

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Efecto de la molienda y dosificación de reactivo activador en la
recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación
rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Patrick Moises ZEVALLOS RODRIGUEZ

Asesor:

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

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

**Efecto de la molienda y dosificación de reactivo activador en la
recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación
rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA
MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 141-2024UNDAC/UIFI

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

Tesis:

Efecto de la molienda y dosificación de reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. ZEVALLOS RODRIGUEZ, Patrick Moises

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. BLANCO CAMPOS, Osmer Ignacio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

7 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 26 de junio del 2024



Firmado digitalmente por ME/JIA
CACERES Reynaldo FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26.06.2024 17:35:44 -05:00

DEDICATORIA

Queridos Moisés y Maribel,

En este importante capítulo de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a ambos. Vuestra inquebrantable dedicación, apoyo y amor incondicional han sido el faro que me ha guiado a lo largo de mi camino académico. Vuestra constante inspiración me ha impulsado a dar lo mejor de mí en este trabajo de tesis.

Abigail, mi compañera de vida y confidente, has sido mi roca, mi musa y mi razón para superar cada desafío. Tu amor y apoyo inquebrantables me han dado la fuerza para perseverar en este arduo viaje académico.

Hoy, este logro es un tributo a todos ustedes. Cada palabra escrita en este trabajo de tesis lleva consigo vuestro amor y sacrificio. Espero que sientan orgullo por este logro, ya que es un testimonio de cómo sus valores y enseñanzas han moldeado mi camino.

Con todo mi amor y gratitud,

EL AUTOR

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios por todas las bendiciones y capacidades que me ha brindado, las cuales me han permitido convertirme en un individuo honorable y contribuyente en la sociedad.

Deseo mostrar mi sincero reconocimiento también al Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS, por su invaluable aporte como un componente esencial y mentor en el avance de este estudio.

Quiero agradecer a mis instructores por compartir sus conocimientos y valiosas orientaciones, las cuales sin duda enriquecerán mi desempeño en mi carrera profesional.

Mi gratitud a mis docentes por compartir sus saberes y valiosas orientaciones, las cuales, sin lugar a dudas, enriquecieron mis conocimientos que influyen en mi desempeño y trayectoria profesional.

EL AUTOR

RESUMEN

La investigación actual, titulada "**Efecto de la molienda y la dosificación del reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda de flotación rouguer de zinc TC-30 N°2 en la empresa minera, Pasco 2023**", tiene como objetivo determinar el impacto de la molienda y la dosificación del reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda de flotación rouguer de zinc TC-30 N°2.

Refiere a la optimización del grado de liberación con el uso de CuSO_4 utilizando un diseño octogonal de optimización de las evaluaciones metalúrgicas realizadas con estas dos variables, cuya acción principal es maximizar la recuperación de zinc y plata, minimizando la activación de hierro y desplazando el zinc al relave final en la etapa de flotación de zinc, utilizando el relave de la celda TC-30 N° 2 como punto de remolienda, con el objetivo principal de obtener una optimización del grado de liberación y el consumo de CuSO_4 , en la etapa de flotación los resultados de su significancia (porcentaje de recuperación Ag, Zn y el desplazamiento de zinc al relave).

El estudio tiene consistencia estadística, lo que nos permite evaluar las ecuaciones para valores tentativos. En la etapa de la cinética de flotación, las recuperaciones de Ag y Zn serán del 50,03% y 67,35%, respectivamente. En este caso, el grado de liberación será del 66,73% -m200 y el consumo de CuSO_4 será de 63,05 g/Tn, lo que representa las condiciones ideales para los valores deseados.

Como resultado, de acuerdo con la evaluación estadística realizada, se cumplen los objetivos de recuperación de zinc, ya que las dos variables tienen un impacto significativo en la recuperación de zinc, con la molienda opima del 66,7% en malla 200 y el consumo de sulfato de cobre de 63 gramos por metro cúbico, lo que resulta en una recuperación del 53,31%, un aumento del 1,79%.

Palabras clave: molienda, dosificación, reactivo activador, recuperación flotación.

ABSTRACT

The current research, titled "Effect of grinding and dosage of the activating reagent on the recovery of zinc in the zinc rougher flotation cell TC-30 N°2 at the mining company, Pasco 2023", aims to determine the impact of the grinding and dosage of the activating reagent in the recovery of zinc in the rougher zinc flotation cell TC-30 N°2.

Refers to the optimization of the degree of release with the use of CuSO_4 using an octagonal design to optimize the metallurgical evaluations carried out with these two variables, whose main action is to maximize the recovery of silver and iron, minimizing the recovery of iron and displacing zinc. to the final tailing in the zinc flotation stage, using the tailings of the TC-30 cell No. 2 as a grinding point, with the main objective of obtaining an optimization of the degree of release and consumption of CuSO_4 , in the stage of flotation results of their significance (percentage of recovery of Ag, Zn and the displacement of zinc to the tailings).

The study has statistical consistency, which allows us to evaluate the equations for tentative values. In the flotation kinetics stage, the recoveries of Ag and Zn will be 50,03% and 67,35%, respectively. In this case, the degree of release will be 66,73% -m200 and the consumption of CuSO_4 will be 63,05 g/Tn, which represents the ideal conditions for the desired values.

As a result, according to the statistical evaluation carried out, the zinc recovery objectives are met, since the two variables have a significant impact on the recovery of zinc, with the opima grinding of 66,7% in 200 mesh and the consumption of sulfate of copper of 63 grams per cubic meter, resulting in a recovery of 53,31%, an increase of 1,79%.

Keywords: grinding, dosing, activating reagent, flotation recovery.

INTRODUCCIÓN

El propósito de la remolienda de zinc es mejorar la flotabilidad de los valores de zinc, que son gruesos y tienen una cinética de flotación muy lenta y se pierden con frecuencia en las fracciones gruesas de los relaves finales.

Por esta razón, es necesario obtener una optimización del grado de liberación y el consumo de CuSO_4 en la etapa de flotación en función de los resultados de la cinética de flotación de zinc y determinar su importancia en la función de respuesta (porcentaje de recuperación de plata, zinc, hierro y desplazamiento de zinc al relave).

El presente trabajo está dividido en cuatro capítulos siguientes:

En el capítulo I, presenta el problema de investigación, buscando identificar y determinar su planteamiento, así como sus objetivos, importancia y alcance.

En el capítulo II, presenta una descripción general del marco teórico, las bases científicas, la formulación de hipótesis y la operacionalización de variables e indicadores. También incluye los antecedentes del estudio, las teorías y los fundamentos del estudio.

En el capítulo III, presenta una descripción general de metodología y técnicas de investigación y recolección de datos

En el capítulo IV, presenta los resultados de la investigación, el tratamiento estadístico e interpretación de datos, demostración de hipótesis, discusión de resultados.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.	2
1.2.1.	Delimitación geográfica	2
1.2.2.	Delimitación de la población	2
1.2.3.	Delimitación de tiempo.....	2
1.3.	Formulación del problema	2
1.3.1.	Problema general	2
1.3.2.	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
2.1.1.	Internacional.....	5

2.1.2. Nacional.....	8
2.1.3. Local	10
2.2. Bases teóricas – científicas.....	11
2.2.1. Minerales sulfurados de Zinc.....	11
2.2.2. Flotación de minerales.....	12
2.2.3. Mecanismos de flotación de minerales	13
2.2.4. Dosificación de reactivos de flotación.....	14
2.2.5. Etapas de flotación en circuitos de flotación.....	14
2.2.6. Reactivos de Flotación.....	15
2.2.7. Regulador de PH.....	18
2.2.8. Importancia de las variables en flotación de minerales.....	18
2.2.9. Exceso de reactivos.....	19
2.2.10. Adición mínima o precaria de reactivos	19
2.3. Definición de términos básicos.	20
2.4. Formulación de hipótesis	21
2.4.1. Hipótesis general.....	21
2.4.2. Hipótesis específicas.....	21
2.5. Identificación de variables.....	21
2.5.1. Variables independientes.....	21
2.5.2. Variables dependientes	22
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	22

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	23
3.2. Nivel de investigación	23
3.3. Métodos de investigación	24
3.4. Diseño de investigación.....	25
3.5. Población y muestra	25

3.5.1. Población.....	25
3.5.2. Muestra.....	25
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación. .	26
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	27
3.9. Tratamiento estadístico.....	27
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	27

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	29
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	31
4.2.1. Identificación del mineral.....	31
4.2.2. Pruebas de cinética de flotación Zinc	31
4.3. Prueba de hipótesis	67
4.4. Discusión de resultados.....	69

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	22
Tabla 2. Ensayes Químicos	31
Tabla 3. Diseño Octagonal	32
Tabla 4. Prueba Metalúrgica 01	32
Tabla 5. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 01	33
Tabla 6. Prueba Metalúrgica 02.....	33
Tabla 7. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 02.....	33
Tabla 8. Prueba Metalúrgica 03.....	34
Tabla 9. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 03.....	34
Tabla 10. Prueba Metalúrgica 04.....	34
Tabla 11. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 04.....	35
Tabla 12. Prueba Metalúrgica 05.....	35
Tabla 13. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 05.....	35
Tabla 14. Prueba Metalúrgica 06.....	36
Tabla 15. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 06.....	36
Tabla 16. Prueba Metalúrgica 07.....	36
Tabla 17. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 07.....	37
Tabla 18. Prueba Metalúrgica 08.....	37
Tabla 19. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 08.....	37
Tabla 20. Prueba Metalúrgica 09.....	38
Tabla 21. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 09.....	38
Tabla 22. Prueba Metalúrgica 10.....	38
Tabla 23. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 10.....	39
Tabla 24. Respuesta % Recuperación Ag - Zn.....	39
Tabla 25. Análisis de Varianza para Recuperación Ag	40
Tabla 26. Coeficiente de Regresión para Recuperación Ag.....	41

Tabla 27. Análisis de Varianza para Recuperación Zn	41
Tabla 28. Coeficiente de Regresión para Recuperación Zn.....	42
Tabla 29. Análisis de Varianza para Recuperación Fe	42
Tabla 30. Coeficiente de Regresión para Recuperación Fe.....	43
Tabla 31. Análisis de Varianza para Grado Zn Rlv	43
Tabla 32. Coeficiente de Regresión para Grado Zn Rlv.....	43
Tabla 33. Valores de Respuesta y óptimo	44
Tabla 34. Factores Establecidos y Óptimo.....	44
Tabla 35. Análisis de resultados de experimento.....	44
Tabla 36. Cinética de Flotación – Relave TC-30 N°2 sin Remolienda.....	53
Tabla 37. Cinética de Flotación – Relave TC-30 N°2 con Remolienda	54
Tabla 38. Cinética de Flotación – Cabeza de Zinc sin Remolienda	57
Tabla 39. Cinética de Flotación – Cabeza de Zinc con Remolienda	58
Tabla 40. Cinética de Flotación – Relave WS-300 sin Remolienda	61
Tabla 41. Cinética de Flotación – Relave WS-300 con Remolienda	62
Tabla 42. Balance Proyectado sin Remolienda – Cabeza de Zinc.....	63
Tabla 43. Balance Proyectado con Remolienda – Cabeza de Zinc.....	63
Tabla 44. Balance Proyectado sin Remolienda – Relave Celda WS-300.....	63
Tabla 45. Balance Proyectado con Remolienda – Relave Celda WS-300	64
Tabla 46. Balance Proyectado sin Remolienda – Relave Celda TC-30 N° 2.....	64
Tabla 47. Balance Proyectado con Remolienda – Relave Celda TC-30 N° 2.....	64
Tabla 48. Flotación Batch – Relave TC-30 N°2 sin Remolienda	65
Tabla 49. Flotación Batch – Relave TC-30 N°2 con Remolienda.....	65
Tabla 50. Flotación Batch – Cabeza de Zinc sin Remolienda	66
Tabla 51. Flotación Batch – Cabeza de Zinc con Remolienda.....	66
Tabla 52. Flotación Batch – Relave WS-300 sin Remolienda	67
Tabla 53. Flotación Batch – Relave WS-300 con Remolienda.....	67
Tabla 54. Respuesta % Recuperación Ag - Zn.....	68

Tabla 55. Valores de Respuesta y Óptimo.....	68
Tabla 56. Factores Establecidos y Óptimo.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización	30
Figura 2. Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación Ag.....	45
Figura 3. Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación Zn.....	45
Figura 4. Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación Fe.....	45
Figura 5. Diagrama de Pareto Estandarizada para Grado Zn Rlv.....	46
Figura 6. Gráfica de Efectos Principales para Recuperación Ag	46
Figura 7. Gráfica de Efectos Principales para Recuperación Zn.....	46
Figura 8. Gráfica de Efectos Principales para Recuperación Fe.....	47
Figura 9. Gráfica de Efectos Principales para Grado Zn Rlv	47
Figura 10. Gráfica de Interacción para Recuperación Ag	47
Figura 11. Gráfica de Interacción para Recuperación Zn	48
Figura 12. Gráfica de Interacción para Recuperación Fe	48
Figura 13. Gráfica de Interacción para Grado Zn Rlv	48
Figura 14. Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Ag.....	49
Figura 15. Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Zn.....	49
Figura 16. Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Fe.....	49
Figura 17. Superficie de Respuesta Estimada para Grado Zn Rlv.....	50
Figura 18. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Ag ..	50
Figura 19. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Zn ..	50
Figura 20. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Fe ..	51
Figura 21. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Grado Zn Rlv	51
Figura 22. Cinética de Flotación de Plata con Diferente Granulometría	52
Figura 23. Cinética de Flotación de Zinc con Diferente Granulometría.....	52
Figura 24. Cinética de Flotación de Hierro con Diferente Granulometría.....	53
Figura 25. Cinética de Flotación de Plata con Diferente Granulometría	55
Figura 26. Cinética de Flotación de Zinc con Diferente Granulometría.....	56

Figura 27. Cinética de Flotación de Hierro con Diferente Granulometría.....	56
Figura 28. Cinética de Flotación de Plata con Diferente Granulometría	59
Figura 29. Cinética de Flotación de Zinc con Diferente Granulometría.....	60
Figura 30. Cinética de Flotación de Hierro con Diferente Granulometría.....	60

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En la planta metalúrgica Huarón, la empresa Pan American Silver Huarón S.A. procesa los minerales extraídos de sus yacimientos para su tratamiento, lo que da como resultado un concentrado de zinc con contenidos de plata y desechos proporcionados por los relaves.

