minerales sulfurosos de cobre, plomo y zinc.	Flotación de minerales sulfurosos de cobre, plomo y zinc.
Dowfroth 250	Es un espumante sintético a base de alcoholes etoxilados y se utiliza en la flotación de minerales de cobre, plomo y zinc. Ayuda a prevenir la coalescencia de las burbujas y a mantenerlas estables.	Flotación de minerales de cobre, plomo y zinc.
Frother	Es un espumante sintético a base de alcoholes y se utiliza en la flotación de minerales de sulfuros metálicos y no metálicos. Ayuda a crear burbujas estables y a reducir la coalescencia.	Flotación de minerales de sulfuros metálicos y no metálicos.
MIBC	Es un espumante sintético a base de alcoholes y se utiliza en la flotación de minerales como cobre, plomo, zinc y níquel. También se utiliza en la flotación de minerales de oro y plata.	Flotación de minerales como cobre, plomo, zinc y níquel, y minerales de oro y plata.

2.2.6.3. Modificadores

Se utilizan para modificar o regular las condiciones de la capa superficial del mineral y mejorar la acción de los colectores y espumantes (absorción o desorción) y crear una buena condición en la pulpa para que la flotación sea selectiva y mejorada. Entre los modificadores están presentes los modificadores de pH, depresores y activadores

El uso adecuado y la dosificación de estos reactivos son esenciales para obtener una separación eficiente y selectiva de los minerales valiosos en la flotación.

a. Modificadores de pH

Los modificadores de pH son productos químicos que se emplean en los procesos de flotación para ajustar el pH de la suspensión mineral y mejorar la selectividad del proceso. En la activación de zinc en particular, se utilizan para controlar el pH y optimizar la adsorción desde el colector hasta la superficie del mineral de zinc.

El pH de la pulpa, puede afectar significativamente la eficacia del proceso de flotación. Si el pH es demasiado bajo, la actividad del colector puede disminuir y la recuperación de zinc puede verse comprometida. Si el pH es demasiado alto, la actividad del colector puede ser inhibida y la selectividad del proceso puede verse afectada.

En cuanto a la activación del zinc, se utilizan generalmente modificadores de pH ácidos, como ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, para controlar el pH de la pulpa mineral en el rango adecuado para la flotación del zinc. Además, se pueden utilizar modificadores de pH alcalinos, como hidróxido de sodio (NaOH) para ajustar el pH de la

pulpa mineral en el caso de que sea necesario deprimir otros minerales presentes en la mena.

Se utiliza cal o hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) para ajustar el pH de la pasta mineral. La adición de cal ayuda a controlar y estabilizar el pH en el rango óptimo para la flotación de zinc. Además, la cal puede tener un impacto positivo en la reducción de otros minerales no deseados en la etapa de flotación.

b. Depresores

Los depresores en la flotación son reactivos químicos clave utilizados en el proceso de separación de minerales. Su función principal es de “estos reactivos se usan para incrementar la selectividad de la flotación volviendo hidrofílicos a ciertos minerales evitando así su flotación” (Astucuri, 1994, p. 152).

Entre los depresores más comúnmente utilizados para la activación del zinc, se encuentra el cianuro de sodio (NaCN), que se emplea para deprimir los minerales de sulfuro de hierro, como la pirita, arsenopirita y calcopirita

c. Activadores

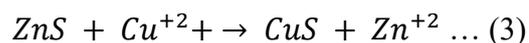
Los activadores en el proceso de flotación desempeñan un papel esencial al mejorar la flotabilidad, “hacen la acción del colector más selectiva, asegurando la separación de los minerales. Generalmente son sales solubles que se ionizan en solución y los iones reaccionan entonces con la superficie mineral” (Astucuri, 1994, p. 150).

En términos generales, los activadores se añaden de forma secuencial; generalmente antes del colector para determinar las condiciones de la

superficie del mineral más adecuadas para una acción eficiente del colector.

La activación es clave en el proceso de flotación de minerales y un ejemplo es la activación de esfalerita / marmatita con cobre en solución. Los intentos de hacer flotar con colectores como el xantato no lograrán una flotación satisfactoria porque los productos resultantes (xantato) son fácilmente solubles en agua y no forman una capa impermeable en la superficie del mineral.

Sin embargo, el uso de sulfato de cobre como activador es una opción más eficaz para aumentar la flotabilidad de grandes cantidades de xantato de cadena larga. El sulfato de cobre se disuelve rápidamente en solución y se disocia en iones de cobre. Debido a que el cobre es más electronegativo que el zinc, se ioniza más lentamente y se une a la superficie del mineral para formar moléculas de sulfuro de cobre (CuS) según la siguiente reacción:



Este sulfuro de cobre reacciona rápidamente con el xantato para formar xantato de cobre insoluble que recubre la superficie de la esfalerita / marmatita, haciéndola hidrofóbica y mejorando así su flotabilidad en la celda de flotación.

2.2.7. Optimización de procesos metalúrgicos

En minería, mejorar la eficiencia de extracción y procesamiento de minerales es fundamental. Para ello, se busca optimizar los procesos metalúrgicos, lo que permite aumentar la recuperación de metales y reducir los costos operativos.

Para lograr la optimización de los procesos metalúrgicos, se requiere del conocimiento detallado de las características de los minerales, del funcionamiento de las máquinas y herramientas, así como de la aplicación de tecnologías avanzadas de control y monitoreo en línea.

La optimización de los procesos metalúrgicos implica una mejora continua en el diseño, operación y control de los equipos y procesos, aumentar la eficiencia de la extracción y el procesamiento de minerales, y reducir los costos asociados a la producción.

2.2.8. Costos y evaluación económica

La evaluación económica en metalurgia es crucial para determinar la viabilidad y rentabilidad de un proceso de producción. Se deben tener en cuenta tanto los costos directos como los indirectos, como: mano de obra, energía, materiales, equipos y mantenimiento. Además, es necesario considerar factores como la calidad del producto final, los precios de venta y las regulaciones ambientales. La optimización de los procesos metalúrgicos a través de la evaluación económica permite mejorar la eficiencia y reducir los costos, maximizando así los beneficios.

2.3. Definición de términos básicos

- **Optimización:** Disciplina que adapta continuamente mejora continua de los procedimientos para aumentar la eficacia de los circuitos.
- **Evaluación:** Proceso de análisis y valoración crítica de una situación, objeto o proceso con el propósito de recabar información relevante para la toma de decisiones.
- **Rentabilidad:** Hace referencia a la habilidad de invertir para generar ganancias con relación basada en los costos y recursos empleados.

- **Mineral:** Sustancia sólida proveniente de la naturaleza que posee características físicas y químicas.
- **Ley de cabeza:** Cantidad de metal que se encuentra en su estado natural antes de que se realice cualquier operación de concentración, además es un factor determinante en la rentabilidad del proceso, a mayor sea la ley mayor será la cantidad de metal que se puede producir.
- **Flotación:** Etapa de enriquecimiento en el cual las partículas de un mineral se adhieren a las burbujas generadas por un compuesto espumante presente en la mezcla, logrando su flotación y posterior separación del resto de los minerales.
- **Técnicas:** Estrategias y metodologías específicas utilizadas en la industria minera para disminuir u optimizar procesos y generar rentabilidad, mejorando la eficiencia de la separación de minerales.
- **Recuperación:** Proporción del mineral valioso recuperado del material extraído. Es clave para evaluar la efectividad del proceso de separación y recuperación sólido / líquido en la industria de procesamiento de minerales.
- **Concentrado:** Producto con alto contenido de minerales valiosos, que se separan del material de desecho (relave) durante el procesamiento metalúrgico para obtener un producto final de alta pureza.
- **Relave:** Residuo que se genera después de procesar el mineral extraído, formada por una mezcla de agua y partículas finas de roca y minerales no valiosos.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación influyen significativamente en la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023.

2.4.2. Hipótesis específica

- HE₁: El consumo de reactivos influye en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023.
- HE₂: La obtención del concentrado final a través de la flotación de la primera celda serrano SW influye en las técnicas de reducción de costo en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. – Ancash -2023

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

- Técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación

2.5.2. Variable dependiente

- Recuperación del concentrado de Zn.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 3: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente: Técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación	Métodos utilizados para disminuir los costos en el proceso de flotación.	Evaluación de técnicas para reducción de costos	Eficiencia económica y rentabilidad	Análisis del costo del proceso \$/Tn
			Recursos	\$ g/Tn
			Innovación tecnológica	Evaluación de nuevas tecnologías
Dependiente: Recuperación del concentrado de zinc.	Refiere al porcentaje de metal valioso (Zn) que se logra extraer y concentrar a partir del mineral, mediante el proceso de beneficio metalúrgico	Determinación del porcentaje de recuperación de Zn a partir del mineral en el proceso metalúrgico.	Parámetros óptimos	Pruebas en Laboratorio
			Dosificación de reactivos	g/Tn
			Calidad del concentrado	%

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Vara (2010) sostiene que, la investigación aplicada se enfoca en la utilidad práctica de sus resultados, ya que se utilizan de manera inmediata para resolver problemas. Este tipo de investigación primero identifica la situación problemática y luego analiza diversas soluciones, eligiendo la más adecuada para el contexto específico. (p.202)

3.2. Nivel de investigación

El estudio se enmarca en investigación aplicada – experimental nivel cuantitativo, se manipuló por parte del investigador con aplicación de conocimiento teórico – práctico para resolver un determinado problema o planteamiento específico, en este caso teniendo los objetivos y problemática planteada.

3.3. Métodos de investigación

Por tener una naturaleza práctica, el presente trabajo de investigación ha utilizado el método de EXPERIMENTACIÓN, ANÁLISIS Y SÍNTESIS.

- **Experimentación:** Se refiere al método utilizado en la investigación para llevar a cabo pruebas empíricas con el fin de obtener datos y validar hipótesis. En el caso del trabajo de investigación mencionado, se utilizó el método experimental para obtener resultados cuantitativos y realizar análisis estadísticos.
- **Análisis:** Se refiere a la técnica utilizada para examinar, descomponer y estudiar la información adquirida durante la experimentación. El análisis se utiliza para interpretar los resultados y llegar a conclusiones.
- **Síntesis:** Se refiere a la técnica utilizada para combinar, integrar y organizar la información obtenida durante el análisis con el fin de construir una explicación coherente y comprensible de los resultados obtenidos durante la experimentación. La síntesis es útil para extraer conclusiones significativas de los datos y presentarlas de manera clara y concisa.

3.4. Diseño de investigación

La estrategia aplicada en esta investigación es Experimental (Causa – Efecto), el cual persigue determinar la correlación entre la variable independiente aplicada durante el desarrollo y el resultado obtenido, tomando en cuenta la variable dependiente que se refiere al problema principal planteado. Esta técnica será implementada en el contexto experimental de la investigación.

“En esencia, un experimento consiste en someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que cada variable produce en el objeto”.

(Rivera, 2010, p. 66)

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población es todo el mineral polimetálico que ingresa de mina /proveedor. Este mineral se compone principalmente de sulfuros de zinc, plomo y se procesa por lotes en la planta de beneficio, la cual tiene una capacidad de procesamiento de 350 TMD.

Cada lote de mineral que ingresa a la planta de beneficio es caracterizado mediante análisis mineralógicos para determinar su ley de cabeza con un promedio de Ag Oz/TM 2.48, % Pb 2.32 y % Zn 7.54. Estas leyes de cabeza son esenciales para diseñar un procedimiento de separación y concentración de los metales y para determinar la calidad del concentrado obtenido.

3.5.2. Muestra

La muestra de mineral obtenida siguió el método de aleatorio simple y fue la obtención de 1kg de cada lote con denominación mineral “San Miguel” con un total de 55 Kg, que permitieron desarrollar las pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio por flotación diferencial para obtener un concentrado de plomo con contenidos de plata y concentrado de zinc.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Los métodos que se integraron en el estudio antes, durante y después de la recolección de datos son los siguientes:

- Muestreo y preparación mecánica del mineral
- Prueba de moliendabilidad
- Pruebas de flotación nivel laboratorio
- Análisis de costos y evaluación de las pruebas experimentales.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la investigación se ha utilizado: tablas, registros, gráficos, imágenes, figuras, y dentro del laboratorio metalúrgico como set de mallas, chancadora de quijada, molino de bolas, celda de flotación, bandejas, vasos precipitados, horno, balanza, espátula, jeringas.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de instrumentos de investigación

Por lo general se relaciona con el proceso de seleccionar cuidadosamente el equipo, los reactivos y los métodos utilizados en las pruebas metalúrgicas para garantizar que sean apropiados y precisos. La validación se lleva a cabo de acuerdo con los estándares establecidos en el laboratorio de la empresa y garantiza que los instrumentos puedan medir consistentemente lo que deben medir. La confianza se logra mediante el monitoreo continuo de la calidad de los equipos y reactivos, así como el monitoreo regular por parte del personal del laboratorio para mantener la precisión y consistencia de los resultados de las pruebas de muestras de zinc. Estos procesos son esenciales para garantizar la integridad de los datos y la solidez de la investigación de recuperación de zinc.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de procesamiento de datos

Se ha desarrollado en los softwares de cálculos MINITAB y EXCEL, utilizado como hojas estadísticas para el desarrollo en la elaboración de gráficos, tablas y análisis de resultados.

3.8.2. Técnicas de análisis de datos

Los programas estadísticos permitieron la interpretación estadística y análisis más exploratorios para resumir y presentar datos de los estudios dados en las pruebas metalúrgicas nivel laboratorio.

3.9. Tratamiento estadístico

Como parte de las pruebas de laboratorio, los datos fueron procesados estadísticamente mediante los programas EXCEL y MINITAB. Se realizó las pruebas de flotación, durante 15 días utilizando reactivos como: activador (CuSO_4), colectores (xantato Z-6, xantato Z-11), modificador de pH (CaO), espumante (Metil Isobutil Carbinol – MIBC) y cianuro de sodio (NaCN). Mencionar que las pruebas fueron realizadas en dos grupos con las combinaciones de:

- Colector (xantato Z-6), activador (CuSO_4), modificador de pH (CaO), y espumante (Metil Isobutil Carbinol – MIBC)
- Colectores (xantato Z-11), activador (CuSO_4), modificador de pH (CaO), y espumante (Metil Isobutil Carbinol – MIBC).