El producto de la molienda alimentación primaria de las celdas de flotación es un producto que juega un papel importante en la flotabilidad y la cinética de flotación porque, si no se cumple con la granulometría adecuada, la recuperación es baja y los contenidos valiosos terminarán en los depósitos de relave.

Sin embargo, para encontrar los parámetros ideales para estas variables, el grado de molienda y la dosificación de sulfato de cobre serán investigados para mejorar los porcentajes de recuperación de zinc con contenido de plata, generando mayores ganancias.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación geográfica

Los trabajos y actividades a realizarse vendrán a ser desarrollado en el laboratorio químico - metalúrgico de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión – Cerro de Pasco – Pasco.

1.2.2. Delimitación de la población

La población es el mineral alimentado de la celda TC-30 N° 02 de la flotación rougher de zinc de la planta concentradora Huarón, Pan American Silver Huarón S.A.

1.2.3. Delimitación de tiempo

El proyecto de investigación se llevará en un lapso de periodo de tiempo de 7 meses que se inicia el 3 de abril del 2023 hasta el 31 de octubre del 2023. Para la realización de esta investigación se elaboró un cronograma de actividades.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo afecta la molienda y la dosificación del reactivo activador la recuperación de zinc en la celda de flotación de rougher de zinc TC-30 N°2 de una empresa minera en Pasco de 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el impacto del grado de molienda en la recuperación de zinc de una empresa minera en la celda de flotación de rougher de zinc TC-30 N°2?.
- ¿Cuál es el impacto de la dosificación de sulfato de cobre en la recuperación de zinc de la empresa minera en la celda de flotación de rougher de zinc TC-30 N°2?.

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar cómo la molienda y la dosificación del reactivo activador afectan la recuperación de zinc en la celda de flotación de rouguer de zinc TC-30 N°2 de una empresa minera, Pasco 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar cómo la molienda y la dosificación del reactivo activador afectan la recuperación de zinc en la celda de flotación de rouguer de zinc TC-30 N°2 de una empresa minera, Pasco 2023.
- Determinar cómo la dosificación de sulfato de cobre afecta la recuperación de zinc en la celda de flotación de rouguer de zinc TC-30 N°2 de una empresa minera, Pasco 2023.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

El objetivo de la remolienda de zinc es aumentar la capacidad de los componentes de zinc, que, debido a su tamaño grueso, tienen una velocidad de flotación muy baja. Estos componentes suelen ser arrastrados en las fracciones más grandes de los desechos finales, lo que provoca su pérdida.

1.5.2. Justificación práctica

El laboratorio químico metalúrgico realiza flotación en serie para investigar cómo el grado de molienda y la dosificación de sulfato de cobre afectan la recuperación de zinc.

1.5.3. Justificación metodológica

El enfoque es la investigación cuantitativa aplicada a la tecnología, con un nivel explicativo y un diseño explicativo. En lo que respecta a la población, se trata del mineral alimentado de la celda TC-30 N°02 de la flotación de zinc Rougher, proporcionada por Pan American Silver Huarón S.A.

1.6. Limitaciones de la investigación

Los proyectos de investigación tienen limitaciones debido a la falta de bibliografía tanto física como digital.

Así mismo, instalaciones de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión no ofrecen las condiciones adecuadas para llevar a cabo una investigación de calidad.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Internacional

(Calle Romero, 2023) en estudio de investigación titulado “Obtención de sulfuros de zinc de una mena polimetálica mediante flotación selectiva en la mina Cristian David, Pasaje - El Oro” estudió el comportamiento de una mena polimetálica probando la efectividad de la flotación selectiva aplicada a la recuperación de la esfalerita (sulfuro de zinc) y franklinita (óxido de zinc). Inicialmente, se llevaron a cabo análisis mineralógicos previos, incluyendo la conminución y caracterización del material, obteniendo partículas muy finas, lo cual favoreció el estudio en el laboratorio químico-mineralógico.

Todo esto fue necesario para cumplir con las especificaciones metodológicas del experimento. Primero, se determinó el tamaño de partícula, con un pasante en malla #200. Posteriormente, se acondicionó el medio (pulpa acuosa) para que, a través de procesos físico-químicos, se desarrollara el fenómeno de hidrofobización selectiva mediante la aplicación de colectores, activantes y espumantes. Esto permitió flotar selectivamente el mineral de interés,

que se concentró en la superficie de la celda gracias a la inyección de burbujas de aire.

El estudio también consideró variables críticas como el pH, la concentración de reactivos y el tiempo de acondicionamiento, optimizando así el proceso para obtener una mayor recuperación de zinc. La experimentación y el análisis detallado en laboratorio permitieron ajustar los parámetros y obtener resultados replicables, contribuyendo a la eficiencia del proceso de flotación y a la reducción de costos operativos en la planta concentradora. De esta manera, se espera que los hallazgos de este trabajo puedan ser aplicados a escala industrial, mejorando tanto la productividad como la sostenibilidad ambiental de la operación minera.

(Valdiviezo Torres, 2013) en su investigación titulado “Efecto del tamaño de grano, pH y tipo de colectores en la flotabilidad del mineral de Skarn Aurífero de los Condominios Norte y Sur, del yacimiento minero Nambija” aclara que la minería artesanal en el yacimiento de Nambija, ubicado en el sur de Ecuador, desecha relaves con leyes de oro de importancia económica debido a procedimientos inadecuados de explotación. Estos relaves de las plantas artesanales fueron sometidos al proceso de flotación para recuperar el oro perdido. El objetivo fue mejorar las concentraciones de oro y optimizar la tasa de recuperación del mineral skarn de los Condominios Norte y Sur del distrito minero Nambija. Para ello, se determinó el tamaño de grano adecuado y se variaron los niveles de pH para establecer si la recuperación era mayor en un medio ácido, básico o neutro. Finalmente, se buscó el colector que permitiera obtener la tasa más alta de rendimiento.

Los resultados obtenidos fueron significativos: utilizando un tamaño de grano de 63 μm , un pH de 10.5, y el colector Aerofloat 25-31, el Condominio Norte alcanzó un porcentaje de recuperación final de 89.39%. Por otro lado, el Condominio Sur, con un tamaño de grano de 75 μm , el mismo pH de 10.5, y

utilizando también Aerofloat 25-31 como colector, logró una recuperación final de 95.16%.

Además de estos resultados, se realizaron pruebas adicionales para evaluar la influencia de otros factores, como el tiempo de acondicionamiento y la velocidad de agitación, con el objetivo de maximizar la eficiencia del proceso. Estos estudios contribuyen a la mejora de las prácticas mineras artesanales, promoviendo un uso más sostenible y eficiente de los recursos minerales y reduciendo el impacto ambiental negativo asociado con los relaves mal gestionados.

(Medina Toledo, 2023) en su estudio intitulado “Análisis comparativos de flotación y cianuración en la recuperación de oro de material de mina San Juan, en el cantón y parroquia Portovelo, provincia El Oro” tiene como objetivo comparar el rendimiento de recuperación de oro mediante dos procesos metalúrgicos: flotación y cianuración. Se buscó establecer cuál de estos procesos es el más eficiente. Para la flotación, se definieron parámetros de operación como el tamaño de partícula de 72 μm , un porcentaje de sólidos del 33%, el uso de espumante, depresor, y varios colectores, variando el pH entre 9 y 11. En la cianuración, las condiciones de operación incluyeron una concentración de cianuro de 1 gr/L, una variación del pH entre 9 y 11, y una dilución de la pulpa de 2:1.

Tras realizar los ensayos metalúrgicos bajo las condiciones de operación establecidas y calcular los balances metalúrgicos y porcentajes de recuperación de oro, se comprobó que el proceso más eficiente para la recuperación de oro es la flotación, con un porcentaje de recuperación de Au del 93,5% en la prueba 3. Los parámetros operacionales en esta prueba incluyeron la dosificación de reactivos: 75 g/T de Z-6 como colector primario, 100 g/T de A-404 como colector secundario, 75 g/T de GP-88-OIL como espumante, y 250 g/t de silicato de sodio (Na_2SiO_3) como depresor. El pH se mantuvo en 10,5 y la duración total de la operación fue de 29 minutos.

Además de estos resultados, se realizaron ajustes adicionales en la dosificación de reactivos y el tiempo de flotación para optimizar aún más el proceso. Se exploraron alternativas en la cianuración, como la variación de la concentración de cianuro y la relación de dilución, para evaluar su impacto en la eficiencia de recuperación. Estas pruebas complementarias contribuyeron a un mejor entendimiento de los factores que influyen en la recuperación de oro, proporcionando una base sólida para futuras mejoras en los procesos metalúrgicos aplicados en la industria minera

2.1.2. Nacional

(Sebastian, 2019) su proyecto de investigación “Flotación del Zn marmatita con alto contenido de pirrotita” realizado en Compañía Minera Shuntur S.A.C. donde se presenta como mineral el zinc marmatita con alto contenido de Pirrotita donde se debe tratar de dar oportunidad suficiente para una buena recuperación de Zn, por lo que este tipo de mineral no es muy común en las minas peruanas, en la mayoría de las minas la ganga es generalmente PIRITA y no Pirotitita, se escapó de la metalurgia. Por estas razones, se mencionaron los parámetros de flotación que se utilizan con frecuencia en las concentradoras. Las celdas de flotación de zinc, es decir, a niveles bajos de concentración de zinc, se activaron en el concentrado de zinc en el concentrado de Cu gracias a la utilización de una malla de separación muy fina. Para solucionar esta deficiencia, se realizó un análisis e investigación del proyecto, que sirvió como base para el estudio monográfico "Pirrotita reto metalúrgico", que trata sobre cómo maximizar la flotabilidad de Zn en marmatita con alto contenido de pirrotita, tener en cuenta la producción de concentrado de Zn, reducir la cantidad de hierro y establecer leyes que se ajusten al mercado de concentrado de ZnSe descubrió que el porcentaje ideal de malla de separación debe estar entre 53 y 56 por ciento para liberar suficiente mineral, lo que reduce el contenido de lodo en la pulpa. Además, para filtrar material fino demasiado y para flotar en almacenamiento alcalino, el

porcentaje ideal de malla de separación debe estar entre 63 y 67 por ciento. En este estudio, se logró un aumento en la recuperación cuando se lograron 46 y 48 por ciento de zinc en una concentración con un contenido.

(Paucar, 2020) en su tesis “Optimización en la recuperación de zinc de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú – Huancavelica. En su estudio de investigación, se hace referencia al propósito principal de mejorar la eficiencia de la recuperación de zinc en la segunda fase de flotación de minerales polimetálicos llevada a cabo por la compañía Mines and Metals Trading Perú, que normalmente alcanza un promedio anual de recuperación de zinc del 82%.

Se extrajeron las muestras de la planta concentradora Recuperada, con un muestreo de mineral fresco procedente de la faja N°01 que abastece a la molienda primaria, y se obtuvieron las muestras de pulpa de las colas de flotación Bulk Pb/Ag. En el proceso de investigación, se llevaron a cabo pruebas preliminares de flotación con el objetivo de identificar las variables independientes que ejercen la mayor influencia en la recuperación de zinc, utilizando el software estadístico MINITAB. En la etapa inicial de flotación, se basó en las dosificaciones de acuerdo con el historial del proceso de la planta concentradora Recuperada. Para identificar las variables de mayor relevancia, se utilizó el análisis T-student del programa estadístico MINITAB, y la variable más significativa resultó ser el tiempo de remolienda en minutos, seguido del sulfato de cobre en g por tonelada métrica. Con el propósito de cumplir con el objetivo de mejorar la recuperación de zinc, se llevó a cabo un proceso de optimización empleando un diseño hexagonal y se realizó un análisis estadístico con el software Minitab, lo que permitió la creación de un modelo de ecuación cuadrática. Realicé las derivadas parciales utilizando el modelo obtenido para encontrar los valores máximos de cada variable. El valor máximo de sulfato de cobre fue de 351.06 g/TM, con un tiempo de remolienda de 5.06 minutos y una recuperación máxima del 88%. Se realizan

pruebas metalúrgicas con mineral fresco con los valores más altos de las variables y se obtiene una recuperación de zinc del 87.70%.