Se plasmaron y graficaron datos experimentales para analizar el comportamiento del mineral y evaluar la eficiencia del proceso.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Básicamente se centra en la incorporación de principios éticos en las etapas de investigación y desarrollo tecnológico. Esto significa considerar las repercusiones en la toma de decisiones, desde la elección de métodos hasta la implementación de soluciones metalúrgicas. El objetivo es asegurar el avance de la ciencia y la tecnología sean éticamente responsables y respetuosos con la sociedad y el medio ambiente, promoviendo la integridad y la ética en la metalurgia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La recuperación de Zinc es un proceso crucial en la industria minera. Con el objetivo de lograr una eficiente reducción de costos en el circuito de Zinc para la recuperación de concentrado, se llevaron a cabo diversas acciones de investigación nivel laboratorio, teniendo como base los siguientes datos del estándar que se maneja:

Tabla 4: Tiempos en las etapas de flotación

	React.	% Con.
Molienda (12')	NaCN	1%
56% - 200m	ZnSO ₄	5%
Ac - Zn (4')	Cal	100%
Ro - Zn (4')	CuSO ₄	5%
Scv.- Zn (8')	Z-11	1%
Limp. Zn (4')	MIBC	100%

Tabla 5: Dosificación y costo económico prueba estándar

Z6 (g/tn)	Sulfato de Cobre (g/tn)	MIBC (g/tn)	Cal (g/tn)	Consumo de Cianuro	Recuperación de Zinc (%)	pH del Medio
35	450	27.5	2100	600	55.31	12

Xantato Z-6 \$ (Kg)	Sulfato de Cobre \$ (Kg)	MIBC \$ (Kg)	Cal \$ (Kg)	Cianuro de sodio \$ (Kg)	Cont. Metalico (Kg)	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN GASTO DE PRUEBA (\$)
\$ 0.1852	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.2855	\$ 2.3700	\$ 40.1983	\$ 110.1433	\$ 105.8977

Tabla 6: Balance metalúrgico prueba estándar

Prueba	Estandar	L E Y	CONT. META.	RECUP.(%)	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	7.28	72.80	100.00	
CONC. PB	35.718	8.06	2.88	3.95	28.00
CONC. ZN	76.484	52.65	40.27	55.31	13.07
RELAVE	887.798	3.34	29.65	40.73	

LEY ZnT %	Concentrado (gr)	CON. METALICO (gr)	% REC.
52.65	76.350	40.20	55.31

4.1.1. Análisis y composición mineralógica

Se analizó la composición física, mineralógica y química del mineral, la veta principal tiene presencia de plata, la cantidad de plomo se debe a la presencia de galena, mientras que el alto contenido de zinc se debe exclusivamente a la marmatita además hay bajo contenido de esfalerita. La ganga está compuesta principalmente de pirita, cuarzo y carbón gráfico, con la presencia de otros minerales en menor proporción.

Tabla 7: Composición química del mineral

Minerales	Formula
Tenantita	(Cu, Ag, Fe, Zn) ₁₂ As ₄ S ₁₃
Freieslebenita	(Ag ₅ Pb ₃ Sb ₅ S ₁₂)
Galena	(PbS)
Esfalerita	ZnS
Pirita	(FeS ₂)
Marmatita	(Zn, Fe,) S
Cuarzo	(SiO ₂)
Arsenopirita	FeAsS
Carbonatos	CaCO ₃
Calcopirita	CuFeS ₂
Pirrotina	Fex-1S

4.1.2. Característica de la muestra

Se evaluó la variabilidad de la ley de cabeza del mineral, en tanto al muestreo de mineral, como promedio se obtiene:

Tabla 8: Análisis químico promedio

REPORTE DE ENSAYOS DE LA MUESTRA - CABEZA					
DESCRIPCIÓN	Ag Oz/TM	%Pb	%Zn	%Fe	%Zn Ox
Cabeza	2.2	1.82	7.22	19	-

Fuente: Laboratorio químico

El mineral se caracteriza por ser polimetálico y se visualiza sulfuros de plomo y zinc (esfalerita/marmatita). Además, indica que la muestra de mineral cabeza contiene 2.2 onzas por tonelada de plata, 1.82% de plomo, 7.22% de zinc y porcentaje alto de hierro con 19%.

4.1.3. Prueba de moliendabilidad

Las muestras fueron preparadas a 100% malla -10 ASTM, para ello pasó por la etapa de chancado, también se homogenizo y se pesó 1000 gramos para cada prueba, se tomó 3 muestras representativa del mineral cada uno con 1 kg, donde se molió en 3 tiempos, 2', 6' y 10' minutos. Después de cada período de molienda, se tamizó la muestra a través de la malla -200.

Tabla 9: Análisis Granulométrico, tiempo 2 minutos

Malla	Abertura (μ)	Peso Retenido (g)	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado
200	74	785.20	78.52	78.52	21.48
-200	-74	214.80	21.48	100.00	0.00

Tabla 10: Análisis Granulométrico, tiempo 6 minutos

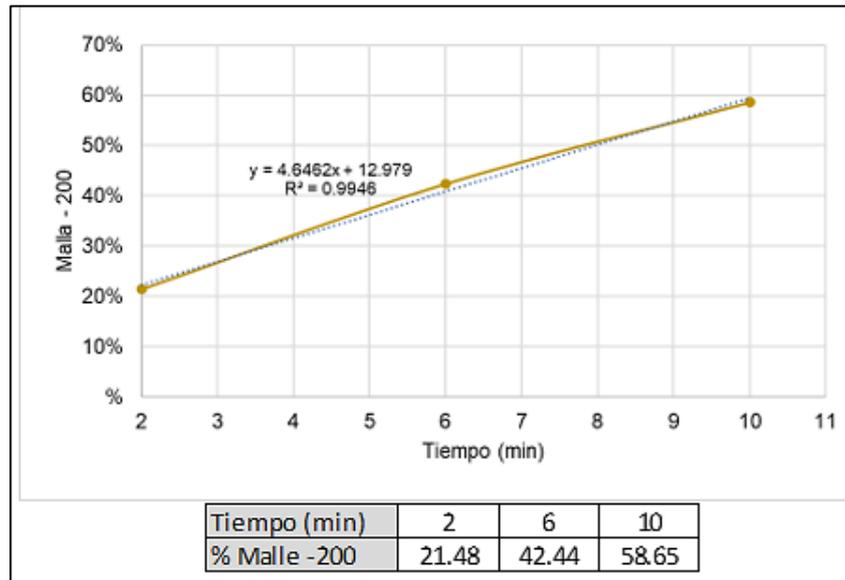
Malla	Abertura (μ)	Peso Retenido (g)	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado
200	74	575.60	57.56	57.56	42.44
-200	-74	424.40	42.44	100.00	0.00

Tabla 11: Análisis Granulométrico, tiempo 10 minutos

Malla	Abertura (μ)	Peso Retenido (g)	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado
200	74	413.50	41.35	41.35	58.65
-200	-74	586.50	58.65	100.00	0.00

El análisis granulométrico presentado en la Tabla N° 9, N° 10 y N° 11, para el caso del material se utilizó la malla Tyler número 200. En esta parte del proceso se trabajó con los tiempos de 2", 6" y 10" minutos.

Figura 1: Tiempo de Molienda



Fuente: Elaboración propia

De la ecuación lineal se obtiene lo siguiente:

$$Y = 4.6462 x + 12.979$$

En donde: $y = 58$

Reemplazando se obtiene que:

$$58 = 4.6462 x + 12.979$$

$$x = \frac{58 - 12.979}{4.6462} = 9.68$$

Mediante la ecuación de la recta en los puntos pasantes a malla -200 para la granulometría del 58% se estima un tiempo de 9 minutos con 40 segundos.

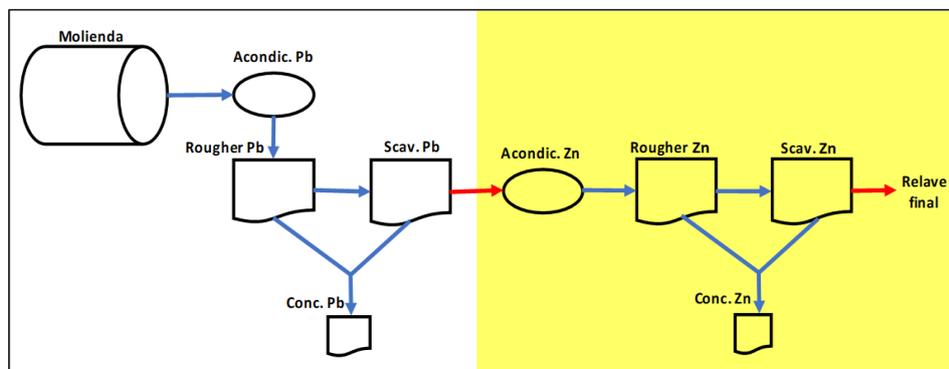
4.1.4. Pruebas de flotación nivel laboratorio

Para evaluar el comportamiento del mineral en flotación, se analizó los parámetros y condiciones para encontrar ajustes que redujeran los costos, aumente la recuperación y la calidad sea comerciable. En las pruebas de flotación se usó una

celda de 2.300 litros, el % de sólidos en la pulpa fue de 35%, reactivos: activador (CuSO₄), colector (xantato Z-6, xantato Z-11), modificador de pH (CaO), y espumante (Metil Isobutil Carbinol - MIBC), se usaron de acuerdo a lo requerido para cada prueba nivel laboratorio.

Estas pruebas fueron desarrolladas mediante el flowsheet de flotación de la Figura 2 a circuito abierto puesto que el mineral como los relaves no retornaban a la misma etapa de flotación manejados como descarga directa.

Figura 2: Diagrama de Flujo Nivel Laboratorio



En la parte resaltada de la Figura 2, se muestra el patrón a seguir durante la prueba experimental en los estudios metalúrgicos a escala de laboratorio realizados con diseños experimentales y análisis de regresión para evaluar las variables y su impacto en la recuperación de zinc durante la flotación. Los diseños experimentales controlaron y analizaron variables clave como la dosificación del colector, activador, espumante y establecer un pH óptimo. El análisis de regresión cuantificó la relación entre las variables y el rendimiento de zinc e identificó las variables más influyentes. Esta combinación de métodos proporcionó una comprensión detallada de las variables críticas y permitió la optimización de las condiciones operativas para maximizar la recuperación y la calidad del concentrado de zinc.

4.1.4.1. Cinética de flotación

La aplicación del modelo García Zúñiga, permite el análisis del proceso cinético de flotación de minerales, el cual es necesario para predecir la velocidad de flotación (tiempo), optimizar la eficiencia de separación de minerales y mejorar la recuperación de recursos valiosos. La cinética de flotación se centra en el estudio de las velocidades de adhesión de las partículas a las burbujas de aire y la captura o recuperación de las partículas en la espuma durante la flotación.

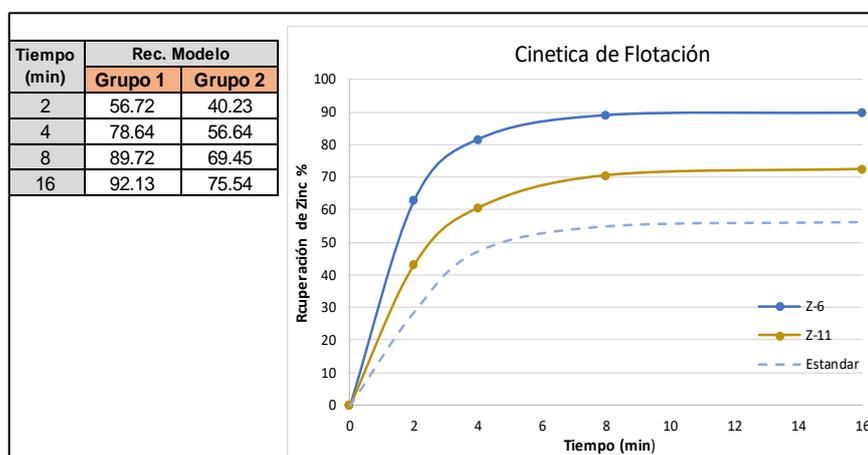
Estas velocidades de adhesión y captura dependen de varios factores, como las propiedades físicas y químicas de las partículas y las burbujas, la concentración de reactivos en la pulpa, la turbulencia del sistema y otros parámetros relevantes.

Modelo cinético en base a García Zúñiga

$$Rt = Rinf.* (1 - \exp^{-K*t})$$

- Rt : Velocidad de recuperación en un momento específico.
- $Rinf$: Velocidad de adhesión inicial de las partículas.
- t : Tiempo transcurrido desde el inicio del proceso de flotación.
- k : Constante de reacción de adhesión y captura de las partículas.

Figura 3: Cinética de Flotación



Como se muestra en la Figura 3 la cinética de flotación, se utilizó reactivos en cantidades iguales para cada grupo: sulfato de cobre, óxido de calcio, metil isobutil carbinol y los colectores (Z-6 y Z-11). Para fines de prueba, el Grupo 1 tiene la mayor recuperación de zinc en un tiempo más corto, mientras que el Grupo 2 se establece casi en paralelo al estándar. El tiempo óptimo para la flotación en 5 minutos se obtiene más del 80 % para el Grupo 1 alcanzando 81.41%, mientras el Grupo 2 alcanza 59.84%, esto para la primera etapa de flotación rougher.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Se empleó el diseño factorial fraccionado 2^{K-1} con réplicas en punto central, el cual es una técnica estadística para el análisis de los efectos en las variables. Para el número de experimentos se llevó a cabo con la siguiente fórmula:

$$N = 2^{K-1}$$

En donde: $K=4$

$$N = 2^{4-1} = 8$$

→4 puntos centrales

∴ $4 + 8 = 12$ pruebas/corridas.

Reemplazando en la ecuación se obtienen 8 experimentos, con 4 factores, 2 niveles y 4 réplicas en punto central con un total de 12 pruebas o experimentos.

A través de estas pruebas se recopilaron los siguientes datos:

4.2.1. Diseños factorial fraccionado 2^{k-1}

En las siguientes tablas se muestran los factores, niveles y escalas codificadas de las pruebas trabajadas con los colectores (xantato Z-6 y xantato Z-11), sulfato de cobre (CuSO_4), metil isobutil carbinol (MIBC) y óxido de Calcio como modificador de pH.

4.2.1.1. Colector Xantato Z-6

Tabla 12: Variables Escala Real, Grupo 1

Factor	Nombre	Nivel bajo	Nivel Medio	Nivel alto
X1	Xantato Z-6 (g/tn)	20	25	30
A	Sulfato de Cobre (g/tn)	350	400	450
B	pH	9	10.5	12
C	MIBC (g/tn)	16.5	22	27.5
Y1	Recuperacion de Zinc %			

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los datos mostrados en la Tabla 12 se construye la matriz del diseño experimental con la codificación de escala codificada (Factor) y real (Nombre), como respuesta Y1 con la recuperación de Zinc (%).