2.1.3. Local

(Cortez Marcelo, 2019) en su tesis intitulado “Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía Minera Volcan S.A.A.- 2019” menciona que el pH y las aguas ácidas en los relaves de las plantas concentradoras de tratamiento de minerales es un aspecto poco tratado, pero de suma importancia para el desarrollo de la minería en nuestro país. Implementar un proceso de flotación de zinc sin el uso de cal (CaO) busca evitar el envío de aguas residuales con alta alcalinidad al relave, ya que estas presentan una alta concentración de pH, oscilando entre 10,80 y 11,50. El objetivo es mantener los efluentes mineros dentro de los parámetros ambientales, con un pH igual o menor a 9,00, evitando así la contaminación de ríos y lagos cercanos y reduciendo los conflictos sociales con las comunidades aledañas. Además, esta medida permitiría reducir costos en el proceso, disminuir la exposición del personal a la manipulación de cal viva, reducir la fiscalización de insumos y mantener o mejorar la calidad del concentrado de zinc.

Esta investigación se enfoca en proponer una solución al problema principal mencionado, aportando una respuesta a una cuestión cada vez más crítica en las empresas mineras. Asimismo, busca contribuir a la preservación del medio ambiente, promoviendo una minería menos contaminante y más responsable en sus procesos. A través de la implementación de estos cambios, se espera no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también fortalecer el compromiso de la industria minera con la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades y ecosistemas circundantes.

(Condor Salvador & Huaman Esteban, 2021) en su tesis intitulado “Evaluación Metalúrgica para Elegir el Colector Optimo en la Flotación de Zinc en

Minerales Polimetálicos en la Unidad Minera Alpamarca” tuvo como objetivo principal la introducción de un nuevo colector específico en la flotación de la esfalerita, lo que permitió eliminar el uso de cal, así como los colectores primarios y secundarios como el Xantato Z-11, el DSP-009 y el AR-1242, previamente utilizados en la flotación de zinc en la planta concentradora de Alpamarca, perteneciente a la Compañía Minera Alpamarca S.A.C., ubicada en el Distrito de Santa Barbara de Carhuacayan, Provincia de Yauli, departamento de Junín. Este yacimiento polimetálico contiene vetas de plomo, zinc, plata y cobre, y está conformado por el tajo abierto Alpamarca, la mina subterránea Río Pallanga y Alpamarca Norte. Alpamarca tiene como objetivo tratar y superar las 2,500 TMSD.

El problema principal residía en las bajas recuperaciones y bajas leyes del zinc en el concentrado, a pesar de que el zinc es el mineral con mayor ley en el mineral de cabeza. Analizando la estadística de los tratamientos anteriores, se decidió realizar pruebas experimentales para evaluar los colectores más adecuados y eliminar el uso de cal. Este cambio se basaba en la inclusión de un colector específico para flotar los minerales de zinc, que proporciona una mayor selectividad entre el mineral de zinc y las gangas presentes.

Se realizaron diferentes pruebas evaluando distintos consumos de los reactivos utilizados en el proceso, obteniendo los parámetros de consumo del reactivo Flottec, sulfato de cobre pentahidratado y espumante. Esto permitió identificar el reactivo de reemplazo ideal con una mayor capacidad de obtención de concentrado y recuperación del zinc, eliminando así el consumo de cal y reduciendo el pH de salida en la flotación del zinc.

2.2. Bases teóricas – científicas.

2.2.1. Minerales sulfurados de Zinc

Los minerales que contienen sulfuros de zinc se denominan minerales sulfurados de zinc. La esfalerita (ZnS) generalmente se encuentra junto con la galena en la mayoría de los procesos que involucran zinc, y también a menudo

se asocia con sulfuros de hierro y cobre. Los minerales de plomo-zinc también pueden contener pirita y pirrotita, entre otros sulfuros. Algunas minas han realizado evaluaciones metalúrgicas de minerales sulfurados de plomo y zinc. Los minerales polimetálicos sulfurados de plomo, cobre y zinc se separan con frecuencia mediante flotación selectiva.

La galena, la esfalerita, la marmatita, la cerusita, la anglesita y la smithsonita son los minerales de plomo y zinc más comunes. Además, se realizan ensayos de laboratorio con minerales que contienen plomo y zinc en forma de sulfuros, incluida la plata, para determinar el diagrama de procesamiento más adecuado. Los minerales que se encuentran con mayor frecuencia en los yacimientos de plomo, plata y zinc son los sulfuros, seguidos por los silicatos. Los sulfuros de pirita y pirrotita, que se encuentran con frecuencia en los minerales de plomo y zinc, se consideran materiales inútiles. Se han estudiado los minerales de cobre, plomo y zinc que no presentan dificultad durante la flotación de minerales polimetálicos sulfurados de plomo, cobre y zinc.

2.2.2. Flotación de minerales

La flotación de espuma es relativamente antigua, pero se considera un proceso clásico solo en el siglo XIX. Pero como todos los demás procesos, tiene una historia de varios siglos. En el siglo XV, los árabes mezclaban la azurita con resinas fundidas para impregnar el mineral, mientras que, en los comienzos del 1900, Australia e Italia emplearon un gas como medio flotante. Hace 50 años, Harris y Fischback encontraron al Dialkil-tionocarbamato bajo como colectores. Con el paso de los años, se ha descubierto y mejorado el proceso de flotación con reactivos cada vez más efectivos para los diferentes minerales que se pretende flotar.

La flotación por espumas es un proceso químico mineralógico-cinético que extrae minerales valiosos mediante la unión selectiva de burbujas de aire y partículas de minerales de alto valor. El mineral se divide en dos partes en un

escenario ideal de concentración de minerales: una concentrada que contiene los componentes útiles o valiosos enriquecidos y los desechos que albergan los minerales que forman las rocas. Sin embargo, la estabilidad de la burbuja depende del agente espumante agregado durante el proceso de formación de espuma. El proceso de espumado se realiza en una celda de flotación (Abarca Rodríguez, 2011).

2.2.3. Mecanismos de flotación de minerales

Las características hidrofílicas e hidrofóbicas de los sólidos que se desintegran son la base del proceso de formación de espuma. El tema principal es cómo los sólidos interactúan con el agua, o el fenómeno de la humectabilidad de los sólidos. Los metales primarios, los sulfuros metálicos y otros materiales, como el grafito, el carbón bituminoso y el talco, exhiben este fenómeno. Los minerales hidrofóbicos naturales son aquellos que se mojan en el agua. Los minerales como los óxidos, los sulfatos, los silicatos, los carbonatos y otros son hidrofílicos, lo que significa que el agua puede humedecerlos. Además, los minerales hidrófobos son aerofílicos, lo que significa que tienen una gran afinidad por las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrófobos son aerofóbicos, lo que significa que normalmente no se adhieren a las burbujas de aire.

- Minerales hidrofílicos son aquellos que tienen afinidad por el agua y, en este grupo, se incluyen óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros minerales, que generalmente conforman la mayor parte de los minerales inútiles. Su afinidad por el agua les permite mantenerse en suspensión en la pulpa y, finalmente, sedimentarse.
- Minerales hidrofóbicos son aquellos que, a diferencia de los hidrofílicos, no se mojan o se humedecen de manera limitada en su interior. Este grupo incluye metales naturales, sulfuros metálicos, y minerales como el grafito, el carbono, el talco, entre otros. La característica hidrofóbica de estos minerales

evita que las partículas minerales se mojen y, por lo tanto, se adhieran a las burbujas, lo que facilita su flotación.

El mineral se encuentra en la superficie de su composición química sin ser afectado fisicoquímicamente, nunca como lo indica su fórmula química. Muchas veces, la partícula mineral puede contener impurezas de otros minerales, también conocidos como partículas compuestas, que impiden que se libere. En lo que respecta a los defectos de partículas, se trata de grietas, roturas o fracturas que suelen ocurrir durante el proceso de molienda o que son muy comunes en los cristales. Se cree que las grietas en el cristal causan fuerzas desequilibradas en el mineral, particularmente en el mineral.

2.2.4. Dosificación de reactivos de flotación

La flotación utiliza una variedad de reactivos químicos, que se dividen en categorías como colectores, espumantes y modificadores. El pretratamiento de estos reactivos antes del proceso de flotación es necesario, lo cual es crucial porque debe ser considerado.

Es necesario un tiempo de procesamiento para que los reactivos espumantes estén en contacto con la masa. En algunos casos, el procesamiento se lleva a cabo agregando reactivos en el paso de molienda para obtener un mayor contacto con el mineral, mientras que otros se agregan directamente a la caja descarga de un molino de bolas o trituradora.

Las sustancias orgánicas se utilizan en colectores y espumantes generalmente en dosis de 1 a 1000 g/t de adición química; se clasifican como surfactantes, es decir, una molécula divalente con un grupo polar y un grupo no polar. Un grupo polar representa una parte de la hidrofilia de una molécula y tiene un momento dipolar constante. Un grupo no polar representa la parte hidrófoba de la molécula y no tiene un dipolo permanente. (Novoa Delgado & Vargas Espinoza, 2013)

2.2.5. Etapas de flotación en circuitos de flotación

a) Etapa Rougher

A veces llamado flotación de desbaste, Este proceso sacrifica la selectividad, pero recupera una gran cantidad de partículas valiosas. Es importante recordar que el concentrado obtenido en la etapa Rougher no es el producto final, por lo que necesita una etapa adicional de limpieza.

b) Etapas Cleaner:

Incluso a expensas de recuperaciones precarias, su objetivo es obtener un concentrado de alta calidad. Este flujo generalmente se agota porque, en las etapas más crudas, los restos suelen contener una parte del mineral valioso que todavía se puede utilizar.

c) Etapa Scavenger:

Este paso recopila la última parte del mineral valioso que puede ser utilizada; los restos son los últimos. La cola de purificación y concentración de la fase Scavenger se bombean a una alimentación de fase más gruesa.

2.2.6. Reactivos de Flotación

Estos químicos humedecen o suprimen los sulfuros valiosos para aislarlos, reduciendo lo insoluble y no fértil. Podemos seleccionar elementos valiosos de los concentrados apropiados utilizando reactivos. Los espumantes desempeñan un papel crucial en este proceso. Los minerales valiosos se pueden extraer de las celdas de flotación si se los incorpora al sistema. Debido a varios problemas técnicos que surgen durante el proceso, la aplicación adecuada de estos reactivos no siempre es una tarea sencilla. El rendimiento de los reactivos en flotación, ya sean colectores o espumantes, depende mucho de la composición del mineral y la composición mineralógica. Los reactivos utilizados para regular el proceso se denominan agentes flotantes. La elección y combinación adecuadas para cada tipo de mineral es el principal problema del metalúrgico responsable de la operación.

a) Colectores de flotación

Son compuestos orgánicos que tienen moléculas con grupos polares y no polares, un anión o un catión. Los grupos polares permiten que los iones colectores se adsorben a las superficies polares de los minerales. En cambio, el grupo no polar o los hidrocarburos se orientan hacia la fase acuosa, lo que hace que el mineral sea hidrofóbico. formando películas hidrofóbicas de hidrocarburos sobre las superficies de los minerales. El xantato es uno de los colectores más conocidos y variados. Los xantatos incluyen el isopropílico de sodio Z-11, el amílico de potasio Z-6, el etílico de potasio Z-3, el etílico de sodio Z-4, el butílico secundario de sodio Z-12, el isobutílico de sodio Z-14 y otros.

b) Modificadores

Los reactivos modificadores modifican la superficie de los minerales. En general, la adsorción o desorción de ciertos reactivos crean condiciones favorables para la pulpa, lograr una levitación satisfactoria, es decir, alterar o modificar la superficie del sulfuro o la ganga para fomentarlo o evitarlo. Algunos de los modificadores o medios que se presentan actúan sobre ellos para evitar que floten. Varios reguladores se utilizan para la flotación. Los términos del reglamento se aplican generalmente a todos los reactivos a continuación. La recolección no requiere esfuerzos adicionales.

c) Depresores

Como su nombre lo indica, se trata de reducir o evitar la flotabilidad de lo que no se desea flotar, aumentando su superficie hidrofílica o evitando la adsorción de colectores que pueden hidrofobizarlo. El bisulfito de sodio, que es un depresor para los sulfuros de zinc y hierro, y el sulfato de zinc heptahidratado, que es otro reactivo regulador principal de la acción depresora, y el cianuro de sodio, que es muy utilizado para deprimir el sulfuro de hierro, la pirita y la pirrotita, son los depresores más conocidos y aún utilizados. La cal es otro depresor que deprime la pirita y los sulfuros de hierro

como el cianuro de sodio, pero también deprime algunos minerales de cobre. Estos son los más comunes, pero hay otros.

d) Activadores

Al mejorar o facilitar la adsorción de un colector, estos compuestos aumentan la capacidad de flotación de un mineral específico. Sin embargo, la capacidad de flotación de minerales oxidados o deprimidos se recupera mediante el uso de reactivos reactivadores. Los reactivos activantes están destinados a fortalecer la unión de los colectores a la superficie mineral a aumentar la interacción entre la superficie mineral y el colector. Por lo tanto, su acción es diferente a la de los depresores.