Tabla 13: Matriz de diseño a escala Codificada y escala Real, Grupo 1

Prueba	Escala codificada				Escala real				Y1
	X1	A	B	C	Z-6	CuSO4	pH	MIBC	
1	-1	-1	-1	-1	20	350	9	16.5	73.98
2	1	-1	-1	1	30	350	9	27.5	85.33
3	-1	1	-1	1	20	450	9	27.5	77.04
4	1	1	-1	-1	30	450	9	16.5	88.99
5	-1	-1	1	1	20	350	12	27.5	84.24
6	1	-1	1	-1	30	350	12	16.5	90.60
7	-1	1	1	-1	20	450	12	16.5	87.26
8	1	1	1	1	30	450	12	27.5	94.65
9	0	0	0	0	25	400	10.5	22	88.71
10	0	0	0	0	25	400	10.5	22	87.52
11	0	0	0	0	25	400	10.5	22	87.09
12	0	0	0	0	25	400	10.5	22	88.37

Fuente: Elaborado con el programa MINITAB.

Se tomaron los datos de la Tabla 12 y se realizó la combinación de los factores para cada número de prueba; se visualiza en la Tabla 13, el orden de prueba, la combinación de los factores y el resultado de recuperación de Zinc, en este caso se aplica las combinaciones para el Grupo 1. En la tabla 14 se muestran la dosificación y los tiempos correspondientes para las pruebas.

Tabla 14: Dosificación de reactivos y tiempos de prueba, Grupo 1

	React.	% Con.	Prueba	Z-6 (gr/tn)	Sulfato de Cobre (gr/tn)	MIBC (gr/tn)	Cal (gr/tn)	Consumo de Cianuro (gr/tn)
Molienda (10')	NaCN	1%	1	20	350	16.5	0	300
> = 58% - 200m	ZnSO4	5%	2	30	350	27.5	0	350
Ac - Zn (5')	Cal	100%	3	20	450	27.5	0	400
Ro - Zn (5')	CuSO4	5%	4	30	450	16.5	0	450
Scv.- Zn (8')	Z-6	1%	5	20	350	27.5	2500	300
Limp. Zn (3')	MIBC	100%	6	30	350	16.5	2700	350
			7	20	450	16.5	2400	400
			8	30	450	27.5	2700	450
			9	25	400	22	1500	300
			10	25	400	22	1300	350
			11	25	400	22	1400	400
			12	25	400	22	1100	450

Se muestra los resultados obtenidos de cada prueba en los balances metalúrgicos:

Tabla 15: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 01

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.26	72.60	100.00	
CONC. PB	34.282	5.72	1.96	2.70	29.17
CONC. ZN	115.777	48.90	56.62	77.98	8.64
RELAVE	849.941	1.65	14.02	19.32	
Cab. CALC.		7.26	72.60		

Tabla 16: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 02

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	6.15	61.50	100.00	
CONC. PB	28.069	5.24	1.47	2.39	35.63
CONC. ZN	113.785	46.12	52.48	85.33	8.79
RELAVE	858.147	0.88	7.55	12.28	
Cab. CALC.		6.15	61.50		

Tabla 17: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 03

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.89	78.90	100.00	
CONC. PB	59.706	7.72	4.61	5.84	16.75
CONC. ZN	126.551	48.03	60.78	77.04	7.90
RELAVE	813.743	1.66	13.51	17.12	
Cab. CALC.		7.89	78.90		

Tabla 18: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 04

		LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	7.35	73.50	100.00	
CONC. PB	59.608	4.48	2.67	3.63	16.78
CONC. ZN	143.125	45.70	65.41	88.99	6.99
RELAVE	797.267	0.68	5.42	7.38	
Cab. CALC.		7.35	73.50		

Tabla 19: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 05

		LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	5.62	56.20	100.00	
CONC. PB	34.881	7.27	2.54	4.51	28.67
CONC. ZN	98.852	47.89	47.34	84.24	10.12
RELAVE	866.267	0.73	6.32	11.25	
Cab. CALC.		5.62	56.20		

Tabla 20: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 06

		LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	7.10	71.00	100.00	
CONC. PB	28.637	3.28	0.94	1.32	34.92
CONC. ZN	128.426	50.09	64.33	90.60	7.79
RELAVE	842.937	0.68	5.73	8.07	
Cab. CALC.		7.10	71.00		

Tabla 21: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 07

		LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	5.52	55.20	100.00	
CONC. PB	49.842	9.88	4.92	8.92	20.06
CONC. ZN	106.232	45.34	48.17	87.26	9.41
RELAVE	843.926	0.25	2.11	3.82	
Cab. CALC.		5.52	55.20		

Tabla 22: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 08

		LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	7.27	72.70	100.00	
CONC. PB	45.631	5.30	2.42	3.33	21.91
CONC. ZN	138.178	49.80	68.81	94.65	7.24
RELAVE	816.191	0.18	1.47	2.02	
Cab. CALC.		7.27	72.70		

Tabla 23: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 09

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.90	79.00	100.00	
CONC. PB	43.400	3.38	1.47	1.86	23.04
CONC. ZN	146.332	47.89	70.08	88.71	6.83
RELAVE	810.268	0.92	7.45	9.44	
Cab. CALC.		7.90	79.00		

Tabla 24: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 10

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	8.39	83.90	100.00	
CONC. PB	50.306	8.65	4.35	5.19	19.88
CONC. ZN	144.836	50.70	73.43	87.52	6.90
RELAVE	804.859	0.76	6.12	7.29	
Cab. CALC.		8.39	83.90		

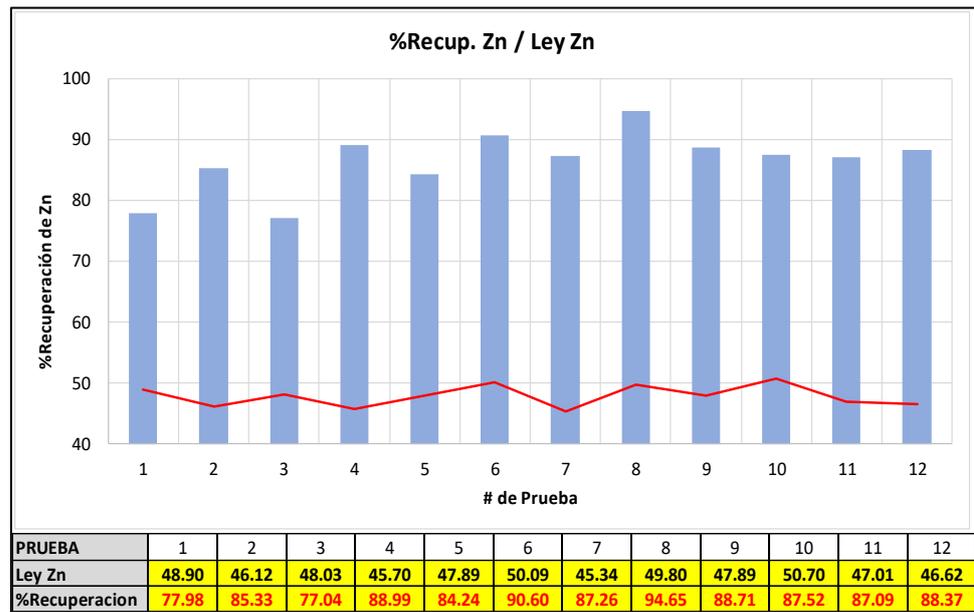
Tabla 25: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 11

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	5.50	55.00	100.00	
CONC. PB	22.869	3.88	0.89	1.61	43.73
CONC. ZN	101.890	47.01	47.90	87.09	9.81
RELAVE	875.241	0.71	6.21	11.30	
Cab. CALC.		5.50	55.00		

Tabla 26: Balance Metalúrgico Grupo 1, Prueba 12

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	6.23	62.30	100.00	
CONC. PB	31.985	7.78	2.49	3.99	31.26
CONC. ZN	118.087	46.62	55.05	88.37	8.47
RELAVE	849.929	0.56	4.76	7.64	
Cab. CALC.		6.23	62.30		

Figura 4: % Recuperación de Zinc frente Ley de Zinc, Grupo 1



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

4.2.1.2. Colector Xantato Z-11

Tabla 27: Variables Escala Real, Grupo 2

Factor	Nombre	Nivel bajo	Nivel Medio	Nivel alto
X2	Xantato Z-11 (gr/tn)	20	25	30
A	Sulfato de Cobre (gr/tn)	350	400	450
B	pH	9	10.5	12
C	MIBC (gr/tn)	16.5	22	27.5
Y2	Recuperacion de Zinc %			

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los datos mostrados en la Tabla 27 se construye la matriz del diseño experimental con la codificación de escala codificada (Factor) y escala real (Nombre), como respuesta Y2 con la recuperación de Zinc (%).

Tabla 28: Matriz de diseño a escala Codificada y escala real, Grupo 2

Prueba	Escala codificada				Escala real				Y2
	X2	A	B	C	Z-11	CuSO4	pH	MIBC	
1	-1	-1	-1	-1	20	350	9	16.5	60.04
2	1	-1	-1	1	30	350	9	27.5	71.25
3	-1	1	-1	1	20	450	9	27.5	66.75
4	1	1	-1	-1	30	450	9	16.5	75.34
5	-1	-1	1	1	20	350	12	27.5	70.37
6	1	-1	1	-1	30	350	12	16.5	75.86
7	-1	1	1	-1	20	450	12	16.5	71.82
8	1	1	1	1	30	450	12	27.5	78.00
9	0	0	0	0	25	400	10.5	22	66.98
10	0	0	0	0	25	400	10.5	22	66.07
11	0	0	0	0	25	400	10.5	22	64.64
12	0	0	0	0	25	400	10.5	22	65.30

Fuente: Elaborado con el programa MINITAB.

Se tomaron los datos de la Tabla 27 y se realizó la combinación de los factores para cada número de prueba; se visualiza en la Tabla 28, el orden de prueba, la combinación de los factores y el resultado de recuperación de Zinc, en este caso se aplica las combinaciones para el Grupo 2. En la Tabla 29 se muestran la dosificación y los tiempos correspondientes para las pruebas.

Tabla 29: Dosificación de reactivos y tiempos de prueba, Grupo 2

	React.	% Con.	Prueba	Z-11 (g/tn)	Sulfato de Cobre (g/tn)	MIBC (g/tn)	Cal (g/tn)	Consumo de Cianuro (g/tn)	pH
Molienda (10')	NaCN	1%	1	20	350	16.5	0	300	9
> = 58% - 200m	ZnSO4	5%	2	30	350	27.5	0	350	9
Ac - Zn (5')	Cal	100%	3	20	450	27.5	0	400	9
Ro - Zn (5')	CuSO4	5%	4	30	450	16.5	0	450	9
Scv.- Zn (8')	Z-11	1%	5	20	350	27.5	2300	300	12
Limp. Zn (3')	MIBC	100%	6	30	350	16.5	2600	350	12
			7	20	450	16.5	2700	400	12
			8	30	450	27.5	2600	450	12
			9	25	400	22	1400	300	10.5
			10	25	400	22	1600	350	10.5
			11	25	400	22	1300	400	10.5
			12	25	400	22	1600	450	10.5

Se muestra los resultados obtenidos de cada prueba en los balances metalúrgicos:

Tabla 30: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 01

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	6.10	61.00	100.00	
CONC. PB	26.075	3.40	0.89	1.45	38.35
CONC. ZN	80.851	45.30	36.63	60.04	12.37
RELAVE	893.074	2.63	23.49	38.50	
Cab. CALC.		6.10	61.00		

Tabla 31: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 02

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	6.64	66.40	100.00	
CONC. PB	26.531	2.44	0.65	0.97	37.69
CONC. ZN	95.269	49.66	47.31	71.25	10.50
RELAVE	878.200	2.10	18.44	27.77	
Cab. CALC.		6.64	66.40		

Tabla 32: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 03

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	8.40	84.00	100.00	
CONC. PB	51.121	3.63	1.86	2.21	19.56
CONC. ZN	115.899	48.38	56.07	66.75	8.63
RELAVE	832.980	3.13	26.07	31.04	
Cab. CALC.		8.40	84.00		

Tabla 33: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 04

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.55	75.50	100.00	
CONC. PB	36.116	1.78	0.64	0.85	27.69
CONC. ZN	119.899	47.44	56.88	75.34	8.34
RELAVE	843.985	2.13	17.98	23.81	
Cab. CALC.		7.55	75.50		

Tabla 34: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 05

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	6.49	64.90	100.00	
CONC. PB	36.245	1.50	0.54	0.84	27.59
CONC. ZN	96.271	50.81	48.92	75.37	10.39
RELAVE	867.485	1.78	15.44	23.79	
Cab. CALC.		6.49	64.90		

Tabla 35: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 06

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.28	72.80	100.00	
CONC. PB	43.516	3.53	1.54	2.11	22.98
CONC. ZN	112.528	49.08	55.23	75.86	8.89
RELAVE	843.956	1.90	16.04	22.03	
Cab. CALC.		7.28	72.80		

Tabla 36: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 07

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	8.07	80.70	100.00	
CONC. PB	38.802	3.41	1.32	1.64	25.77
CONC. ZN	111.221	52.11	57.96	71.82	8.99
RELAVE	849.977	2.52	21.42	26.54	
Cab. CALC.		8.07	80.70		

Tabla 37: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 08

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.95	79.50	100.00	
CONC. PB	46.722	3.92	1.83	2.30	21.40
CONC. ZN	120.288	51.55	62.01	78.00	8.31
RELAVE	832.990	1.88	15.66	19.70	
Cab. CALC.		7.95	79.50		

Tabla 38: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 09

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	6.73	67.30	100.00	
CONC. PB	30.238	2.50	0.76	1.12	33.07
CONC. ZN	97.128	46.41	45.08	66.98	10.30
RELAVE	872.633	2.46	21.47	31.90	
Cab. CALC.		6.73	67.30		

Tabla 39: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 10

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	8.68	86.80	100.00	
CONC. PB	38.323	2.93	1.12	1.29	26.09
CONC. ZN	121.065	47.37	57.35	66.07	8.26
RELAVE	840.612	3.37	28.33	32.64	
Cab. CALC.		8.68	86.80		

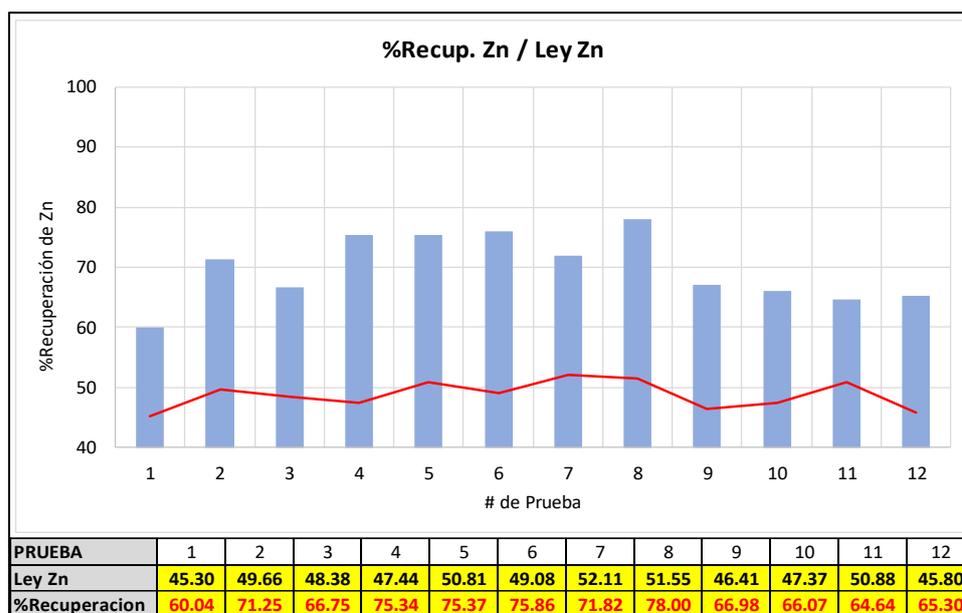
Tabla 40: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 11

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	7.13	71.30	100.00	
CONC. PB	28.585	3.16	0.90	1.27	34.98
CONC. ZN	90.577	50.88	46.09	64.64	11.04
RELAVE	880.838	2.76	24.31	34.10	
Cab. CALC.		7.13	71.30		

Tabla 41: Balance Metalúrgico Grupo 2, Prueba 12

Producto	PESO (gr)	LEYES	CONTENIDOS	DISTRIBUCION (%)	Ratio
		% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	5.51	55.10	100.00	
CONC. PB	26.028	3.96	1.03	1.87	38.42
CONC. ZN	78.563	45.80	35.98	65.30	12.73
RELAVE	895.409	2.02	18.09	32.83	
Cab. CALC.		5.51	55.10		

Figura 5: % Recuperación de Zinc frente Ley de Zinc, Grupo 2



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

4.2.2. Resultado del análisis de varianza

Tabla 42: Resultados del Análisis de Varianza Grupo 1 y Grupo 2

Xantato Z-6 / CuSO ₄ / pH / MIBC						Xantato Z-11 / CuSO ₄ / pH / MIBC					
Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p	Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
X1	1	171.542	171.542	307.07	0.000	X2	1	123.795	123.795	121.77	0.002
A	1	23.737	23.737	42.49	0.007	A	1	25.884	25.884	25.46	0.015
B	1	123.374	123.374	220.85	0.001	B	1	64.241	64.241	63.19	0.004
C	1	0.024	0.024	0.04	0.848	C	1	1.37	1.37	1.35	0.330
X1*A	1	0.335	0.335	0.6	0.495	X2*A	1	0.466	0.466	0.46	0.547
X1*B	1	11.4	11.4	20.41	0.020	X2*B	1	8.262	8.262	8.13	0.065
X1*C	1	0.017	0.017	0.03	0.874	X2*C	1	6.498	6.498	6.39	0.086
Curvatura	1	18.907	18.907	33.84	0.010	Curvatura	1	78.663	78.663	77.38	0.003
Error	3	1.676	0.559			Error	3	3.05	1.017		
Total	11	351.012				Total	11	312.228			

Fuente: Elaborado con el programa MINITAB.

Descripción de los resultados:

Grupo 1:

La combinación de Xantato Z-6, CuSO₄, pH y MIBC con un total de 12 corridas. Las respuestas en Y1 en este experimento se evaluó analizando los valores p para las tres variables lineales (X1, A, B) y la interacción X1*B indican que tienen un efecto muy significativo, ya que están por debajo de 0,05 en el valor p. Además, se encontró que la variable lineal en C y la interacción de dos términos (X1*A y X1*C) no muestra significancia estadística con un valor de valor mayor al 0.05.

Grupo 2:

La combinación de Xantato Z-11, CuSO₄, pH y MIBC con un total de 12 corridas. Las respuestas en Y2 en este experimento se evaluó analizando los valores p para las variables lineales (X2, A y B) indican que tienen un efecto significativo ya que están por debajo del valor de p en 0,05. Además, la variable lineal (C), y las interacciones de dos términos (X2*A, X2*B y X2*C) no muestran significancia en la recuperación del concentrado de Zinc.

4.2.3. Resultados de los efectos

Tabla 43: Resultados de los efectos Grupo 1 y Grupo 2

Xantato Z-6 / CuSO4 / pH / MIBC		Xantato Z-11 / CuSO4 / pH / MIBC	
Fuente	Efecto	Fuente	Efecto
X1	9.261	X2	7.868
A	3.445	A	3.598
B	7.854	B	5.668
C	0.11	C	0.828
X1*A	0.409	X2*A	-0.482
X1*B	-2.387	X2*B	-2.033
X1*C	0.091	X2*C	-1.803

Fuente: Elaborado con el programa MINITAB.

Descripción de los resultados:

Grupo 1:

- X1(Xantato Z-6): Un incremento de la concentración X1 de 20 g/tn a 30 g/tn tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 9.261%.
- A (CuSO4): Un incremento de la concentración A de 350 g/tn a 450 g/tn tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 3.445%.
- B (pH): Un manejo óptimo del pH de 9 a 12 tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 7.854%.
- C (MIBC): Un incremento de la concentración C de 16.5 g/tn a 27.5 g/tn tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 0.11%.
- X1*A (Xantato Z-6 y CuSO4): La interacción entre X1*A tiene un efecto significativo en la recuperación de 0.409%.
- X1*B (Xantato Z-6 y pH): No hay interacción puesto que el efecto para la prueba es valor negativo.
- X1*C (Xantato Z-6 y MIBC): La interacción entre X1*C tiene un efecto significativo en la recuperación de 0.091%.

Grupo 2:

- X2 (Xantato Z-11): Un incremento de la concentración X2 de 20 g/tn a 30 g/tn tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 7.868%.
- A (CuSO4): Un incremento de la concentración A de 350 g/tn a 450 g/tn tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 3.598%.
- B (pH): Un manejo óptimo del pH de 9 a 12 tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 5.668%.
- C (MIBC): Un incremento de la concentración C de 16.5 g/tn a 27.5 g/tn tendrá un efecto significativo para mejorar la recuperación de zinc en 0.828%.
- X2*A (Xantato Z-11 y CuSO4): No hay interacción puesto que el efecto para la prueba es valor negativo.
- X2*B (Xantato Z-11 y pH): No hay interacción puesto que el efecto para la prueba es valor negativo.
- X2*C (Xantato Z-11 y MIBC): No hay interacción puesto que el efecto para la prueba es valor negativo.

4.2.4. Resultado de los coeficientes

Tabla 44: Resultados de los coeficientes Grupo 1 y Grupo 2

Xantato Z-6 / CuSO4 / pH / MIBC		Xantato Z-11 / CuSO4 / pH / MIBC	
Fuente	Coeficientes	Fuente	Coeficientes
Const.	85.262	Const.	71.179
X1	4.631	X2	3.934
A	1.723	A	1.799
B	3.927	B	2.834
C	0.055	C	0.414
X1*A	0.205	X2*A	-0.241
X1*B	-1.194	X2*B	-1.016
X1*C	0.046	X2*C	-0.901

Fuente: Elaborado con el programa MINITAB.

4.2.5. Resultado Modelo Matemático

Tabla 45: Resultados Modelo Matemático Grupo 1 y Grupo 2

Xantato Z-6 / CuSO₄ / pH / MIBC		
S	0.74742	Ecuación de regresión en unidades codificadas
R-cuad.	99.52%	$Y1 = 85.262 + 4.631 X1 + 1.723 A + 3.927 B + 0.055 C + 0.205 X1*A - 1.194 X1*B + 0.046 X1*C$
R-cuad. (ajustado)	98.25%	
Xantato Z-11 / CuSO₄ / pH / MIBC		
S	0.895964	Ecuación de regresión en unidades codificadas
R-cuad.	99.02%	$Y2 = 71.179 + 3.934 X2 + 1.799 A + 2.834 B + 0.414 C - 0.241 X2*A - 1.016 X2*B - 0.901 X2*C$
R-cuad. (ajustado)	96.42%	

Fuente: Elaborado con el programa MINITAB.

Descripción de los resultados: El R cuadrado ajustado para la recuperación de zinc (Y1) en la Tabla 45 es 98.25 %, lo que indica un fuerte ajuste para el modelo de regresión. Las variables predictoras X1, A, B y C, incluidas en el modelo explican casi toda la adquisición en la recuperación de zinc. Esto indica que el modelo puede pronosticar de manera confiable los resultados de las observaciones. En general los datos del primer cuadro de los experimentos del Grupo 1 tiene mejor ajuste de predicción del segundo Grupo 2.

4.2.6. Análisis T-Student

Se analiza los datos obtenidos para el T-Student en el cual con un total de 12 corridas con una probabilidad del 95%, según la tabla Distribución T-Student Anexo 7 tiene un valor de 1.798.

Tabla 46: Análisis T-Student Grupo 1 y Grupo 2

Grupo 1			Grupo 2		
Xantato Z-6 / CuSO₄ / pH / MIBC			Xantato Z-11 / CuSO₄ / pH / MIBC		
Fuente	Valor T-Student		Fuente	Valor T-Student	
X1	Xantato Z-6	17.52	X2	Xantato Z-6	11.03
	A	6.52		A	Sulfato de Cobre
B	pH	14.86	B	pH	7.95
C	MIBC	0.21	C	MIBC	1.16
X1*A	Xantato Z-6*Sulfato de Cobre	0.77	X2*A	Xantato Z-11*Sulfato de Cobre	-0.68
X1*B	Xantato Z-6*pH	-4.52	X2*B	Xantato Z-11*pH	-2.85
X1*C	Xantato Z-6*MIBC	0.17	X2*C	Xantato Z-11*MIBC	-2.53

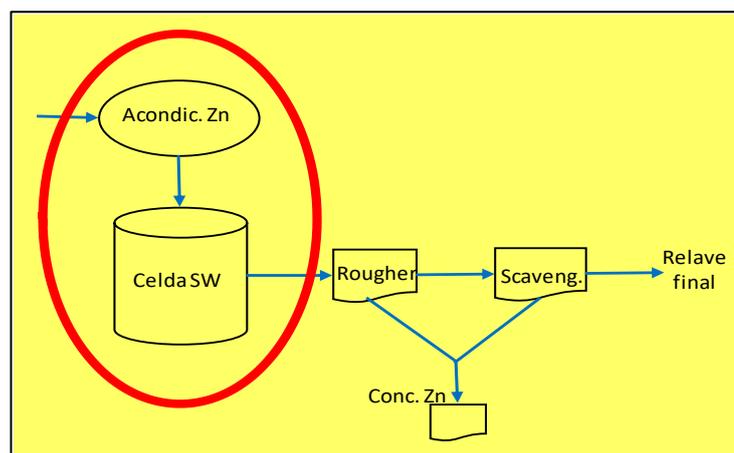
Fuente: Elaborado con el programa MINITAB

De los resultados se puede deducir que; las variables más influyentes dentro de la recuperación del concentrado de Zinc, para ambos resultados: el Xantato (Z-6 y Z-11), CuSO₄ y pH, ya que son mayores que 1.798, por ende se puede ver que la diferencia en el Grupo 1 tiene una mayor importancia para la recuperación de Zinc que el Grupo 2, por otro lado el resultado obtenido del reactivo MIBC en el Grupo 1 es de 0.21 y Grupo 2 es de 1.16, no obstante, no quiere decir que no sea influyente ya que el MIBC es un reactivo importante y tiene un valor significativo o relevancia en sí mismo crea las espumas (burbujas), mientras que la influencia en los otros reactivos tienen la capacidad de afectar o cambiar el comportamiento del estado.

4.2.7. Resultado Celda Serrana SW

En este punto se realizó la prueba con 1 kg de mineral en donde se procedió a realizar con los patrones más bajos para cada grupo de prueba con un tiempo de 1 minuto para ambos casos.

Figura 6: Diagrama de Flujo Nivel Laboratorio con celda SW



Fuente: Elaboración propia.

Descripción de los resultados:

Grupo 1:

Tabla 47: Dosificación y tiempos de prueba Celda SW, Grupo 1

React.	% Con.	Molienda (10')	Z-6 (g/tn)	Sulfato de Cobre (g/tn)	MIBC (g/tn)	Cal (g/tn)	Consumo de Cianuro (g/tn)	pH
		> = 58% - 200m						
Cal	100%	Ac - Zn (1')	20	300	11	0	100	9
NaCN	1%	Ro - Scv - Zn (3')	5	50	11	2200	200	12
ZnSO4	5%	Limp. Zn (3')	25	350	22	2200	300	

La prueba realizada para la celda SW o celda serrano con la dosificación más baja se aprecia en la Tabla 47 para el Grupo 1, obteniendo una recuperación del 97.01% de Zinc, en base al porcentaje de cabeza entrante Tabla 48 prueba celda SW, esto como primera etapa rougher (R1) para la recuperación del concentrado de Zinc, obteniendo un porcentaje de recuperación de 82.83%, 68.30 g de contenido metálico con calidad de 50.90%, mientras el residuo se desplaza con una cantidad de 813.272 g que pasa a la siguiente etapa en celda rougher – scavenger – cleaner.

En esta etapa se puede apreciar en los resultados de la Tabla 49 (Prueba R-S-C), el residuo pasa con un 20% de la cabeza inicial que es de 8.22% a 1.65%, en donde alcanza una recuperación del 87.29%, con contenido metálico de 11.91 g y calidad de 47.01%.

Tabla 48: Balance Metalúrgico Celda SW, Grupo 1

Prueba		CELDA SW				
		% LEY	CONT. MET.	RECUP.(%)	Ratio	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn		
CABEZA	1000.000	8.22	82.20	100.00		
CONC. PB	52.543	1.40	0.74	0.89	19.03	
CONC. ZN	134.185	50.90	68.30	82.83	7.45	
RELAVE	813.272	1.65	13.42	16.27		
Cab. CALC.		8.25	82.45			

Tabla 49: Balance Metalúrgico Celda R-S-C, Grupo 1

Prueba		R-S-C				
		% LEY	CONT. MET.	RECUP.(%)	Ratio	
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn		
CABEZA	813.272	1.65	13.64	100.00		
CONC. ZN	25.330	47.01	11.91	87.29	32.11	
RELAVE	787.942	0.22	1.73	12.71		
Cab. CALC.		1.68	13.64			

La prueba muestra que el concentrado total de zinc es:

- Celda serrano SW: 133.185 g de concentrado de Zinc
- Celda R-S: 25.330 g de concentrado de Zinc

Con un total de 159.515 g de concentrado de Zinc, de donde se obtiene el balance general de prueba:

Tabla 50: Balance General Grupo 1 (Celda SW – Celda R-S-C)

BALANCE GENERAL					
		% LEY	CONT. MET.	RECUP.(%)	Ratio
Producto	PESO (gr)	% Zn	Zn	Zn	
CABEZA	1000.000	8.27	82.68	100.00	
CONC. PB	52.543	1.40	0.74	0.89	19.03
CONC. ZN	159.515	50.28	80.21	97.01	6.27
RELAVE	787.942	0.22	1.73	2.10	
Cab. CALC.		8.27	82.68		

En la Tabla 50 se muestra el balance general de la prueba en la celda SW y celda R-S Grupo 1, en donde se alcanza una calidad de 50.28%, 80.21 g de contenido metálico y recuperación de 97.01%.