El sulfato de cobre, que se presenta como sulfato de cobre pentahidratado, se forma en un sistema triclinico en forma de cristales azules brillantes asimétricos con una densidad de 2.28 g/ml. Este compuesto activa minerales como la esfalerita, la pirita, la calcopirita, la pirotita, la arsenopirita y el cuarzo. El bisulfito de sodio es otro ejemplo, que cuando se encuentra en concentraciones superiores al 10% controla de manera efectiva la activación del zinc y actúa como un depresor de la esfalerita. El acetato de plomo o nitrato de plomo se utiliza para activar la estibina y reactivar los sulfuros de cobre que se habían deprimido con cianuro. También actúa como activador en minerales carbonatos y silicatos. Finalmente, sulfuro de Sodio actúa como activador en minerales oxidados y es especialmente efectivo en menas de sulfuros de cobre que tienen una capa superficial de óxidos.

e) Espumantes

El objetivo principal de un generador de espuma es producir una espuma que sea capaz de retener burbujas con contenido de minerales ricos. hasta que puedan ser extraídos de la máquina de espuma. A lo largo del tiempo, se proporciona a la burbuja una capa de película con cierta resistencia para lograr este objetivo. Las sustancias utilizadas para esto incluyen

Metilisobutilcarbinol (MIBC), un agente espumante conocido como F-70, Dowfloth (D-50), aceite de pino, cresol y ácido cresílico. Además, se utilizan agentes como Flother 210, Flother 250 y Flother 700, que exhiben excelentes propiedades selectivas cuando se utilizan una concentración ideal para la formación de espuma y la separación de minerales como Ag-Pb-Zn, Cu-Pb Ag-Zn, en un rango de 10 a 70 gramos por tonelada métrica. Sin embargo, es importante evitar el uso excesivo de estos agentes, ya que puede tener efectos perjudiciales en el proceso. - Skimmers avanzados: F-210D, F-250D, F-700D, F-800D, F-900D: alta selectividad, sin función de recogida y su eficiencia a bajas concentraciones para minerales sulfurados (Ag, Pb, Zn, Cu, Au). Después de retirar las espumas de la máquina espumadora, debe romperse rápidamente para evitar molestias. en etapas posteriores del proceso. La propiedad principal es la capacidad de reducir la tensión superficial del agua. También debe ser brillante. eficaz a bajas concentraciones y no acumula propiedades acumulativas. La mayoría de los agentes de expansión son compuestos heteropolares orgánicos cuya parte orgánica no polar repele el agua, mientras que la parte polar tira de ella.

2.2.7. Regulador de PH

Estos compuestos controlan la acidez o alcalinidad de la suspensión de partículas. Funcionan alterando la concentración de iones de hidrógeno en la pulpa para aumentar o reducir la capacidad de adsorción del colector según las necesidades. Con algunas excepciones, la eficacia de la mayoría de los agentes de flotación está directamente relacionada con la concentración de iones de hidrógeno u hidroxilo en la pulpa.

2.2.8. Importancia de las variables en flotación de minerales

Un método importante para la concentración de minerales es la flotación de minerales. Este proceso tiene tres fases: líquido, sólido y gaseoso. La recuperación y separación de minerales depende de las variables del proceso de

flotación. El factor de control más utilizado durante el proceso de flotación es el pH. Además, la densidad, la temperatura, la concentración de reactivos, la granulometría, la agitación y el tiempo de residencia tienen un impacto en el proceso de flotación. Para lograr una mayor eficiencia en la recuperación de minerales y reducir los costos de producción, es necesario optimizar estas variables. Por último, pero no menos importante, las variables del proceso de flotación son cruciales para la separación y recuperación de minerales, y su optimización es fundamental para aumentar la eficiencia del proceso.

2.2.9. Exceso de reactivos

La adición excesiva de los reactivos mencionados causa inestabilidad en el proceso, que debe controlarse para mantenerse dentro de los parámetros del proceso. El exceso de espumantes provoca un rebose en las celdas de flotación o acondicionadores, lo que ensucia el concentrado. En los colectores, agregar una sobrecarga provoca que floten todos los tipos de sulfuros, sin una selección, contaminando los concentrados, entre los que se encuentran la pirita y los sulfuros insolubles, lo que resulta en una carga circulante excesiva.

Los modificadores como el sulfato de zinc y el bisulfito de sodio deprimen los sulfuros de zinc, lo que causa envenenamiento de la pulpa y activa los sulfuros de hierro al disminuir el pH.

Un depresor común en exceso en circuitos de plomo o Bulk, el cianuro de sodio deprime los sulfuros de plomo y plata activando los sulfuros de zinc al aumentar el pH.

El incremento de la dosificación de la lechada de cal incrementa el pH como vendría a ser lógico, ensuciando los concentrados el cual también genera pérdida de sulfuros en el relave generando también carga circulante innecesaria.

2.2.10. Adición mínima o precaria de reactivos

Al contrario de un exceso de reactivos, también tendremos problemas cuando se agregan menos reactivos, lo que nos obliga a cumplir con los

estándares establecidos. Un ejemplo de una adición baja de reactivos es la columna de espumas baja, también conocida como colchón de espumas, que nos proporcionará muchos de los elementos importantes que se derivan del relave que del concentrado a obtener. Si agregamos una concentración baja de colectores, produciremos espumas muy bajas con un concentrado limpio, espumas frágiles y sin consistencia, con una recuperación mínima y no deseada. Por otro lado, los modificadores como el sulfato de zinc y el bisulfito de sodio permiten que los sulfuros de zinc floten en circuitos no correspondientes, como los circuitos de plomo o Bulk.

Si agregamos poco cianuro de sodio, flotará mucho fierro, lo cual ensucia el concentrado.

La falta de cal hace que el medio ácido se forme, lo que provoca la flotabilidad de la pirita, lo que espesa las espumas y ensucia el concentrado.

2.3. Definición de términos básicos

- **Flotación de minerales:** proceso usado en el proceso de concentración de minerales para separar y concentrar elementos de valor económico.
- **Granulometría:** La granulometría es la medición de la distribución del tamaño de los granos o partículas en una colección de material granular.
- **Sulfato de cobre:** El sulfato de cobre es un compuesto inorgánico formado por cobre y azufre.
- **Optimización:** El proceso de optimizar el rendimiento y la eficiencia de un sistema, ya sea software, hardware o redes, para que funcione de manera más eficiente se conoce como optimización.
- **Reactivador:** "Quien o lo que reactiva" es la definición de un reactivador. También puede referirse a un dispositivo que elimina el sulfuro de hidrógeno de una solución en química e ingeniería.

- **Molienda de minerales:** Molienda de minerales es una operación crítica en el procesamiento de minerales que tiene como objetivo reducir el tamaño de los minerales hasta la granulometría final deseada.
- **Dosificación:** Se refiere al proceso de medir y administrar una cantidad específica de una sustancia, como un reactivo o producto químico, para un fin determinado.
- **Flotabilidad de minerales:** La capacidad de un mineral para flotar en una fase líquida o gas mientras que otros minerales permanecen en otra fase se conoce como flotabilidad de un mineral.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el grado de molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Existe suficiente evidencia estadística para sostener que grado de molienda estudiado influye significativamente en el consumo sulfato de cobre en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.
- Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el grado de molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de plata en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

- Recuperación.

2.5.2. Variables dependientes

- Molienda y dosificación de reactivo activador.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente			
Molienda y dosificación de reactivo activador	Molienda operación de reducción de tamaño o conminución de minerales con la finalidad de liberar partículas para su recuperación en etapas posteriores, siendo muy importante el grado de liberación. Reactivo activador, sustancias que ayudan activar el mineral que deseamos flotar y facilitar la recuperación del mineral valioso, para el caso de una flotación en el que se obtendrá un concentrado de zinc utilizaremos como activador del mineral de zinc al sulfato de cobre.	Grados de molienda	Micras
		Dosificación de sulfato de cobre	Kilogramos por tonelada
Variable dependiente			
Recuperación	Es la relación entre la cantidad de material valioso recuperado en el concentrado y la cantidad de material valioso presente en la alimentación	Recuperación Metalúrgica: $R = \frac{C_c}{F_f} \times 100$	C= peso del concentrado c = ley del mineral en el concentrado F = peso de la alimentación f = ley de mineral en la alimentación

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El enfoque cuantitativo, tipo tecnológico. La investigación se llevará a cabo en las instalaciones del laboratorio químico-metalúrgico de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

En esta sección, ensayaremos el proceso físico químico de la flotación en serie realizando flotación de zinc. Investigaremos cómo el grado de molienda y la dosificación de sulfato de cobre afectan la recuperación de zinc.

El proyecto en cuestión pertenece a la categoría de investigación aplicada tecnológica (León, 2002). Este tipo de investigación se conoce como investigación práctica o empírica y se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos y la adquisición de nuevos conocimientos después de implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación. Basado en esta definición, el proyecto en cuestión es una investigación aplicada, experimental.

3.2. Nivel de investigación

La investigación es de nivel correlacional explicativo, porque el proceso implica exponer un objeto o un conjunto condiciones o estímulos específicos,

conocidos como variable independiente, para observar las consecuencias o respuestas que surgen. La variable dependiente es el resultado de este proceso.

El objetivo principal de la investigación experimental es establecer una relación precisa de causa y efecto al demostrar que las variaciones en la variable dependiente son el resultado directo de la variable independiente. Por lo tanto, la investigación experimental tiene un enfoque explicativo. La capacidad de manipular y controlar las variables de interés es lo que diferencia este tipo de investigación de la investigación de campo. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

3.3. Métodos de investigación

La investigación utilizará métodos de investigación como analítico, sintético, inductivo y deductivo, así como métodos empíricos como observación, medición y experimentación.

Entender el método analítico: este método se aplica a disciplinas que se ocupan de objetos complejos y se basa en la experiencia directa para obtener pruebas que validen o verifiquen una hipótesis.

El método de inducción-deducción, un enfoque teórico para la investigación, emplea tanto la inducción como la deducción. La inducción es la forma de razonamiento que parte de hechos particulares para llegar a una conclusión general, mientras que la deducción es la forma de razonamiento que parte de una premisa general para llegar a una conclusión particular. Con estas definiciones, determinaremos los métodos de investigación a utilizar para evaluar la muestra del mineral alimentado de la celda TC-30 N°01 de la flotación Rougher de zinc, donde nosotros analizaremos, deduciremos e induciremos las pruebas y con los análisis con el objetivo de determinar el efecto de los problemas e hipótesis generales y específicos.

3.4. Diseño de investigación

El proyecto de tesis a desarrollar representa un diseño de investigación experimental.

Se utiliza el diseño de investigación experimental, un método científico, para determinar la relación entre la causa y el efecto de una situación. La manipulación intencional de la variable independiente se utiliza en este diseño de investigación para observar y evaluar sus efectos en la variable dependiente.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población es infinita proporcionado por Pan American Silver Huaron S.A., que corresponde a la muestra de relave de la Celda TC-30 N° 02 de flotación rougher de zinc.

Según Peñuelas (2010), la población se define como "la totalidad de los fenómenos objeto de estudio, unidades de población que comparten características comunes objeto de estudio y que producen datos de investigación".

3.5.2. Muestra

La muestra de trabajo es un subgrupo representativo de 45 kg de población proporcionado por Pan American Silver Huaron S.A., del relave de la Celda TC-30 N° 02 de flotación rougher de zinc.

Arias (2012). Se indica que una muestra es una parte de la población; puede ser un subgrupo de la población o un universo que se encuentra dentro de las características de la población.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El método de recolección de datos empleado fue el método de medición. Los instrumentos manipulados fueron los equipos y materiales de laboratorio utilizados en las pruebas del proyecto de investigación. El laboratorio químico-metalúrgico de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica de la facultad de

ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión proporcionará información sobre los materiales y equipos utilizados en las pruebas del proyecto de investigación.

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

En la tesis titulada "Efecto de la molienda y dosificación de reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rougher de zinc en empresa minera, Pasco 2023", se abordó la selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación utilizados en el desarrollo del estudio.

El proceso de investigación se llevó a cabo en el laboratorio metalúrgico, donde se emplearon materiales, equipos e instrumentos de laboratorio específicos. Estos fueron seleccionados con base en su idoneidad para realizar las mediciones y experimentos necesarios para evaluar el efecto de la molienda y la dosificación del reactivo activador en la recuperación de zinc.

Para asegurar la validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación, se siguieron protocolos establecidos que han sido validados por expertos en el área. Los procedimientos de calibración de los equipos, así como la verificación de la precisión y exactitud de las mediciones, fueron cuidadosamente implementados para minimizar posibles errores y garantizar la reproducibilidad de los resultados.

Además, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura para corroborar que los métodos e instrumentos utilizados en este estudio eran los más apropiados y habían demostrado ser efectivos en investigaciones previas similares. De esta manera, se garantizó que los datos obtenidos fueran fiables y permitieran sacar conclusiones válidas respecto al efecto de las variables estudiadas en la recuperación de zinc.

En resumen, la selección y validación de los instrumentos de investigación en este estudio se realizaron siguiendo rigurosos criterios científicos y protocolos

validados, asegurando así la confiabilidad de los resultados obtenidos y su contribución al conocimiento en el campo de la metalurgia extractiva.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Después de obtener datos de varias pruebas metalúrgicas realizadas en el laboratorio, se necesita procesar y estudiar los datos para estudiar la variable independiente cambiando la variable dependiente. Para interpretar los datos, usaremos hojas de cálculo físicas y paquetes estadísticos como Minitab.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico utilizaremos la estadística descriptiva e inferencial.

(George, Stuart, & William, 2005), afirma que “Estadística es la ciencia que trata de la recolección, clasificación y presentación de los hechos sujetos a una apreciación numérica como base a la explicación, descripción y comparación de los fenómenos”.