Grupo 2:

Tabla 51: Dosificación de reactivos y tiempos de prueba Celda SW, Grupo 2

React.	% Con.	Molienda (10')	Z-11 (g/tn)	Sulfato de Cobre (g/tn)	MIBC (g/tn)	Cal (g/tn)	Consumo de Cianuro (g/tn)	pH
		> = 58% - 200m						
Cal	100%	Ac - Zn (1')	20	300	11	0	100	9
NaCN	1%	Ro - Scv - Zn (3')	5	50	11	2400	200	12
ZnSO4	5%	Limp. Zn (3')	25	350	22	2400	300	

La prueba realizada para la celda SW o celda serrano con la dosificación más baja como se aprecia en la Tabla 51 para el Grupo 2, obteniendo una recuperación del 89.87% de Zinc, en base al porcentaje de cabeza entrante Tabla 52 prueba celda SW, esto como primera etapa rougher (R1) para la recuperación del concentrado de Zinc, obteniendo un porcentaje de recuperación de 74.10%, 57.80 g de contenido metálico con calidad de 51.10%, mientras el residuo se desplaza con una cantidad de 841.123 g que pasa a la siguiente etapa en celda rougher – scavenger – cleaner.

En esta etapa se puede apreciar en los resultados de la Tabla 53 (Prueba R-S-C), el residuo pasa con un 29.36% de la cabeza inicial que es de 7.8% a 2.29%, en donde alcanza una recuperación del 63.66%, con contenido metálico de 12.16 g y calidad de 50.60%.

Tabla 52: Balance Metalúrgico Celda SW, Grupo 2

Prueba		CELDA SW			
Producto	PESO (gr)	% Zn	CONT. MET. Zn	RECUP.(%) Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	7.80	78.00	100.00	
CONC. PB	45.775	2.06	0.94	1.21	21.85
CONC. ZN	113.102	51.10	57.80	74.10	8.84
RELAVE	841.123	2.29	19.26	24.69	
Cab. CALC.		7.80	78.00		

Tabla 53: Balance Metalúrgico Celda R-S-C, Grupo 2

Prueba		R-S-C			
Producto	PESO (gr)	% LEY % Zn	CONT. MET. Zn	RECUP.(%) Zn	Ratio
CABEZA	841.123	2.29	19.11	100.00	
CONC. ZN	24.040	50.60	12.16	63.66	34.99
RELAVE	817.083	0.85	6.95	36.34	
Cab. CALC.		2.27	19.11		

La prueba muestra que el concentrado total de zinc es:

- Celda serrano SW / Grupo 2: 113.102 g de concentrado de Zinc
- Celda R -S-C / Grupo 2: 24.040 g de concentrado de Zinc

Con un total de 137.142 g de concentrado de Zinc, de donde se obtiene el balance general de la prueba:

Tabla 54: Balance General Grupo 2 (Celda SW – Celda R-S-C)

BALANCE GENERAL					
Producto	PESO (gr)	% LEY % Zn	CONT. MET. Zn	RECUP.(%) Zn	Ratio
CABEZA	1000.000	7.78	77.85	100.00	
CONC. PB	45.775	2.06	0.94	1.21	21.85
CONC. ZN	137.142	51.01	69.96	89.87	7.29
RELAVE	817.083	0.85	6.95	8.92	
Cab. CALC.		7.78	77.85		

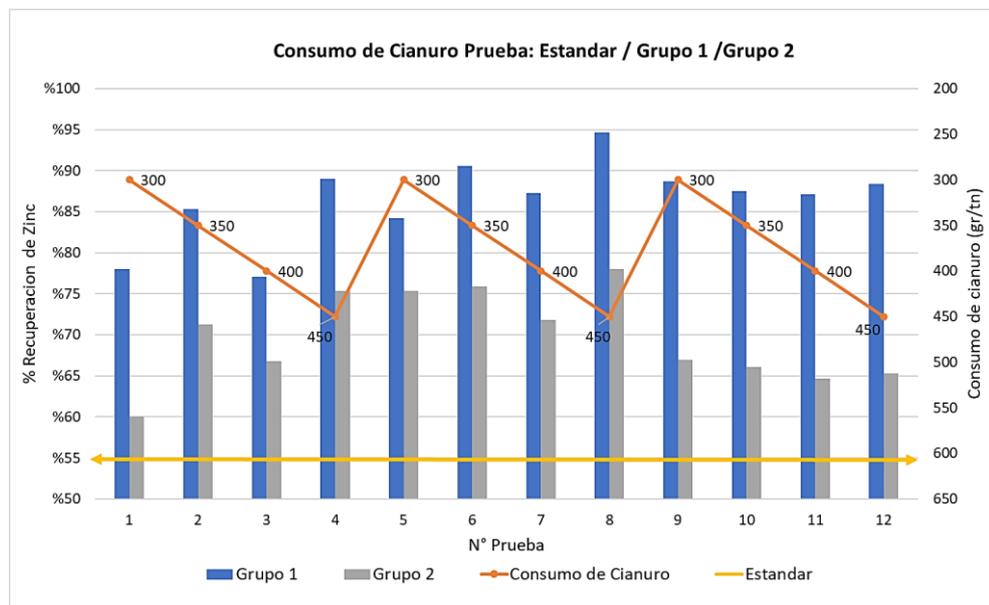
En la Tabla 54 se muestra el balance general de la prueba en la celda SW / Grupo 2, en donde se alcanza una calidad de 51.01%, 69.96 g de contenido metálico y recuperación de 89.87%.

*De acuerdo a los resultados obtenidos en estas pruebas se lleva a una conclusión que, utilizando la celda SW como Rougher 1 se alcanza un porcentaje superior del 50% para la recuperación de Zinc con las dosificaciones más bajas.

4.2.8. Resultado del consumo de cianuro

La efectividad del cianuro como depresor en el proceso de flotación de Zinc, se centra principalmente en deprimir la pirita (FeS₂) y pirrotina (Fe_{1-x}S), y la calcopirita (CuFeS₂), minerales cuya presencia impide la recuperación eficiente del Zinc. Las pruebas se realizaron en condiciones controladas. Durante estas pruebas, se varía la concentración de cianuro y se ajustan otros parámetros operativos como pH, tamaño de partícula y tiempo de flotación.

Tabla 55: Consumo de Cianuro Prueba: Estándar / Grupo 1 / Grupo 2



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

La Tabla 55 muestra los resultados obtenidos de las pruebas de consumo de cianuro realizadas para cada grupo en comparación con el consumo estándar, la

dosificación estándar de cianuro, inicialmente establecida en 600 g/Tn, ha sido optimizada y ajustada a un rango de 300 g/Tn - 450 g/Tn, en las pruebas se ha demostrado que esta modificación resultó mejoras significativas en la eficiencia de la recuperación, en tanto a las pruebas en la celda SW o celda serrano la cantidad de cianuro se ajustó a 300 g/Tn, teniendo resultado positivo para el proceso.

4.2.9. Análisis Económico

La valoración económica se centró en la cantidad de zinc metálico recuperado y los costos asociados a los reactivos, estos últimos que estamos estudiando en detalle. El costo de los reactivos se determinará en función de la información que se proporcionó:

Tabla 56: Costo de Reactivos

Nombre Producto	U. M	Costo Salida KG (\$)
Sulfato de cobre	KG	\$ 2.86
Xantato Z-6	KG	\$ 5.29
Xantato Z-11	KG	\$ 4.29
Hidroxido de calcio	KG	\$ 0.14
Metil Isobutil Carbinol MIBC	KG	\$ 4.29
Cianuro de sodio	KG	\$ 3.95

Fuente: Costo proveedores Planta.

La planta de beneficio TLM S.A. procesa al día 350 TM, para el cálculo de contenido metálico del Zn es el siguiente:

$$\text{Contenido Met. Zinc} = \frac{\text{Peso del conc. Zinc} \times \text{Ley de Zinc}}{100}$$

Para la evaluación se tomó precios de acuerdo al mercado en promedio de los últimos meses marzo, abril y mayo.

$$\$Zinc = \frac{(2.956,257 + 2.776,572 + 2.487,453)}{3}$$

$$\$Zinc = \$2,740.094 Tn$$

$$\$Zinc = \$2.740 Kg$$

Este precio promedio nos ayudara en la evaluación económica, se tiene las siguientes tablas en donde se ve el comparativo de las pruebas frente al estándar además del costo beneficio según los resultados obtenidos:

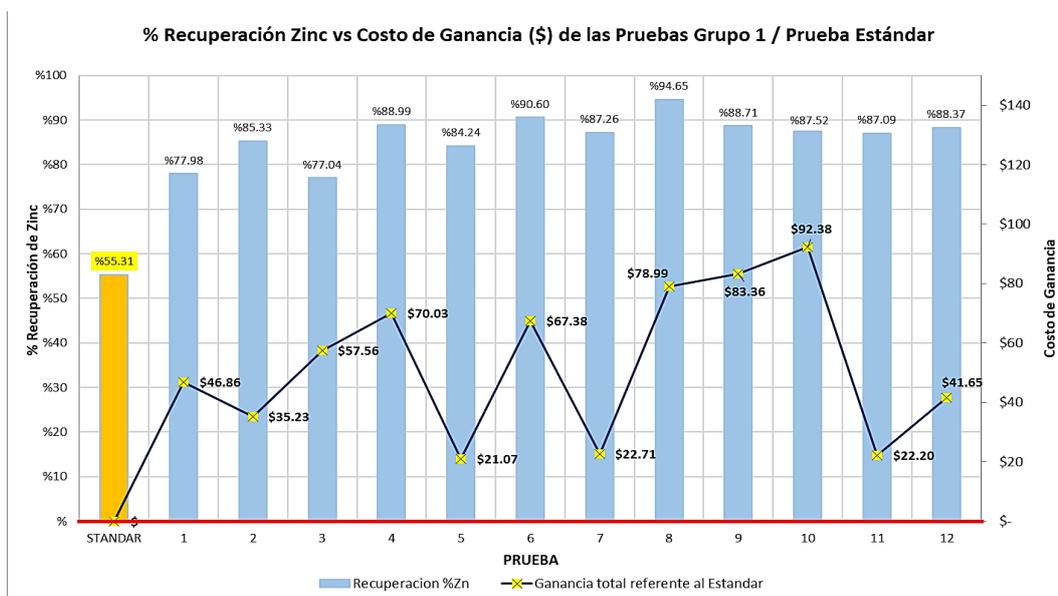
Tabla 57: Costo/Beneficio de las pruebas Grupo 1

Prueba	Xantato Z-6 \$ (Kg)	Sulfato de Cobre \$ (Kg)	MIBC \$ (Kg)	Cal \$ (Kg)	Cianuro de sodio \$ (Kg)	Cont. Metalico (Kg)	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN GASTO DE PRUEBA (\$)	GANANCIA TOTAL (\$)
Estandar	\$ 0.1852	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.2855	\$ 2.3700	40.20	\$ 110.1433	\$ 105.8977	\$ -
1	\$ 0.1058	\$ 1.0010	\$ 0.0708	\$ -	\$ 1.1850	56.615	\$ 155.1252	\$ 152.7626	\$ 46.8650
2	\$ 0.1587	\$ 1.0010	\$ 0.1180	\$ -	\$ 1.3825	52.478	\$ 143.7884	\$ 141.1282	\$ 35.2305
3	\$ 0.1058	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ -	\$ 1.5800	60.783	\$ 166.5442	\$ 163.4534	\$ 57.5557
4	\$ 0.1587	\$ 1.2870	\$ 0.0708	\$ -	\$ 1.7775	65.408	\$ 179.2183	\$ 175.9243	\$ 70.0267
5	\$ 0.1058	\$ 1.0010	\$ 0.1180	\$ 0.3399	\$ 1.1850	47.340	\$ 129.7128	\$ 126.9632	\$ 21.0655
6	\$ 0.1587	\$ 1.0010	\$ 0.0708	\$ 0.3670	\$ 1.3825	64.329	\$ 176.2607	\$ 173.2807	\$ 67.3830
7	\$ 0.1058	\$ 1.2870	\$ 0.0708	\$ 0.3263	\$ 1.5800	48.166	\$ 131.9743	\$ 128.6045	\$ 22.7068
8	\$ 0.1587	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.3670	\$ 1.7775	68.812	\$ 188.5460	\$ 184.8378	\$ 78.9401
9	\$ 0.1323	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.2039	\$ 1.1850	70.079	\$ 192.0154	\$ 189.2559	\$ 83.3582
10	\$ 0.1323	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.1767	\$ 1.3825	73.432	\$ 201.2026	\$ 198.2728	\$ 92.3751
11	\$ 0.1323	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.1903	\$ 1.5800	47.898	\$ 131.2418	\$ 128.1008	\$ 22.2032
12	\$ 0.1323	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.1495	\$ 1.7775	55.052	\$ 150.8425	\$ 147.5448	\$ 41.6471

Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

La Tabla 57 presenta el análisis económico comparativo del Grupo 1 frente al estándar. Este análisis nos indica que la ganancia obtenida en todas las pruebas realizadas son favorables para la rentabilidad de la empresa. En donde los resultados muestran claramente el impacto positivo en la economía de los cambios introducidos en el Grupo 1.

Figura 7: Costo de Ganancia de las Pruebas Grupo 1 / Prueba Estándar



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

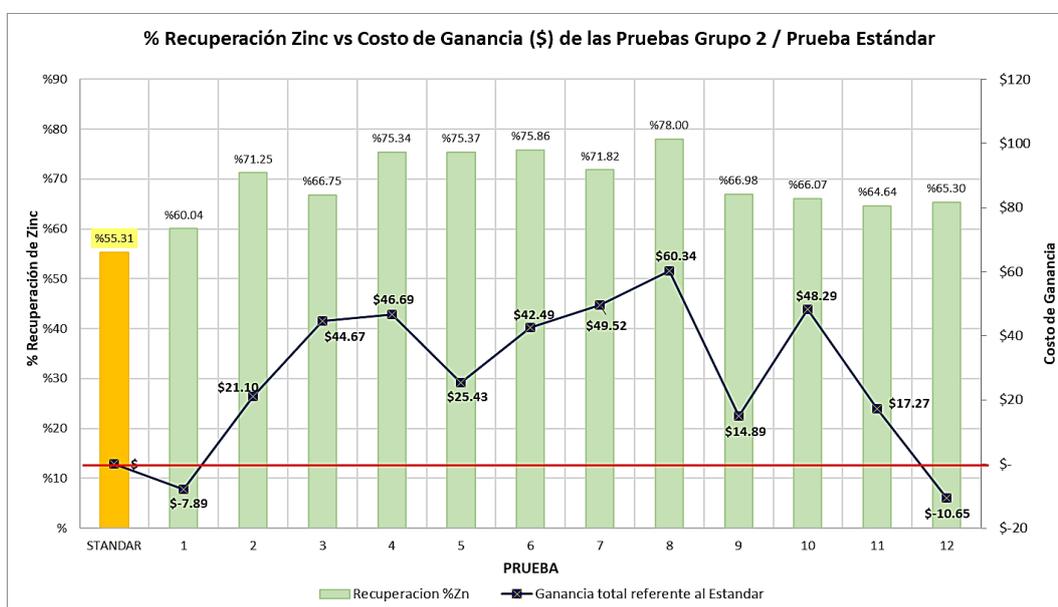
Tabla 58: Costo/Beneficio de las pruebas Grupo 2

Prueba	Xantato Z-11 \$ (Kg)	Sulfato de Cobre \$ (Kg)	MIBC \$ (Kg)	Cal \$ (Kg)	Cianuro de sodio \$ (Kg)	Cont. Metalico (Kg)	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN GASTO DE PRUEBA (\$)	GANANCIA TOTAL (\$)
Estandar	\$ 0.1852	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.2855	\$ 2.3700	40.20	\$ 110.1433	\$ 105.8977	\$ -
1	\$ 0.0858	\$ 1.0010	\$ 0.0708	\$ -	\$ 1.1850	36.626	\$ 100.3542	\$ 98.0116	\$ -7.8861
2	\$ 0.1287	\$ 1.0010	\$ 0.1180	\$ -	\$ 1.3825	47.310	\$ 129.6306	\$ 127.0004	\$ 21.1028
3	\$ 0.0858	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ -	\$ 1.5800	56.072	\$ 153.6374	\$ 150.5666	\$ 44.6689
4	\$ 0.1287	\$ 1.2870	\$ 0.0708	\$ -	\$ 1.7775	56.880	\$ 155.8519	\$ 152.5879	\$ 46.6903
5	\$ 0.0858	\$ 1.0010	\$ 0.1180	\$ 0.3127	\$ 1.1850	48.915	\$ 134.0274	\$ 131.3249	\$ 25.4273
6	\$ 0.1287	\$ 1.0010	\$ 0.0708	\$ 0.3534	\$ 1.3825	55.229	\$ 151.3267	\$ 148.3903	\$ 42.4926
7	\$ 0.0858	\$ 1.2870	\$ 0.0708	\$ 0.3670	\$ 1.5800	57.957	\$ 158.8034	\$ 155.4128	\$ 49.5151
8	\$ 0.1287	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.3534	\$ 1.7775	62.008	\$ 169.9027	\$ 166.2380	\$ 60.3404
9	\$ 0.1073	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.1903	\$ 1.1850	45.077	\$ 123.5117	\$ 120.7908	\$ 14.8931
10	\$ 0.1073	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.2175	\$ 1.3825	57.349	\$ 157.1349	\$ 154.1893	\$ 48.2916
11	\$ 0.1073	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.1767	\$ 1.5800	46.086	\$ 126.2745	\$ 123.1722	\$ 17.2745
12	\$ 0.1073	\$ 1.1440	\$ 0.0944	\$ 0.2175	\$ 1.7775	35.982	\$ 98.5908	\$ 95.2502	\$ -10.6475

Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

La Tabla 58 presenta el análisis económico comparativo del Grupo 2 frente al estándar. Este análisis nos indica que en la ganancia obtenida en todas las pruebas realizadas no es favorable para la rentabilidad de la empresa y que en comparación que del Grupo 1 son más bajas económicamente.

Figura 8: Costo de Ganancia de las Pruebas Grupo 2 / Prueba Estándar



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Primera hipótesis específica

El consumo de reactivos influye favorablemente en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023.

- a. Hipótesis Nula (H_0): El consumo de reactivos no tiene influencia favorable en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023. (Hipótesis nula)
- b. Hipótesis Alternativa (H_1): El consumo de reactivos tiene una influencia favorable en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023. (Hipótesis alterna)

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que para la primera hipótesis el consumo de reactivos tiene un efecto positivo en la influencia para las técnicas de reducción del costo de los procesos de flotación para la obtención de concentrado de zinc. Esta conclusión se basa en un análisis estadístico comparativo del costo de los reactivos en pruebas metalúrgicas en comparación con el estándar. Los resultados muestran que los reactivos tanto del grupo de prueba 1 y 2, como del grupo de referencia tienen una influencia positiva en las técnicas de ahorro de costos durante el proceso de flotación para la recuperación de Zinc.

4.3.2. Segunda hipótesis específica

La obtención del concentrado final a través de la flotación de la primera celda serrano SW influye satisfactoriamente en las técnicas de reducción de costo

en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta TLM S.A. – Ancash -2023

- a. Hipótesis Nula (H_0): La obtención del concentrado final a través de la flotación de la primera celda serrano SW no tiene influencia significativa en las técnicas de reducción de costo en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta TLM S.A. – Ancash -2023. (Hipótesis nula)
- b. Hipótesis Alternativa (H_1): La obtención del concentrado final a través de la flotación de la primera celda serrano SW influye satisfactoriamente en las técnicas de reducción de costo en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta TLM S.A. – Ancash -2023. (Hipótesis alterna)

Los datos recopilados validan la hipótesis alternativa con los resultados, esto significa que la recuperación del concentrado final por flotación de la primera celda serrano SW tiene un impacto significativo y positivo en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc. Estos resultados son muy alentadores para la planta, ya que indican que esta tecnología en particular no sólo es eficiente en términos de rendimiento, sino que también contribuye significativamente a la economía operativa con una recuperación del 30% en esta fase, además no sólo mejora la calidad del concentrado final, sino que también lo hace de manera rentable, lo que se traduce en importantes ahorros para la empresa.

4.3.3. Hipótesis general

Las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación influyen favorablemente en la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023.

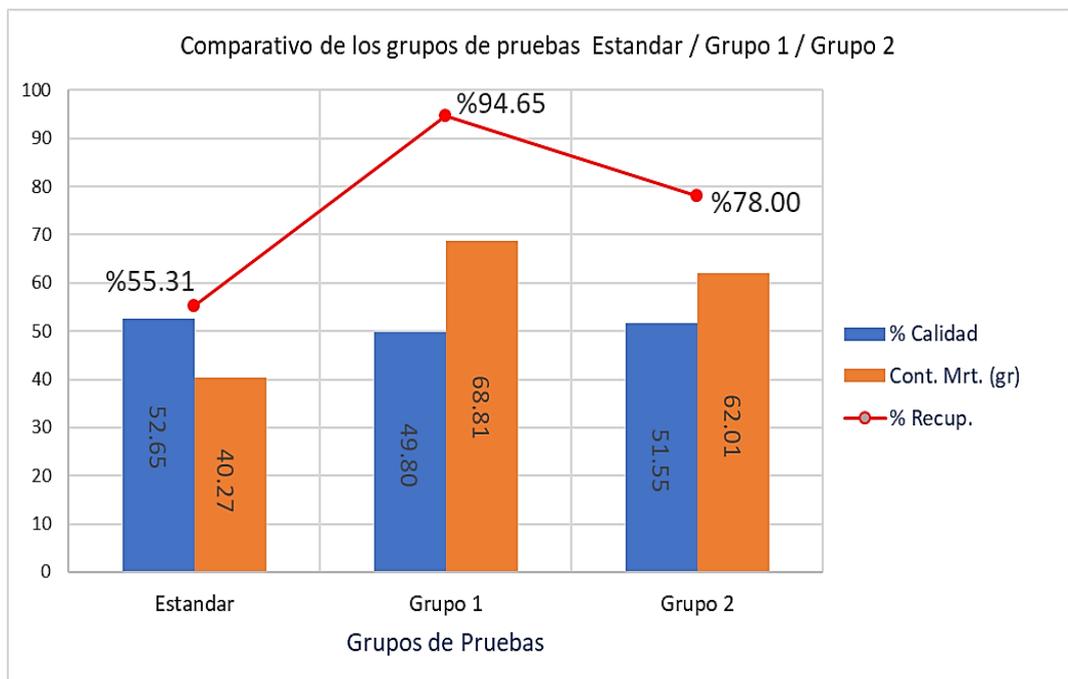
Con los resultados generales obtenidos se puede inferir que dentro de las hipótesis específicas se dan valides y la influencia significativa a las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación influyen favorablemente en la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash – 2023.

4.4. Discusión de resultados

Se trabajo con dos grupos de pruebas cada uno con 8 experimentos y 4 réplicas en punto central con un total de 12 experimentos por cada grupo, estas pruebas fueron comparadas entre sí mismas y frente a la prueba estándar.

– En la Figura 9, se aprecia que al comparar las pruebas del Grupo 1 y Grupo 2 frente al estándar se obtuvo que; los resultados más sobresalientes en cuanto a la recuperación de zinc para el Grupo 1 / Prueba N°08, se obtuvo 94.65% con calidad de 49.81%, mientras que para el Grupo 2 / Prueba N°08 se obtuvo una recuperación de zinc en 78.00% con calidad de 51.55.

Figura 9: Comparativo de los grupos de pruebas Estándar / Grupo 1 / Grupo 2



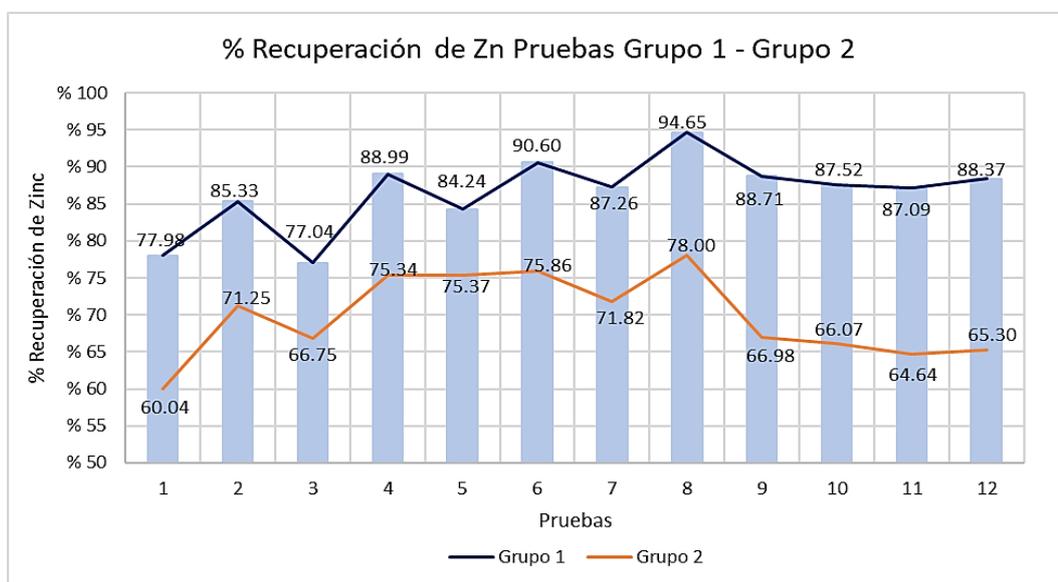
Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

– Los rangos de recuperación, calidad y contenido metálico se tiene lo siguientes resultados:

- Grupo 1: Colector Xantato Z-6, Sulfato de cobre, MIBC, Oxido de calcio
- Grupo 2: Colector Xantato Z-11, Sulfato de cobre, MIBC, Oxido de calcio

En la Figura 10 se aprecia las recuperaciones del concentrado de Zinc estas están en un rango de 77.04% a 94.65% para el Grupo1 y de 60.04% a 78% para el Grupo 2, esto indica que el mayor porcentaje de recuperación se obtuvo para el Grupo 1 frente al Grupo 2 y al estándar.

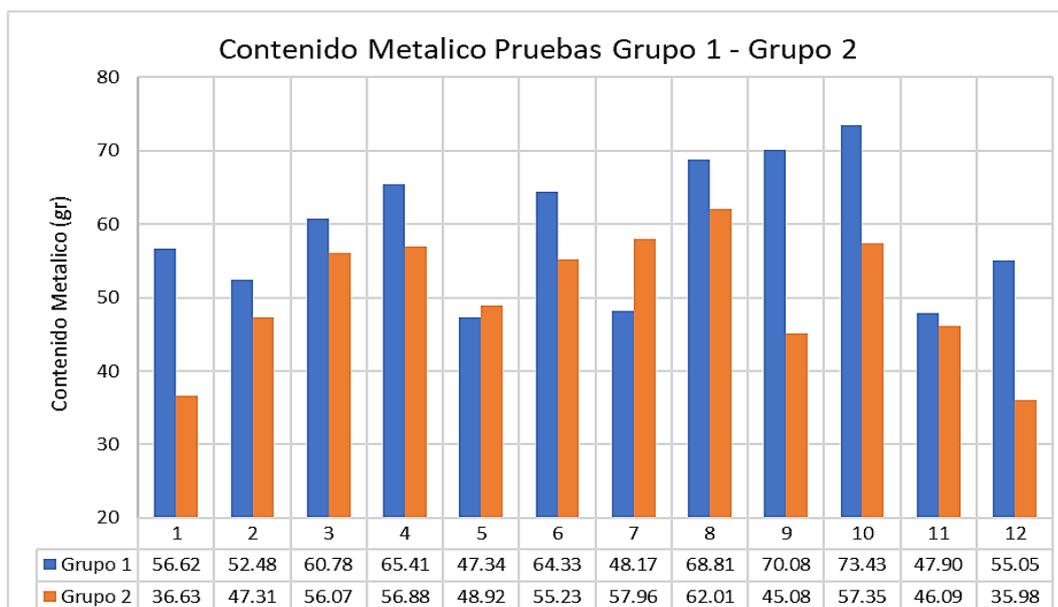
Figura 10: % Recuperación de Zinc Grupo 1 / Grupo 2



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

En la Figura 11, se observa el análisis del contenido metálico el Grupo 1 va desde un rango de 47.34 a 73.43, en tanto al Grupo 2 de 35.98 a 62.01, lo que refleja que la mayor parte de contenido metálico se obtiene en el Grupo 1 esto superando la cantidad de contenido metálico del estándar.