(George, Stuart, & William, 2005), La investigación descriptiva abarca la tarea de describir, registrar, analizar e interpretar la naturaleza actual, la composición y el proceso de los fenómenos. Enfoca su atención en las conclusiones predominantes o en el funcionamiento de variables que interactúan entre sí.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El término "ética" se refiere a un conjunto de principios y valores que orientan la conducta humana hacia el bien común y que dirigen su comportamiento. Es crucial considerar los principios éticos en todas las facetas de la vida, incluso en el ámbito profesional. La ética profesional se refiere a las normas y valores que guían cómo se comportan los empleados mientras realizan su trabajo. Es esencial que los profesionales actúen con integridad, honestidad y responsabilidad, y respeten los derechos y la dignidad de las personas. Para

construir una sociedad justa y equitativa y para promover el bienestar de todos los seres humanos, la ética es esencial.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Situada en la parte oriental de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, se encuentra la Unidad Minera Huarón. Se encuentra en el Distrito de Huayllay, a unos 40 kilómetros al suroeste de la ciudad de Cerro de Pasco, Provincia de Pasco, Departamento de Pasco, desde una perspectiva política. Abarca una superficie de aproximadamente 15 Km² en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes.

Huarón se halla a una elevación cercana a los 4540 m.s.n.m. Según el sistema de coordenadas WGS84, está ubicado en la Zona 18 Sur, Banda L. Sus coordenadas UTM son las siguientes:

8'785,498 N

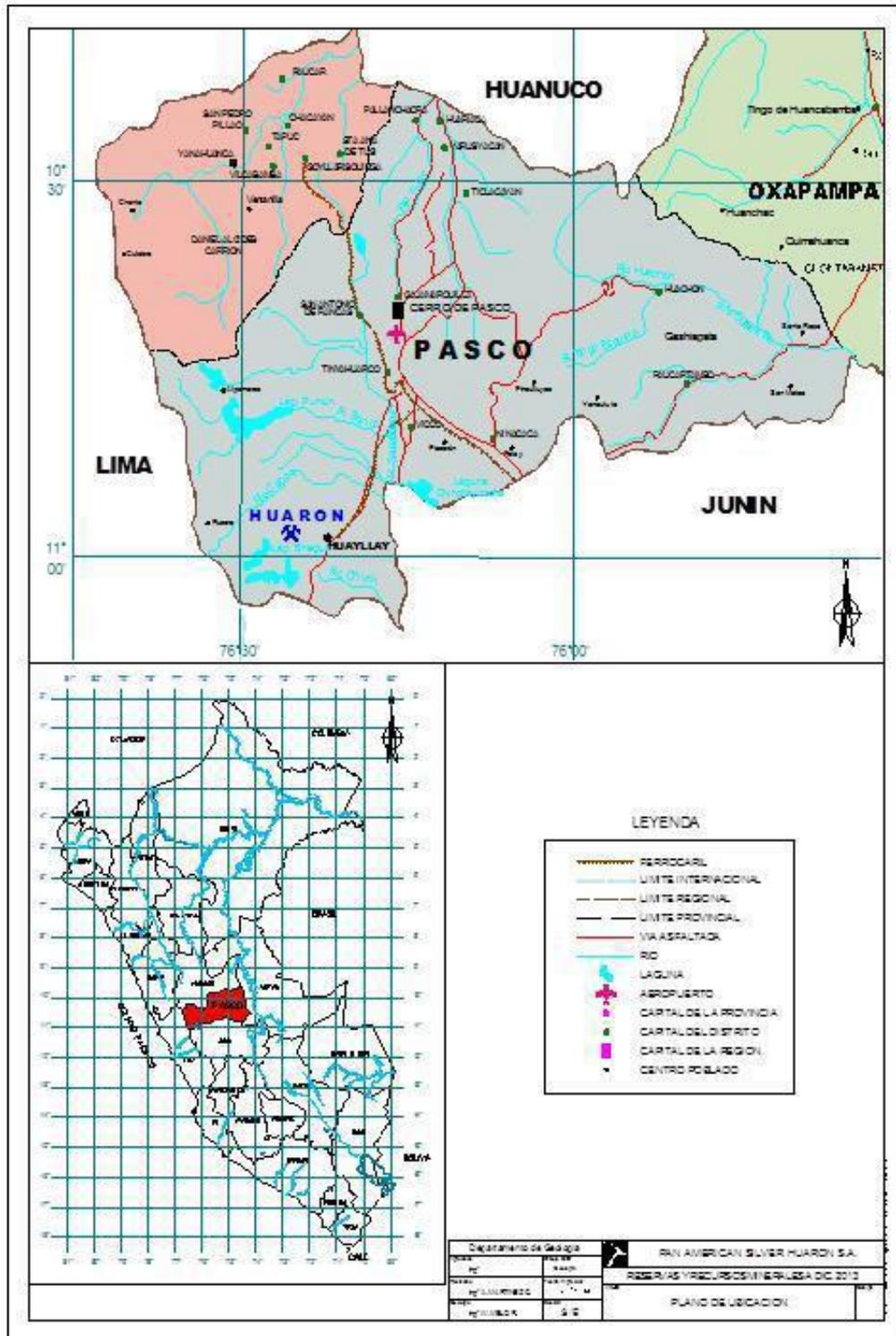
0'346,665 E

Principalmente, hay dos rutas accesibles por carretera, que son:

Lima - La Oroya - Unish - Huarón: Esta es la vía más transitada y mejor mantenida, ya que forma parte en gran medida de la carretera central.

Lima - Canta - Huarón: Solo el tramo de Lima a Santa Rosa de Quives, que abarca 75 kilómetros, está asfaltado, mientras que el resto de 146 kilómetros está afirmado. Esta ruta es menos utilizada debido a su falta de mantenimiento.

Figura 1. Localización



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Identificación del mineral

Ensayes químicos de las muestras.

Tabla 2. Ensayes Químicos

Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
28,88	0,12	0,14	3,11	11,29

Según los resultados obtenidos podemos decir que los contenidos de los valores de cobre, plomo y zinc corresponden a los valores habituales.

4.2.2. Pruebas de cinética de flotación Zinc

Análisis 01:

Para generar la plantilla de optimización por diseño octogonal, se consideraron las siguientes variables X_1 (Grado de liberación) y X_2 (CuSO_4), en las cuales se consideraron los siguientes rangos:

X_1 (Grado de liberación)	58,84	a	68,13	% -m200
X_2 (CuSO_4)	23,80	a	71,00	g/Tn

Se consideran estas dos variables, para establecer la optimización del grado de liberación y la activación de Zn en la flotación de Zn y establecer la Recuperación de Ag, Zn y como también el desplazamiento de Zn al relave.

Análisis 02:

La plantilla utilizada fue de Diseño octogonal para 02 variables con 08 pruebas del diseño y 02 como pruebas centrales, se establece del modo siguiente:

Tabla 3. Diseño Octagonal

N° Prueba	PLANTILLA CODIFICADA		PLANTILLA DECODIFICADA	
	X ₁	X ₂	Acond (min)	CuSO ₄ (g/tn)
1	-1	-1	58,84	23,80
2	1	-1	68,13	23,80
3	-1	1	58,84	71,00
4	1	1	68,13	71,00
5	-1.4142	0	56,91	47,40
6	1.4142	0	70,05	47,40
7	0	-1.4142	63,48	14,02
8	0	1.4142	63,48	80,78
9	0	0	63,48	47,40
10	0	0	63,48	47,40

Los balances metalúrgicos de las 10 pruebas se muestran líneas debajo, para la función respuesta se considera el % de Recuperación de Ag, Zn, como también el desplazamiento de Zn al relave.

Prueba 01

Tabla 4. Prueba Metalúrgica 01

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	3,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			23,8	475,6	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 5. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 01

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	0,92	178,90	0,58	0,78	5,92	12,28	4,80	5,91	3,86	5,15	1,13
Riv I Zinc		33,04	0,09	0,18	1,02	9,99					
Conc II Zinc	2,54	169,86	0,60	0,87	6,72	11,11	12,53	16,75	11,84	16,07	2,82
Riv II Zinc		29,45	0,07	0,16	0,87	9,96					
Conc III Zinc	2,76	137,66	0,43	0,73	5,06	11,40	11,04	13,14	10,80	13,15	3,14
Riv III Zinc		26,27	0,06	0,15	0,74	9,92					
Conc IV Zinc	5,40	76,44	0,23	0,41	2,26	11,47	12,01	13,61	11,88	11,50	6,19
Riv IV Zinc	88,38	23,20	0,05	0,13	0,65	9,82	59,63	50,58	61,63	54,14	86,72
Cab Calc	100,00	34,39	0,09	0,19	1,06	10,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							40,37	49,42	38,37	45,86	13,28

Prueba 02

Tabla 6. Prueba Metalúrgica 02

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	9,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			23,8	474,4	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 7. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 02

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,54	137,39	0,52	0,54	3,38	11,12	6,67	10,76	6,01	5,39	1,66
Riv I Zinc		30,10	0,07	0,13	0,93	10,29					
Conc II Zinc	3,08	153,76	0,46	0,62	4,64	11,02	14,90	19,02	13,76	14,75	3,29
Riv II Zinc		26,11	0,05	0,12	0,81	10,27					
Conc III Zinc	4,47	112,25	0,21	0,43	3,24	10,69	15,78	12,54	13,85	14,95	4,63
Riv III Zinc		21,88	0,05	0,10	0,69	10,25					
Conc IV Zinc	5,99	55,51	0,13	0,26	1,27	11,20	10,47	10,67	11,24	7,86	6,51
Riv IV Zinc	84,93	19,51	0,04	0,09	0,65	10,18	52,18	47,00	55,14	57,05	83,90
Cab Calc	100,00	31,76	0,07	0,14	0,97	10,30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							47,82	53,00	44,86	42,95	16,10

Prueba 03

Tabla 8. Prueba Metalúrgica 03

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	3,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			71,2	474,6	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 9. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 03

Producto	%	LEYES					RECUPERACIONES				
		Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,25	132,41	0,56	0,50	6,82	11,04	5,29	8,71	4,07	9,10	1,25
Riv I Zinc		29,98	0,07	0,15	0,86	11,00					
Conc II Zinc	3,06	131,68	0,39	0,60	7,14	11,35	12,90	14,96	11,98	23,35	3,16
Riv II Zinc		26,73	0,06	0,13	0,66	10,99					
Conc III Zinc	4,32	93,22	0,27	0,40	2,28	23,80	12,87	14,76	11,25	10,51	9,34
Riv III Zinc		23,59	0,05	0,12	0,58	10,38					
Conc IV Zinc	7,36	51,06	0,14	0,26	0,87	10,40	12,01	13,17	12,46	6,83	6,96
Riv IV Zinc	84,01	21,18	0,05	0,11	0,56	10,38	56,92	48,39	60,23	50,22	79,29
Cab Calc	100,00	31,26	0,08	0,15	0,94	11,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							43,08	51,61	39,77	49,78	20,71

Prueba 04

Tabla 10. Prueba Metalúrgica 04

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	9,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			71,0	473,0	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 11. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 04

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,65	164,08	0,51	0,62	7,45	11,01	8,86	10,46	6,52	12,95	1,70
Riv I Zinc		28,28	0,07	0,15	0,84	10,69					
Conc II Zinc	4,12	131,72	0,49	0,55	6,56	10,93	17,77	25,06	14,46	28,49	4,21
Riv II Zinc		23,76	0,05	0,13	0,59	10,68					
Conc III Zinc	6,42	86,47	0,22	0,35	2,07	10,85	18,20	17,83	14,36	14,03	6,52
Riv III Zinc		19,17	0,04	0,12	0,48	10,67					
Conc IV Zinc	9,58	44,36	0,10	0,24	0,65	11,62	13,92	11,57	14,68	6,57	10,41
Riv IV Zinc	78,24	16,09	0,04	0,10	0,46	10,55	41,25	35,07	49,97	37,97	77,18
Cab Calc	100,00	30,52	0,08	0,16	0,95	10,69	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							58,75	64,93	50,03	62,03	22,82

Prueba 05

Tabla 12. Prueba Metalúrgica 05

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	1,76	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			47,4	474,5	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 13. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 05

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,44	145,85	0,51	0,61	7,43	11,45	5,61	7,75	3,98	8,41	1,23
Riv I Zinc		28,19	0,07	0,17	0,93	10,53					
Conc II Zinc	2,79	139,56	0,41	0,63	7,13	10,95	13,17	15,16	10,08	19,80	2,90
Riv II Zinc		24,96	0,06	0,16	0,75	10,51					
Conc III Zinc	3,88	105,15	0,29	0,46	2,70	11,78	13,82	14,73	10,25	10,45	4,34
Riv III Zinc		21,59	0,05	0,14	0,67	10,46					
Conc IV Zinc	5,45	61,68	0,16	0,35	0,95	11,09	11,38	11,71	10,95	5,16	5,73
Riv IV Zinc	86,75	19,07	0,04	0,13	0,65	10,42	56,02	50,65	64,74	56,19	85,79
Cab Calc	100,00	29,53	0,08	0,17	1,00	10,54	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							43,98	49,35	35,26	43,81	14,21

Prueba 06

Tabla 14. Prueba Metalúrgica 06

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	10,24	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			47,5	474,8	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 15. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 06

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,66	175,29	0,01	0,69	5,40	10,96	10,38	0,31	7,00	9,59	1,77
Riv I Zinc		25,57	0,07	0,15	0,86	10,24					
Conc II Zinc	4,06	129,42	0,47	0,67	4,81	10,97	18,71	26,77	16,60	20,85	4,34
Riv II Zinc		21,10	0,05	0,13	0,69	10,21					
Conc III Zinc	4,15	90,29	0,30	0,49	2,62	10,92	13,35	17,62	12,41	11,61	4,42
Riv III Zinc		17,91	0,04	0,12	0,60	10,18					
Conc IV Zinc	7,73	43,98	0,14	0,29	0,94	11,21	12,11	15,64	13,68	7,76	8,45
Riv IV Zinc	82,41	15,47	0,03	0,10	0,57	10,08	45,44	39,67	50,31	50,19	81,02
Cab Calc	100,00	28,06	0,07	0,94	0,94	10,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							54,56	60,33	49,69	49,81	18,98

Prueba 07

Tabla 16. Prueba Metalúrgica 07

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	6,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			14,3	477,5	6,0
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 17. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 07

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,14	100,63	0,46	0,47	2,44	11,05	2,42	7,04	3,27	2,88	1,20
Riv I Zinc		46,77	0,07	0,16	0,95	10,51					
Conc II Zinc	3,61	127,32	0,51	0,59	3,32	10,64	9,71	24,40	13,03	12,46	3,66
Riv II Zinc		43,71	0,05	0,14	0,86	10,50					
Conc III Zinc	3,36	481,47	0,26	0,46	3,91	14,58	34,10	11,82	9,43	13,62	4,65
Riv III Zinc		27,73	0,05	0,13	0,74	10,35					
Conc IV Zinc	5,63	64,98	0,17	0,32	1,89	10,09	7,72	12,99	11,00	11,04	5,40
Riv IV Zinc	86,27	25,30	0,04	0,12	0,67	10,37	46,06	43,74	63,23	60,00	85,09
Cab Calc	100,00	47,38	0,07	0,16	0,96	10,51	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							53,94	56,26	36,74	40,00	14,91

Prueba 08

Tabla 18. Prueba Metalúrgica 08

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	6,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			81,2	477,7	6,0
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 19. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 08

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	10,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,64	151,15	0,50	0,53	6,69	9,49	8,13	9,81	6,00	14,61	2,06
Riv I Zinc		28,45	0,08	0,14	0,65	7,53					
Conc II Zinc	3,80	128,21	0,42	0,56	6,80	9,88	16,01	19,09	14,72	34,48	4,97
Riv II Zinc		24,43	0,06	0,12	0,40	7,43					
Conc III Zinc	4,64	98,19	0,24	0,42	2,67	10,36	14,95	13,69	13,46	16,51	6,36
Riv III Zinc		20,63	0,05	0,11	0,29	7,28					
Conc IV Zinc	8,37	43,43	0,11	0,26	0,84	10,39	11,94	11,04	15,06	9,38	11,51
Riv IV Zinc	81,55	18,29	0,05	0,09	0,23	6,96	48,98	46,37	50,75	25,02	75,10
Cab Calc	100,00	30,45	0,08	0,14	0,75	7,56	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							51,02	53,63	49,25	74,98	24,90

Prueba 09

Tabla 20. Prueba Metalúrgica 09

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	6,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			47,6	475,7	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 21. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 09

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	1,30	118,04	0,57	0,47	6,06	9,41	5,72	8,83	3,87	9,46	1,23
Riv I Zinc		25,70	0,08	0,15	0,77	9,95					
Conc II Zinc	2,93	107,97	0,53	0,51	5,89	9,24	11,75	18,47	9,43	20,66	2,72
Riv II Zinc		23,18	0,06	0,14	0,61	9,97					
Conc III Zinc	4,79	72,10	0,33	0,38	3,47	9,77	12,84	19,06	11,49	19,90	4,71
Riv III Zinc		20,61	0,05	0,13	0,46	9,98					
Conc IV Zinc	9,08	35,19	0,16	0,23	1,35	10,09	11,88	17,31	13,18	14,68	9,21
Riv IV Zinc	81,90	18,99	0,04	0,12	0,36	9,97	57,82	36,33	62,04	35,31	82,13
Cab Calc	100,00	26,90	0,08	0,16	0,84	9,94	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							42,18	63,67	37,96	64,69	17,87

Prueba 10

Tabla 22. Prueba Metalúrgica 10

	Tiempo Ac (min)	pH	NaCN g/Tn	ZnSO ₄ g/Tn	CuSO ₄ g/Tn	CaO g/Tn	Z-11 g/Tn
Zinc							
Molienda	6,00	8,8/11,7					
Acond I	1,0	11,70			47,6	475,7	5,9
Conc I	0,5	11,70					
Conc II	1,5	11,70					
Conc III	2,5	11,70					
Conc IV	4,0	11,70					

Tabla 23. Balance Metalúrgico y Cinética de Flotación 10

Producto	%		LEYES				RECUPERACIONES				
	Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	27,86	0,11	0,14	0,93	9,16	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc I Zinc	0,86	109,66	0,55	0,46	5,55	9,55	3,45	6,34	2,62	6,05	0,80
Riv I Zinc		26,71	0,07	0,15	0,75	10,35					
Conc II Zinc	2,65	98,93	0,50	0,50	5,93	9,29	9,55	17,89	8,75	19,85	2,38
Riv II Zinc		24,72	0,06	0,14	0,61	10,38					
Conc III Zinc	4,30	71,68	0,33	0,41	3,70	10,04	11,23	19,24	11,64	20,10	4,17
Riv III Zinc		22,54	0,05	0,13	0,46	10,40					
Conc IV Zinc	7,96	56,15	0,19	0,30	1,77	10,35	16,30	20,18	15,78	17,81	7,96
Riv IV Zinc	84,23	19,36	0,03	0,11	0,34	10,40	59,47	36,35	61,22	36,20	84,69
Cab Calc	100,00	27,42	0,07	0,15	0,79	10,34	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							40,53	63,65	38,78	63,80	15,31

Análisis 03:

Las pruebas de flotación, obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 24. Respuesta % Recuperación Ag - Zn

Ejecución	-m200	CuSO ₄	Rec Ag	Rec Zn	Rec Fe	Grado Zn Rlv
	%	g/Tn	%	%	%	%
1	58,84	23,8	40,37	45,86	13,28	0,65
2	68,13	23,8	47,82	42,95	16,10	0,65
3	58,84	71,0	43,08	49,78	20,71	0,56
4	68,13	71,0	58,75	62,03	22,82	0,46
5	56,916	47,4	43,98	43,81	14,21	0,65
6	70,054	47,4	54,56	49,81	18,98	0,57
7	63,485	14,0246	53,94	40,00	14,91	0,67
8	63,485	80,7754	51,02	74,98	24,90	0,23
9	63,485	47,4	42,18	64,69	17,87	0,36
10	63,485	47,4	40,53	63,80	15,31	0,34

La plantilla decodificada se muestra en el presente cuadro y las cuatro últimas columnas expresa la función respuesta (se está considerando el % de Recuperación de Ag, Zn total de flotación como también el desplazamiento del zinc al relave final).

Análisis 04:

Las líneas debajo muestran los resultados de las regresiones estadísticas, de las cuales se puede inferir que los modelos matemáticos para el porcentaje de recuperación de plata, zinc y hierro, así como el desplazamiento de zinc al relave para la flotación total son:

$$\text{Rec Ag} = 631,232 - 18,1948 \cdot m200 - 1,94312 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,144373 \cdot m200^2 + 0,0187462 \cdot m200 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00847457 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

$$\text{Rec Zn} = -1617,58 + 53,0767 \cdot m200 - 1,15127 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,427155 \cdot m200^2 + 0,0345734 \cdot m200 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,00695965 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

$$\text{Rec Fe} = -9,24949 + 0,40935 \cdot m200 - 0,0285931 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,000144887 \cdot m200^2 - 0,0016192 \cdot m200 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00296588 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

$$\text{Grado Zn Rlv} = 27,1253 - 0,833511 \cdot m200 - 0,000938833 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00660459 \cdot m200^2 - 0,000228056 \cdot m200 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,000112216 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

REGRESIONES ESTADÍSTICAS – % RECUPERACIÓN Ag

Tabla 25. Análisis de Varianza para Recuperación Ag

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: -m200	181,284	1	181,284	10,09	0,0336
B: CuSO ₄	11,3062	1	11,3062	0,63	0,4720
AA	44,3572	1	44,3572	2,47	0,1912
AB	16,8921	1	16,8921	0,94	0,3871
BB	101,844	1	101,844	5,67	0,0759
Error total	71,8631	4	17,9658		
Total (corr.)	389,868	9			

R-cuadrada = 81,5673 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 58,5265 porciento

Error estándar del est. = 4,2386

Error absoluto medio = 2,11543

Estadístico Durbin-Watson = 1,29805 (P=0,1075)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,177415

Tabla 26. Coeficiente de Regresión para Recuperación Ag

<u>Coeficiente</u>	<u>Estimado</u>
constante	631,232
A: -m200	-18,1948
B: CuSO ₄	-1,94312
AA	0,144373
AB	0,0187462
BB	0,00847457

$$\text{Rec Ag} = 631,232 - 18,1948 \cdot \text{-m200} - 1,94312 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,144373 \cdot \text{-m200}^2 + 0,0187462 \cdot \text{-m200} \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00847457 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

REGRESIONES ESTADÍSTICAS – % RECUPERACIÓN Zn

Tabla 27. Análisis de Varianza para Recuperación Zn

<u>Fuente</u>	<u>Suma de Cuadrados</u>	<u>Gl</u>	<u>Cuadrado Medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
A: -m200	39,7176	1	39,7176	1,65	0,2678
B: CuSO ₄	656,473	1	656,473	27,35	0,0064
AA	388,294	1	388,294	16,17	0,0158
AB	57,4564	1	57,4564	2,39	0,1968
BB	68,6869	1	68,6869	2,86	0,1660
Error total	96,0244	4	24,0061		
Total (corr.)	1238,0	9			

R-cuadrada = 92,2436 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 82,548 porciento

Error estándar del est. = 4,8996

Error absoluto medio = 2,54778

Estadístico Durbin-Watson = 2,20451 (P=0,6324)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,12859

Tabla 28. Coeficiente de Regresión para Recuperación Zn

<u>Coeficiente</u>	<u>Estimado</u>
constante	-1617,58
A: -m200	53,0767
B: CuSO ₄	-1,15127
AA	-0,427155
AB	0,0345734
BB	-0,00695965

$$\text{Rec Zn} = -1617,58 + 53,0767 \cdot \text{-m200} - 1,15127 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,427155 \cdot \text{-m200}^2 + 0,0345734 \cdot \text{-m200} \cdot \text{CuSO}_4 - 0,00695965 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

REGRESIONES ESTADÍSTICAS – % RECUPERACIÓN Fe

Tabla 29. Análisis de Varianza para Recuperación Fe

<u>Fuente</u>	<u>Suma de Cuadrados</u>	<u>Gl</u>	<u>Cuadrado Medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
A: -m200	17,0405	1	17,0405	18,47	0,0127
B: CuSO ₄	99,9556	1	99,9556	108,35	0,0005
AA	0,0000446734	1	0,0000446734	0,00	0,9948
AB	0,126025	1	0,126025	0,14	0,7304
BB	12,474	1	12,474	13,52	0,0213
Error total	3,69002	4	0,922506		
Total (corr.)	136,118	9			

R-cuadrada = 97,2891 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93,9005 por ciento

Error estándar del est. = 0,960472

Error absoluto medio = 0,41324

Estadístico Durbin-Watson = 2,5243 (P=0,8147)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,490301

Tabla 30. Coeficiente de Regresión para Recuperación Fe

<u>Coeficiente</u>	<u>Estimado</u>
constante	-9,24949
A: -m200	0,40935
B: CuSO ₄	-0,0285931
AA	-0,000144887
AB	-0,0016192
BB	0,00296588

$$\text{Rec Fe} = -9,24949 + 0,40935 \cdot \text{-m200} - 0,0285931 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,000144887 \cdot \text{-m200}^2 - 0,0016192 \cdot \text{-m200} \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00296588 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

REGRESIONES ESTADÍSTICAS – % GRADO Zn Rlv

Tabla 31. Análisis de Varianza para Grado Zn Rlv

<u>Fuente</u>	<u>Suma de Cuadrados</u>	<u>Gl</u>	<u>Cuadrado Medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
A: -m200	0,00567843	1	0,00567843	1,14	0,3452
B: CuSO ₄	0,101758	1	0,101758	20,49	0,0106
AA	0,0928288	1	0,0928288	18,69	0,0124
AB	0,0025	1	0,0025	0,50	0,5172
BB	0,0178571	1	0,0178571	3,60	0,1308
Error total	0,0198636	4	0,00496591		
Total (corr.)	0,22264	9			

R-cuadrada = 91,0781 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 79,9258 por ciento

Error estándar del est. = 0,0704692

Error absoluto medio = 0,0362132

Estadístico Durbin-Watson = 2,18518 (P=0,6199)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,104603

Tabla 32. Coeficiente de Regresión para Grado Zn Rlv

<u>Coeficiente</u>	<u>Estimado</u>
constante	27,1253
A: -m200	-0,833511
B: CuSO ₄	-0,000938833
AA	0,00660459
AB	-0,000228056
BB	0,000112216

$$\text{Grado Zn Rlv} = 27,1253 - 0,833511 \cdot -m200 - 0,000938833 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00660459 \cdot -m200^2 - 0,000228056 \cdot -m200 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,000112216 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

Análisis 05:

Los reportes de optimización diseño octogonal se muestran en tablas líneas abajo, de la cual se obtiene que el grado de liberación es de 66.73% -m200 y para el consumo de CuSO₄ es de 63,05 g/Tn, el cual se detalla a continuación:

Tabla 33. Valores de Respuesta y óptimo

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95.0% Límite	Superior 95.0% Límite	Deseabilidad
Rec Ag	Si	50,0327	43,1662	56,8992	0,525717
Rec Zn	Si	67,3484	59,411	75,2857	0,781828
Rec Fe	Si	20,5979	19,0419	22,1538	0,363571
Grado Zn Rlv	Si	0,342301	0,228141	0,45646	0,746315

Nota. Deseabilidad optimizada = 0,577888

Tabla 34. Factores Establecidos y Óptimo

Factor	Establecimiento
-m200	66,7374
CuSO ₄	63,0478

Tabla 35. Análisis de resultados de experimento

Modelo	Rec Ag	Rec Zn	Rec Fe	Grado Zn Rlv
Transformación	Ninguno	ninguno	ninguno	Ninguno
Modelo d.f.	5	5	5	5
P-valor	0,1222	0,0243	0,0031	0,0318
Error d.f.	4	4	4	4
Std. error	4,2386	4,8996	0,960472	0,0704692
R-cuadrado	81,57	92,24	97,29	91,08
Adj. R-cuadrado	58,53	82,55	93,90	79,93

Análisis 06:

Las gráficas de los diagramas de Pareto, Efectos principales, Interacción y Superficies de respuestas se muestra en las figuras líneas abajo, de la cual se observa que el incremento del grado de liberación está más relacionado a la recuperación de Ag y Fe (por un tema mineralógico), y para la recuperación de

Zn está enfocado en el consumo de CuSO_4 , ya que al ser liberado la superficie libre de Zn será necesaria la adición y/o incremento de CuSO_4 .