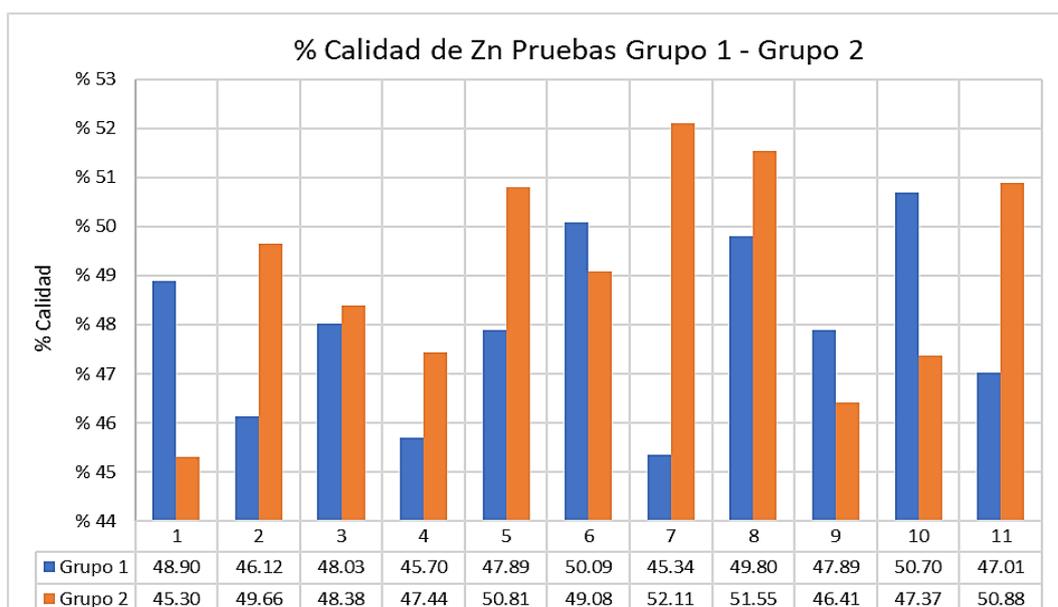
Figura 11: Contenido Metálico de Zinc Grupo 1 / Grupo 2



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

En tanto al % de calidad para ambos grupos se manteniendo mayor de 45% que se tiene como base para la comercialización. En la Figura 12, se observa el análisis del contenido metálico que el Grupo 1 va desde un rango de 47.34% a 73.43%, y del Grupo 2 de 35.98% a 62.01%, lo que refleja que la mayor parte de contenido metálico se obtiene en el Grupo 1 y esto superando el % al estándar.

Figura 12: % Calidad de Zinc Grupo 1 / Grupo 2



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

Dados estos resultados se concluye que; en el Grupo 1 se obtiene calidad de concentrado para la comercialización mayor al 45%, con una cantidad superior de contenido metálico que del estándar y el Grupo 2, y alcanzando una recuperación máxima de 94.65% en recuperación de Zinc, mientras que el Grupo 2 también se encuentra en el rango de porcentaje para comercialización y con montos inferiores en contenido metálico y recuperación.

- En base al diseño de experimentos fraccionado 2k-1, el análisis de varianza para el Grupo 1 los reactivos que tienen un efecto significativo dentro del proceso es el xantato Z-6, CuSO₄, pH y la interacción Z-6 con pH; esto a diferencia del Grupo 2 que el efecto significativo presenta Z-11, CuSO₄ y pH.

De acuerdo a los efectos para cada prueba por cada interacción los reactivos tendrán un incremento de recuperación mayor y un mejor ajuste en el modelo matemático con 98.25% para el Grupo 1, en donde la concentración de reactivos mejora la recuperación: Z-6/9.261%, CuSO₄/3.445%, pH/7.854%, MIBC/0.11%, a diferencia del Grupo 2 que solo alcanza el ajuste de modelo matemático 96.42% y concentración de reactivos a una recuperación de: Z-11/7.868%, CuSO₄/3.598%, pH/5.668%, MIBC/0.828%. De los resultados obtenidos nos indica que; para ambos grupos hay recuperación de concentrado de Zinc que es comerciable.

- Como parte del análisis económico, se realizaron en el laboratorio metalúrgico pruebas para evaluar (costo/beneficio) en la recuperación de Zinc, los resultados obtenidos subrayan la sostenibilidad financiera de este proceso clave. La comparación de las pruebas del Grupo 1 y Grupo 2 frente con el estándar, muestra un panorama alentador en términos de rentabilidad.

Uno de los aspectos fundamentales analizados fue el costo de los reactivos que juegan un papel crucial en el proceso de flotación para la obtención de Zinc. Estos costos se calcularon detalladamente, teniendo en cuenta tanto los precios de los reactivos individuales como su consumo por prueba que se tomó para 1 kg de muestra de mineral en cada prueba de flotación. Al mismo tiempo, se estimó el valor económico del zinc extraído con base en los precios de mercado durante el período de análisis de 3 meses.

Tabla 59: Costos y beneficios analizados de las pruebas Grupo 1 / Grupo 2

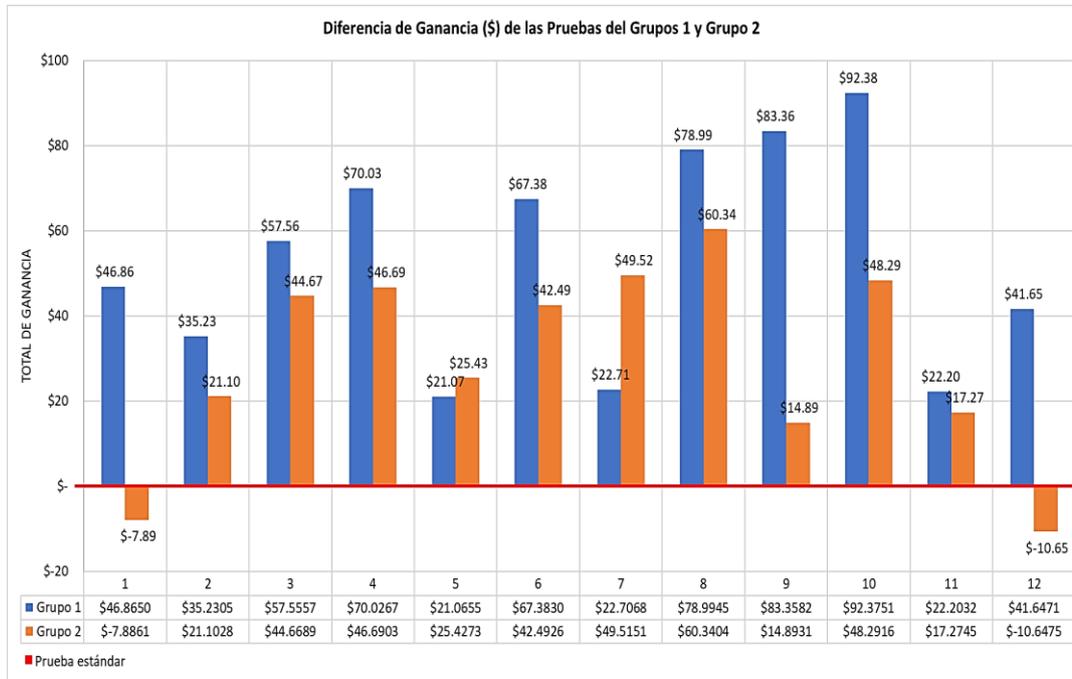
Prueba	GRUPO 1			GRUPO 2		
	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN - GASTO DE PRUEBA (\$)	GANANCIA TOTAL (\$)	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN - GASTO DE PRUEBA (\$)	GANANCIA TOTAL (\$)
1	\$ 155.1252	\$ 152.7626	\$ 46.8650	\$ 100.3542	\$ 98.0116	\$ -7.8861
2	\$ 143.7884	\$ 141.1282	\$ 35.2305	\$ 129.6306	\$ 127.0004	\$ 21.1028
3	\$ 166.5442	\$ 163.4534	\$ 57.5557	\$ 153.6374	\$ 150.5666	\$ 44.6689
4	\$ 179.2183	\$ 175.9243	\$ 70.0267	\$ 155.8519	\$ 152.5879	\$ 46.6903
5	\$ 129.7128	\$ 126.9632	\$ 21.0655	\$ 134.0274	\$ 131.3249	\$ 25.4273
6	\$ 176.2607	\$ 173.2807	\$ 67.3830	\$ 151.3267	\$ 148.3903	\$ 42.4926
7	\$ 131.9743	\$ 128.6045	\$ 22.7068	\$ 158.8034	\$ 155.4128	\$ 49.5151
8	\$ 188.5460	\$ 184.8921	\$ 78.9945	\$ 169.9027	\$ 166.2380	\$ 60.3404
9	\$ 192.0154	\$ 189.2559	\$ 83.3582	\$ 123.5117	\$ 120.7908	\$ 14.8931
10	\$ 201.2026	\$ 198.2728	\$ 92.3751	\$ 157.1349	\$ 154.1893	\$ 48.2916
11	\$ 131.2418	\$ 128.1008	\$ 22.2032	\$ 126.2745	\$ 123.1722	\$ 17.2745
12	\$ 150.8425	\$ 147.5448	\$ 41.6471	\$ 98.5908	\$ 95.2502	\$ -10.6475

Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

Los resultados mostraron una mejora significativa en la recuperación de zinc a nivel de laboratorio para ambos grupos de prueba en comparación con el estándar. En la Figura 13 se muestra el comparativo entre ambos grupos y el estándar, en donde la mejora condujo directamente a un aumento del valor económico del zinc recuperado durante el proceso de flotación para el Grupo 1. La ganancia neta se calculó restando el costo de los reactivos al valor económico del zinc extraído, determinando así la ganancia neta alcanzada por el proceso de cada grupo de prueba y esta a su vez siendo restada por el valor prueba estándar

(beneficio zinc - gasto de prueba), en costo de producción el Grupo 2 no es factible ya que las ganancias son muy bajas y esto no cubre la rentabilidad de producción. En comparación del Grupo 1 que si es rentable en todas las pruebas.

Figura 13: Diferencia de Ganancia de las Pruebas del Grupo 1 y Grupo 2

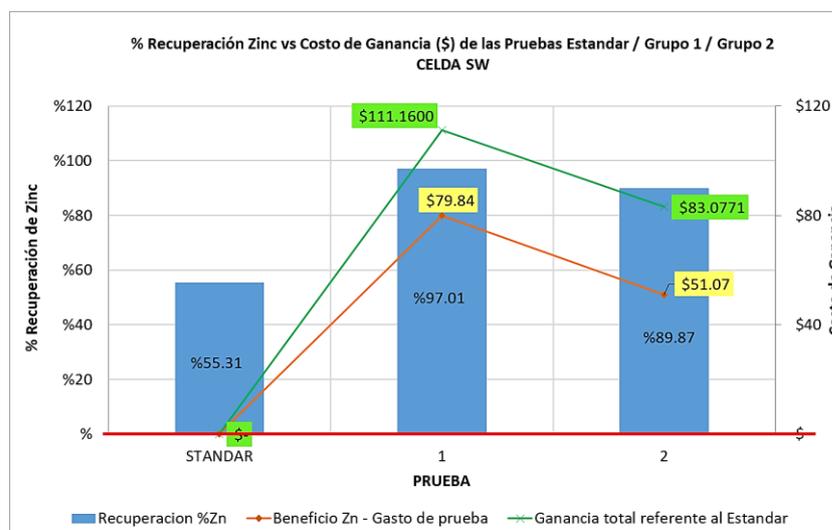


Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

– El análisis económico para la celda serrano o SW, se centra en estrategias eficientes como técnicas económicamente sostenibles. La optimización del consumo de reactivos y el aumento de la rentabilidad, además, mejorará la selectividad y recuperación de minerales, sino que también aumenta la responsabilidad ambiental. Este enfoque integrado no sólo aumenta la eficiencia operativa, sino que también garantiza la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones del proceso metalúrgico.

En la Figura 14 se observa que el Grupo 1 obtiene una mayor recuperación y valor económico seguido por el Grupo 2 en base a la prueba estándar.

Figura 14: % Recuperación Zinc vs Costo de Ganancia (\$) de las Pruebas Estándar / Grupo 1 / Grupo 2 (CELDA SW)



Fuente: Elaborado con el programa EXCEL.

En la Tabla 60 y 61 se muestran los resultados económicos del consumo de reactivo para la celda SW, resultados teniendo como base el consumo del estándar que se maneja.

Prueba estándar:

- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 105.897
- Ganancia Total: \$ 0.00

Prueba Celda SW (Grupo 1):

- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 217.057
- Ganancia Total solo celda SW: \$ 185.736 - \$ 105.897 = \$ 79.8388
- Ganancia Total: \$ 217.0577 - \$ 105.8977 = \$ 111.16

Prueba Celda SW (Grupo 2):

- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 188.974
- Ganancia Total solo celda SW: \$ 156.972 - \$ 105.897 = \$ 51.0750
- Ganancia Total: \$ 188.9748 - \$ 105.8977 = \$ 83.0771

Tabla 60: Costo/Beneficio de la prueba celda serrano SW - Grupo 1

Grupo 1 - Celda SW									
Prueba	Xantato Z-6 \$ (Kg)	Sulfato de Cobre \$ (Kg)	MIBC \$ (Kg)	Cal \$ (Kg)	Cianuro de sodio \$ (Kg)	Cont. Metalico	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN - GASTO DE PRUEBA (\$)	GANANCIA TOTAL (\$)
Estandar	\$ 0.1852	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.2855	\$ 2.3700	40.20	\$ 110.1433	\$ 105.8977	\$ -
1	\$ 0.1058	\$ 0.8580	\$ 0.0472	\$ -	\$ 0.3950	68.300	\$ 187.1425	\$ 185.7365	\$ 79.8388
	\$ 0.0265	\$ 0.1430	\$ 0.0472	\$ 0.2991	\$ 0.7900	11.908	\$ 32.6269	\$ 31.3212	\$ 111.1600
	\$ 0.1323	\$ 1.0010	\$ 0.0944	\$ 0.2991	\$ 1.1850	80.208	\$ 219.7694	\$ 217.0577	

Tabla 61: Costo/Beneficio de la prueba celda serrano SW - Grupo 2

Grupo 2 - Celda SW									
Prueba	Xantato Z-6 \$ (Kg)	Sulfato de Cobre \$ (Kg)	MIBC \$ (Kg)	Cal \$ (Kg)	Cianuro de sodio \$ (Kg)	Cont. Metalico	BENEFICIO ZN (\$)	BENEFICIO ZN - GASTO DE PRUEBA (\$)	GANANCIA TOTAL (\$)
Estandar	\$ 0.1852	\$ 1.2870	\$ 0.1180	\$ 0.2855	\$ 2.3700	40.20	\$ 110.1433	\$ 105.8977	\$ -
2	\$ 0.0858	\$ 0.8580	\$ 0.0472	\$ -	\$ 0.3950	57.795	\$ 158.3586	\$ 156.9726	\$ 51.0750
	\$ 0.0215	\$ 0.1430	\$ 0.0472	\$ 0.3263	\$ 0.7900	12.164	\$ 33.3300	\$ 32.0021	\$ 83.0771
	\$ 0.1073	\$ 1.0010	\$ 0.0944	\$ 0.3263	\$ 1.1850	69.959	\$ 191.6887	\$ 188.9748	

Del análisis económico general tanto para las pruebas de los grupos 1 y 2 se estima que se puede aumentar la rentabilidad implementando una estrategia de optimización de reactivos a través de un análisis económico exhaustivo de las pruebas correspondientes, así como de las pruebas relacionadas con la celda SW. Se ha demostrado que este enfoque aumenta significativamente la recuperación de concentrado de zinc y el valor económico, solo en la celda SW – G1 tiene un ingreso como ganancia de \$ 79.838 teniendo como concentrado final y enviando el residuo a la celda R-S se tendrá una mayor recuperación con un valor económico de \$ 111.160, lo que a su vez demuestra ser una contribución significativa a la reducción de costos.