Figura 2. Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación Ag

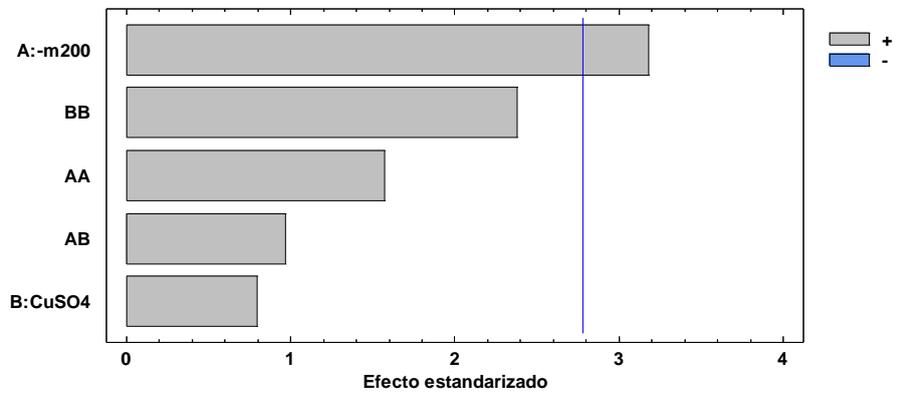


Figura 3. Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación Zn

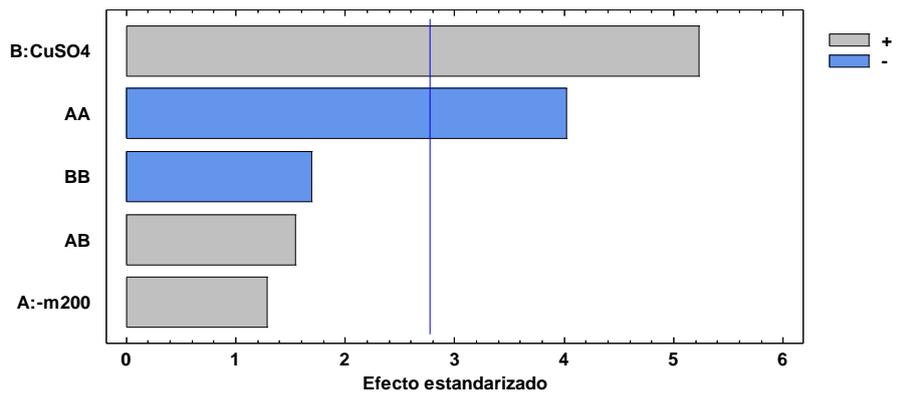


Figura 4. Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación Fe

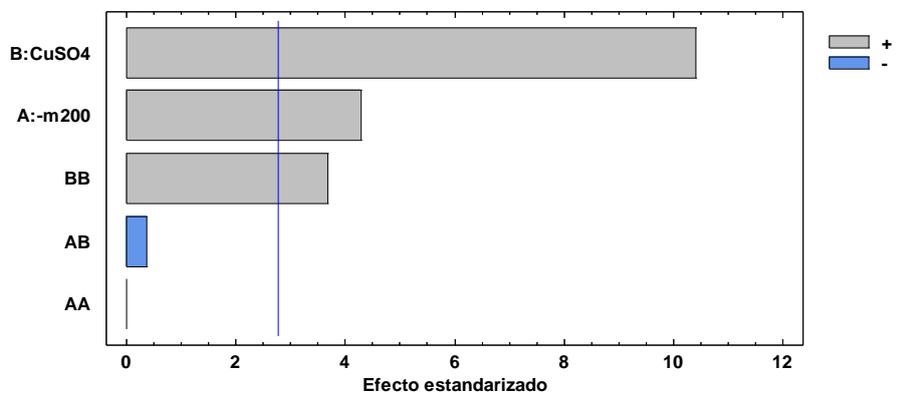


Figura 5. Diagrama de Pareto Estandarizada para Grado Zn Rlv

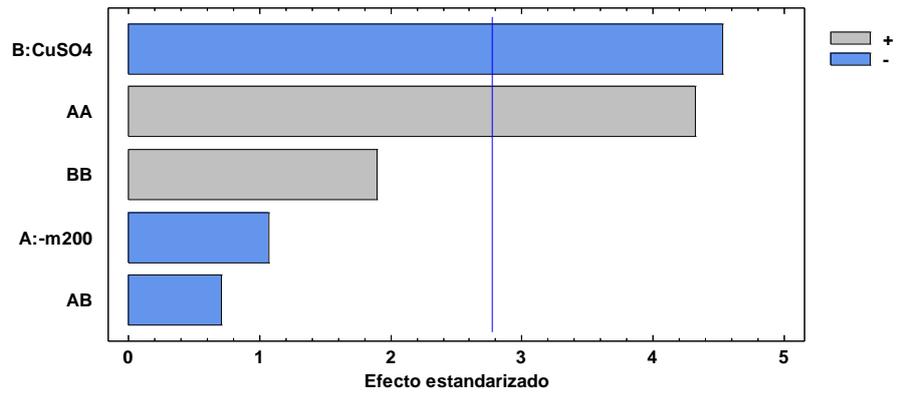


Figura 6. Gráfica de Efectos Principales para Recuperación Ag

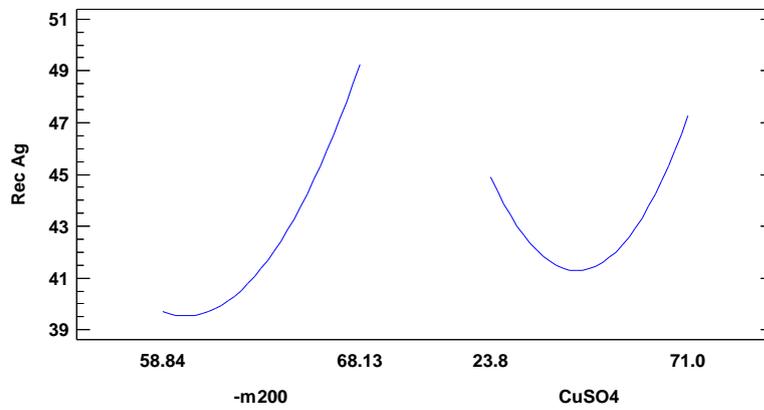


Figura 7. Gráfica de Efectos Principales para Recuperación Zn

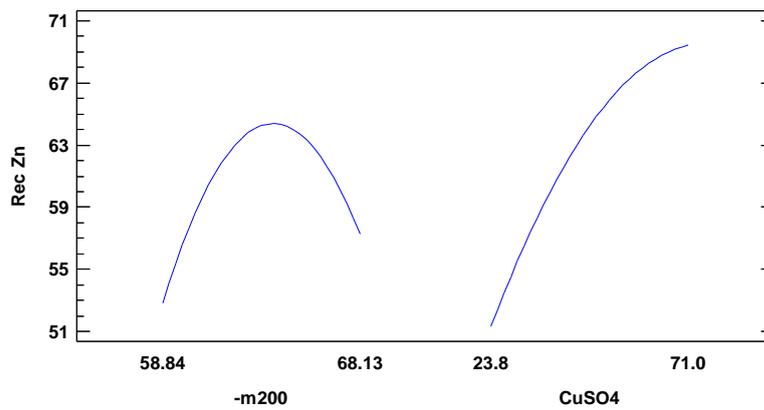


Figura 8. Gráfica de Efectos Principales para Recuperación Fe

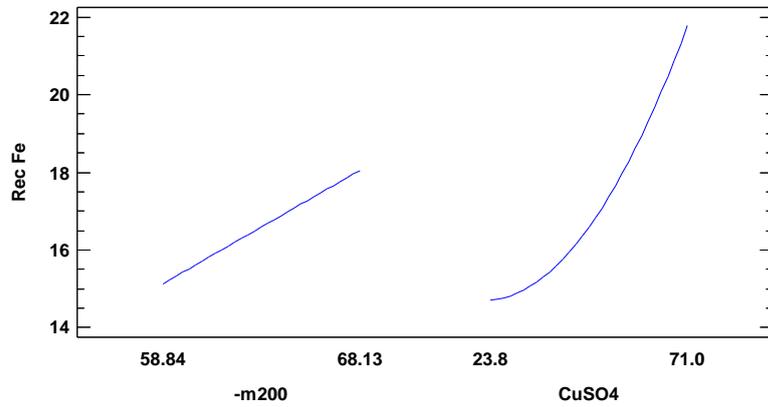


Figura 9. Gráfica de Efectos Principales para Grado Zn Rlv

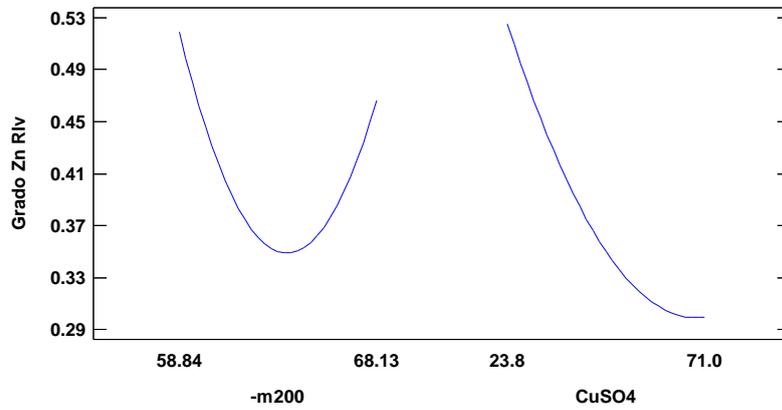


Figura 10. Gráfica de Interacción para Recuperación Ag

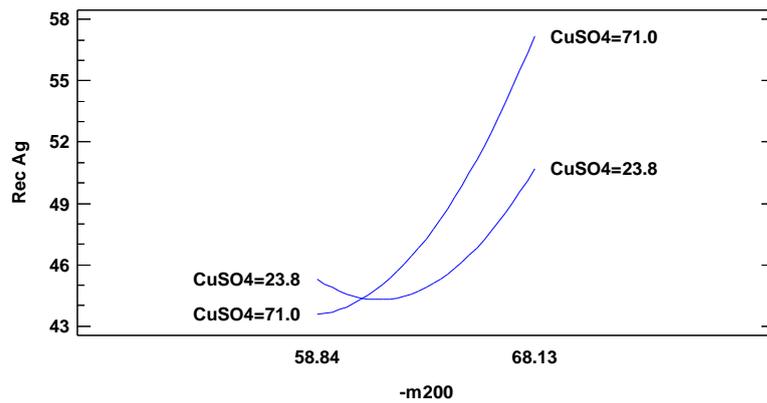


Figura 11. Gráfica de Interacción para Recuperación Zn

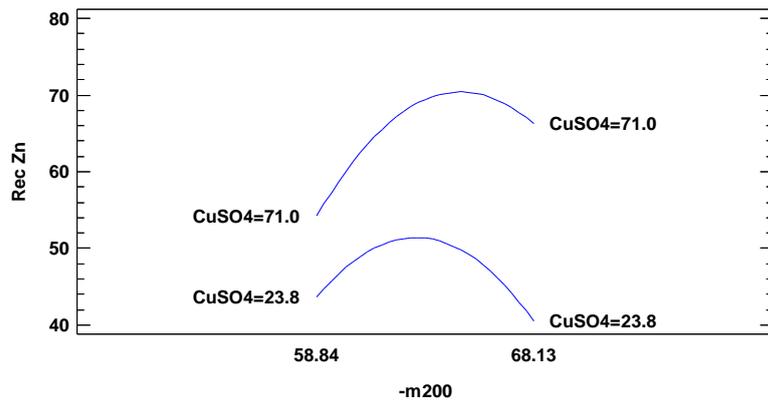


Figura 12. Gráfica de Interacción para Recuperación Fe