Al considerar los datos obtenidos durante las pruebas del Grupo 1, se observó que la aplicación de medidas específicas de optimización de reactivos dio como resultado un aumento hasta del \$ 111.160 en la recuperación del concentrado de zinc en comparación con la celda SW - G2 y con el método convencional teniendo como prueba estándar, como resultado de este crecimiento, la rentabilidad mejora.

Estos datos respaldan que las técnicas de reducción de costos a través de la optimización de reactivos no solo son un medio eficaz para mejorar la recuperación del concentrado de zinc, sino que también pueden proporcionar beneficios económicos directos. Además, demuestran que la implementación de estas estrategias de optimización es una estrategia económica factible y rentable entre las tecnologías de reducción de costos industriales.

CONCLUSIONES

Las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación en la recuperación de valores de zinc en el trabajo de investigación muestra resultados significativos, ya que con las pruebas realizadas se puede concluir que las técnicas empleadas en el análisis económico, diseños de experimentos y pruebas usando la celda SW, dan resultados que la interacción del Z-6, CuSO_4 , pH y NaCN son muy influyentes para el proceso de flotación, la optimización de estos reactivos es favorable en la rentabilidad económica de la empresa, obteniendo una mayor cantidad de contenidos metálicos, calidad para la comercialización mayor del 45% y la recuperación que supera los 80%.

El consumo de reactivos influye convenientemente y especialmente en el uso controlado en base a rangos de dosificación, los resultados reflejan la recuperación del concentrado de zinc con la optimización de los reactivos en base al estándar obteniendo las más altas recuperaciones Grupo 1 (77.04% - 94.65%) y Grupo 2 (60.04% - 78.00%), en tanto a la celda SW – G1 (97.01%) y celda SW – G2 (89.87%), y con promedio de concentrado comerciable del 47.84%. Los reactivos fueron tomados en rango según el diseño experimental fraccionado y optimizados del estándar, en el caso del cianuro se da por cantidades secuenciales ya que se tiene que cuidar la selectividad del concentrado el uso excesivo no mejora la eficiencia de la flotación, en cuanto a la evaluación económica es favorable para la empresa.

La obtención de concentrado de Zinc en la primera celda SW y derivarlo como producto final contribuye satisfactoriamente en la recuperación de Zinc con un mayor % en recuperación y al darle mayor tiempo de residencia a las celdas rougher y scavenger ya que el alimento a estas celdas es con menor ley de zinc y por otro lado se evita la carga circulante, en tanto a la dosificación de reactivos y costos se reduce significativamente, aumentando la ganancia total en base al estándar.

En general el mineral es considerado relativamente dócil para la flotación, logrando valores bastante bajos del relave final (0.18 % y 0.22 %), respecto a las leyes de cabeza calculada en promedios es de (7.28 % - 8.39 %) de Zn, se obtienen concentrados comerciables en la evaluación final mayor de 47.00% Zn. Esto da margen para mejorar la recuperación del elemento a medida que se va bajando el grado del concentrado. La recuperación de zinc es alcanzable al 94.65 % manteniendo la calidad de concentrado en 49.80 % para el grupo 1, sin embargo, para la ley de cabeza es una recuperación muy considerable. La cinética de flotación es de comportamiento aceptable, logrando en el concentrado de zinc la recuperación aceptable.

RECOMENDACIONES

Se sugiere desarrollar pruebas metalúrgicas para cada campaña de minerales que ingresa a planta concentradora. Estas pruebas permiten ajustar los parámetros operativos, asegurando una adecuada recuperación de costos y rentabilidad. Lo que garantiza un enfoque continuo en la mejora y la adaptabilidad a los desafíos en constante cambio para obtener resultados que permitan pagar los costos de concentración y ganar utilidades.

Durante las pruebas experimentales es necesario mantener los equipos debidamente calibrados y libres de contaminación para obtener resultados precisos en el análisis de minerales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astucuri, V. (1994). *Introducción a la Flotación de Minerales*. Lima, Perú.
- Azañero Ortiz, A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. Lima: Editorial Colecciones Jóvic.
- Chamorro Castro, J. A. (2005). *Optimización del proceso de flotación de concentrado de zinc en la Compañía Minera "Yauliyacu" S.A. mediante diseños experimentales*. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2638/Castro_cj.pdf?sequence=1
- Elgueta, H. (Julio de 2022). *Diagnóstico del proceso de flotación: herramienta para reducir costos operacionales de la planta concentradora*. Obtenido de <https://www.mogroup.com/es/informacion/blog/mineria-y-refinacion-de-metales/diagnostico-del-proceso-de-flotacion-herramienta-para-reducir-costos-operacionales-de-la-planta-concentradora/>
- Leon Arroyo, F. J., & Dianderas Mandujano, J. D. (2019). *Efecto del porcentaje de sólidos en la flotación de la galena a partir de un mineral de bajo grado de plomo-zinc en la Compañía Minera Casapalca S.A.* Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6012/T010_70135839_T_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maldonado, M., Araya, R., & Finch, J. (Abril de 2011). Optimización del rendimiento del banco de flotación mediante perfiles de recuperación. pág. 939. Obtenido de https://www.encuentrometalurgia.com/encuentros_realizados/Material_II_Encuentro_Metalurgia/VIERNES_01_NOV_2013/SESION_2_01_NOV_2013/JAM

ES_FINCH/ADICIONAL_Optimizing_flotation_bank_performance_by_recovery_profiling.pdf

Marcos, U. N. (2013). *FLOTACION REACTIVOS*. Obtenido de <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-mayor-de-san-marcos/medicina-fisica-y-de-rehabilitacion/flotacion-reactivos-12312312/10434222>

Metso:outotec. (11 de Enero de 2021). *La importancia del proceso de flotación de minerales*. Obtenido de <https://mundominero.com.pe/la-importancia-del-proceso-de-flotacion-de-minerales-metso/>

Quilca De La Cruz, T. G. (2021). *Optimización del circuito de zinc para mejorar la recuperación y selectividad del concentrado de zinc en Minera Bateas S.A.C.* Tesis , Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6773/T010_47297641_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quiñones Ramos, L. T. (2012). *Estudio de la problemática metalúrgica de los minerales de zinc en el concentrado de la Mina Quiruvilca*. Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/555/TIMM_03.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez Mendoza, K. J. (2015). *Evaluación de la flotación de zinc en la Planta Concentradora Austria Duvaz S.A.* Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9f55f35f-a1da-40c2-9a5e-882fddb5412c/content>

Rumbo Minero Internacional. (1 de Junio de 2018). Chancado y Molienda en minería: Paso previo hacia el material fino. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/revista/informes/chancado-y-molienda-en-mineria-paso-previo-hacia-el-material-fino/>

Vera Davila, C. A. (2019). *Evaluación Del Efecto De Nuevos Reactivos Colectores Y Depresores Para Mejorar La Recuperación Del Proceso De Flotación En Los Circuitos De Plomo Y Zinc De La Planta Concentradora Antonio Raymondi*. Tesis, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ff337c99-8c07-4bc1-a80c-4058405879dd/content>

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos

Anexo 1: Muestras representativas de lotes cada bolsa contiene 1kg



Anexo 2: Realización de la prueba experimental en el laboratorio metalúrgico



Anexo 3: Realización de la prueba experimental en el laboratorio metalúrgico, secado de muestras



Anexo 4: Calculo Costo/Beneficio de las pruebas Grupo 1

Prueba estándar:

- Beneficio Zn: \$ 110.1433
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 105.897

Prueba 1 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 155.1252
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 152.7626
- Ganancia Total: \$ 152.7626 - \$ 105.8977 = \$ 46.8650

Prueba 2 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 143.7884
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 141.1282
- Ganancia Total: \$ 141.1282 - \$ 105.8977 = \$ 35.2305

Prueba 3 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 166.5442
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 163.4534
- Ganancia Total: \$ 163.4534 - \$ 105.8977 = \$ 57.5557

Prueba 4 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 179.2183
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 175.9243
- Ganancia Total: \$ 175.9243 - \$ 105.8977 = \$ 70.0267

Prueba 5 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 129.7128
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 126.9632
- Ganancia Total: \$ 126.9632 - \$ 105.8977 = \$ 21.0655

Prueba 6 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 176.2607
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$173.2807
- Ganancia Total: \$173.2807 - \$ 105.8977 = \$ 67.3830

Prueba 7 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 131.9743
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$128.6045
- Ganancia Total: \$128.6045 - \$ 105.8977 = \$ 22.7068

Prueba 8 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 188.5460
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$184.8378
- Ganancia Total: \$184.8378 - \$ 105.8977 = \$ 78.9401

Prueba 9 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 192.0154
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 189.2559
- Ganancia Total: \$ 189.2559 - \$ 105.8977 = \$ 83.3582

Prueba 10 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 201.2026
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 198.2728
- Ganancia Total: \$ 198.2728 - \$ 105.8977 = \$ 92.3751

Prueba 11 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 131.2418
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 128.1008
- Ganancia Total: \$ 128.1008 - \$ 105.8977 = \$ 22.2032

Prueba 12 Grupo 1:

- Beneficio Zn: \$ 150.8425
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 147.5448
- Ganancia Total: \$ 147.5448 - \$ 105.8977 = \$ 41.6471

Anexo 5: Calculo Costo/Beneficio de las pruebas Grupo 2

Prueba estándar:

- Beneficio Zn: \$ 110.1433
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 105.897

Prueba 1 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$ 100.3542
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 98.0116
- Ganancia Total: \$ 98.0116 - \$ 105.8977 = \$ -7.8861

Prueba 2 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$ 129.6306
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 127.0004
- Ganancia Total: \$ 127.0004 - \$ 105.8977 = \$ 21.1028

Prueba 3 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$153.6374
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 150.5666
- Ganancia Total: \$ 150.5666 - \$ 105.8977 = \$ 44.6689

Prueba 4 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$155.8519
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 152.5879
- Ganancia Total: \$ 152.5879 - \$ 105.8977 = \$ 46.6903

Prueba 5 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$134.0274
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 131.3249
- Ganancia Total: \$ 131.3249 - \$ 105.8977 = \$ 25.4273

Prueba 6 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$151.3267
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 148.3903
- Ganancia Total: \$ 148.3903 - \$ 105.8977 = \$ 42.4926

Prueba 7 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$158.8034
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 155.4128
- Ganancia Total: \$ 155.4128 - \$ 105.8977 = \$ 49.5151

Prueba 8 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$169.9027
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 166.2380
- Ganancia Total: \$ 166.2380 - \$ 105.8977 = \$ 60.3404

Prueba 9 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$123.5117
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 120.7908
- Ganancia Total: \$ 120.7908 - \$ 105.8977 = \$ 14.8931

Prueba 10 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$157.1349
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 154.1893
- Ganancia Total: \$ 154.1893 - \$ 105.8977 = \$ 48.2916

Prueba 11 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$126.2745
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 123.1722
- Ganancia Total: \$ 123.1722 - \$ 105.8977 = \$ 17.2745

Prueba 12 Grupo 2:

- Beneficio Zn: \$98.5908
- Costo beneficio Zinc – costo de consumo de reactivos: \$ 95.2502
- Ganancia Total: \$ 95.2502 - \$ 105.8977 = \$ -10.6475

Anexo 6: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA	OBJETIVO	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	METODO
GENERAL	GENERAL		GENERAL	
ESPECIFICO	ESPECIFICO		ESPECIFICO	DEPENDIENTE
¿De qué manera influye las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023?	Determinar la influencia de las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación en la recuperación de valores de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023	La investigación se basa en la necesidad de reducir los costos del área de flotación para recuperar concentrado de zinc de buena calidad. Una caída en el rendimiento del concentrado puede afectar significativamente la rentabilidad de la empresa, por lo que es un problema mayor que requiere soluciones efectivas y urgentes. La falta de estrategias adecuadas en el procesamiento ha limitado la recuperación del concentrado de zinc y ha elevado su costo de procesamiento. Esta investigación busca desarrollar técnicas para la reducción de costos y aumentar la recuperación de concentrado de Zn, mediante la identificación de las prácticas más eficientes y rentables.	Las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación influyen significativamente en la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023.	Técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación
¿De qué manera influye el consumo de reactivos en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023?	Analizar la influencia del consumo de reactivos en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación de valores de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023		El consumo de reactivos influye en las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023.	Recuperación del concentrado de Zn.
¿De qué manera influye la obtención del concentrado final en la primera celda serrano SW en las técnicas de reducción de costos para la recuperación del concentrado de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023?	Evaluar la obtención de concentrado final de Zn en la primera celda de flotación serrano SW como parte de las técnicas de reducción de costos en el proceso de flotación para la recuperación de valores de zinc en la Planta de Beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023		La obtención del concentrado final a través de la flotación de la primera celda serrano SW influye en las técnicas de reducción de costo en el proceso de flotación para la recuperación del concentrado de zinc en la planta de beneficio TLM S.A. - Ancash - 2023	

Por tener una naturaleza práctica, el presente trabajo de investigación ha utilizado el método de EXPERIMENTAL - APLICADA

Anexo 7: Tabla de distribución T-Student

α Γ	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,308	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,364	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290