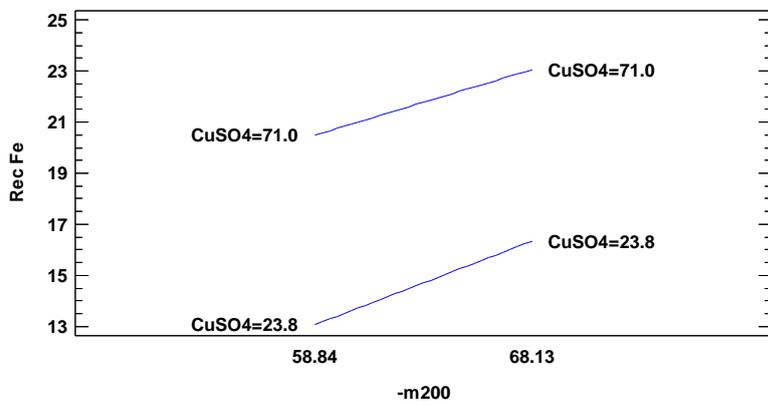


Figura 13. Gráfica de Interacción para Grado Zn Rlv

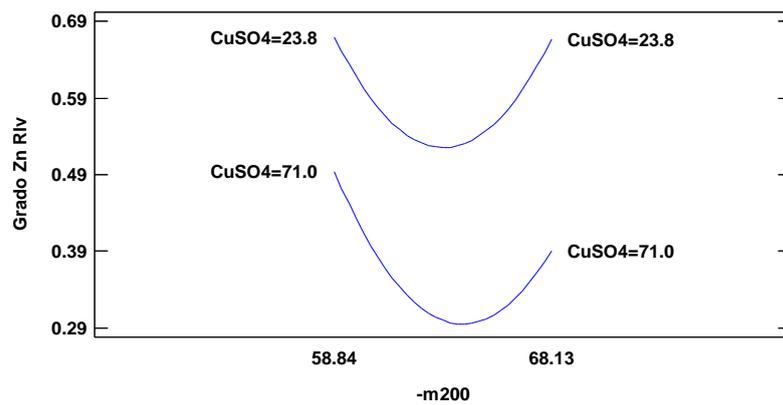


Figura 14. Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Ag

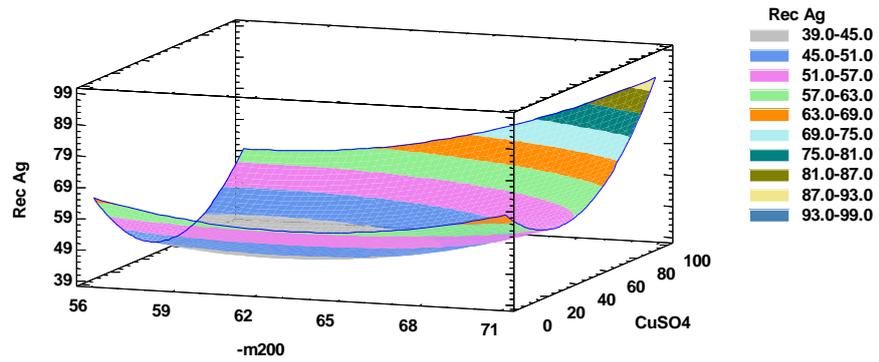


Figura 15. Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Zn

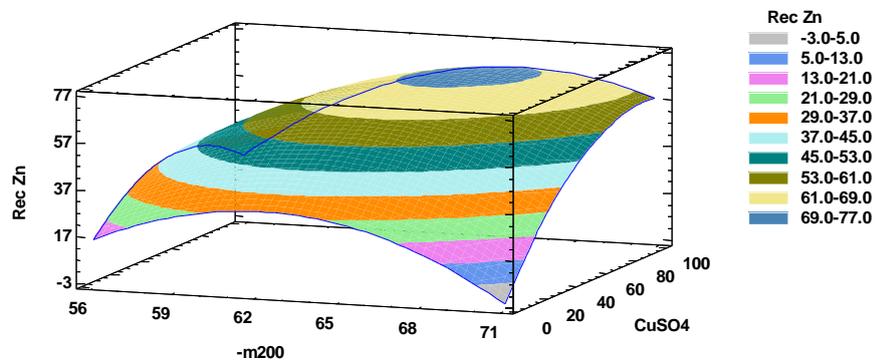


Figura 16. Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Fe

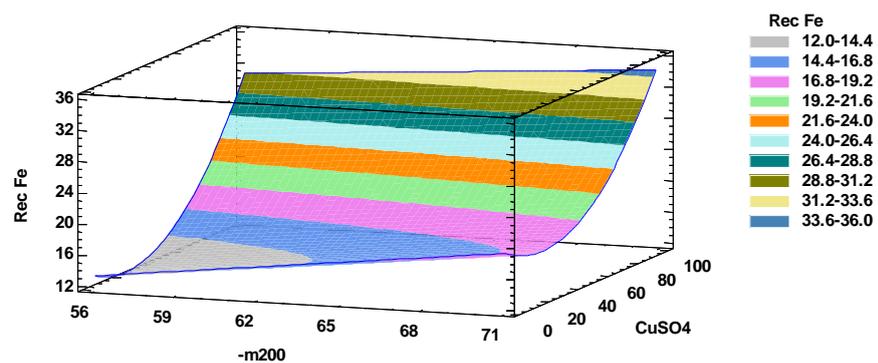


Figura 17. Superficie de Respuesta Estimada para Grado Zn Rlv

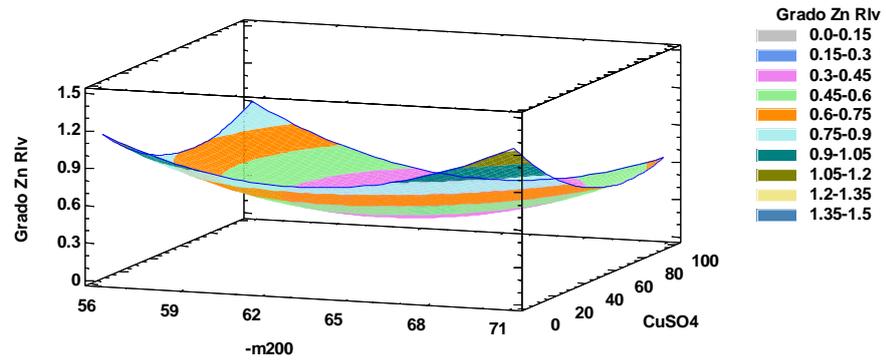


Figura 18. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Ag

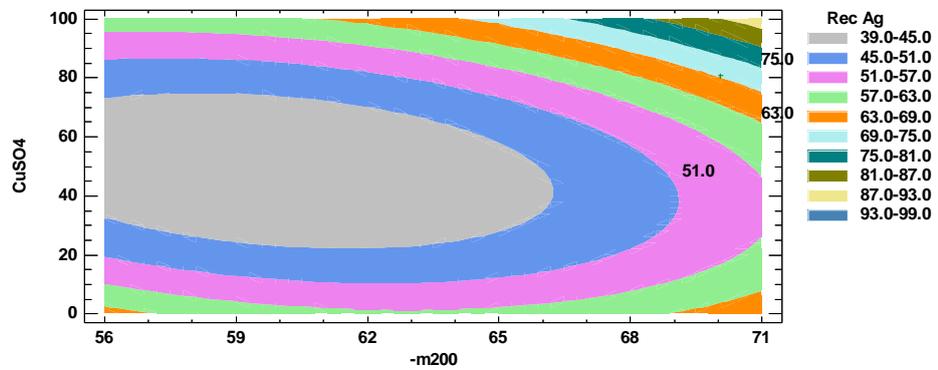


Figura 19. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Zn

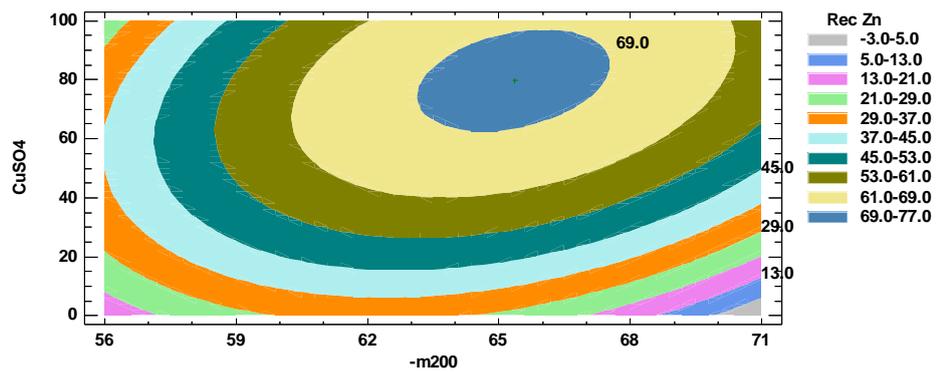


Figura 20. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Recuperación Fe

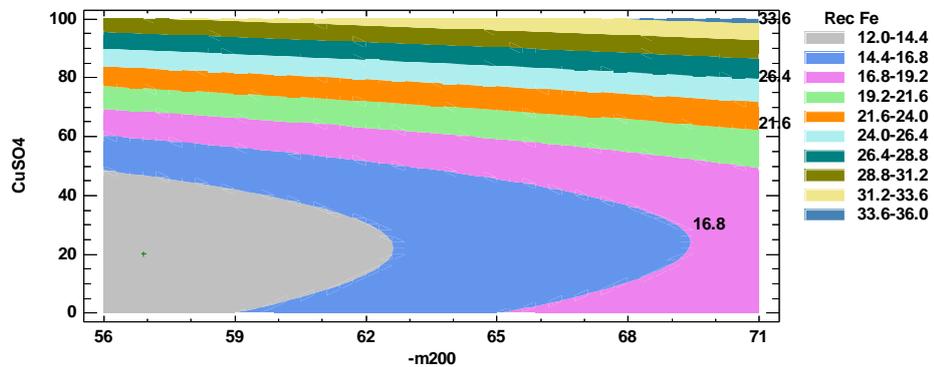
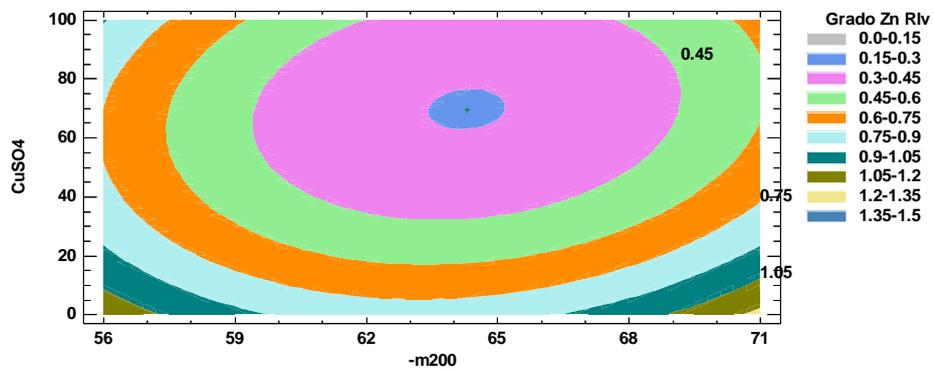


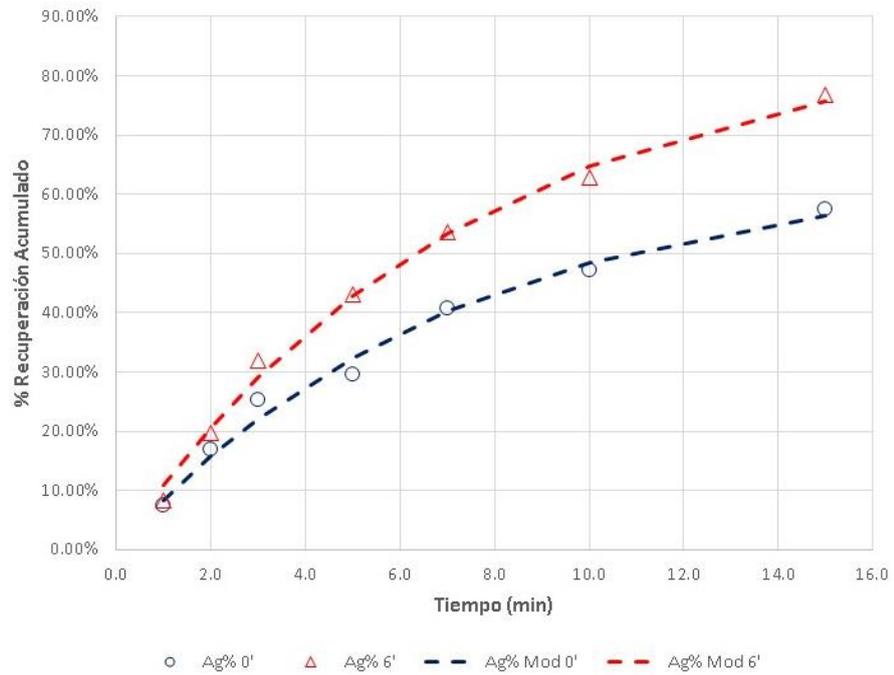
Figura 21. Contorno de Superficie de Respuesta Estimada para Grado Zn Rlv



Análisis 07:

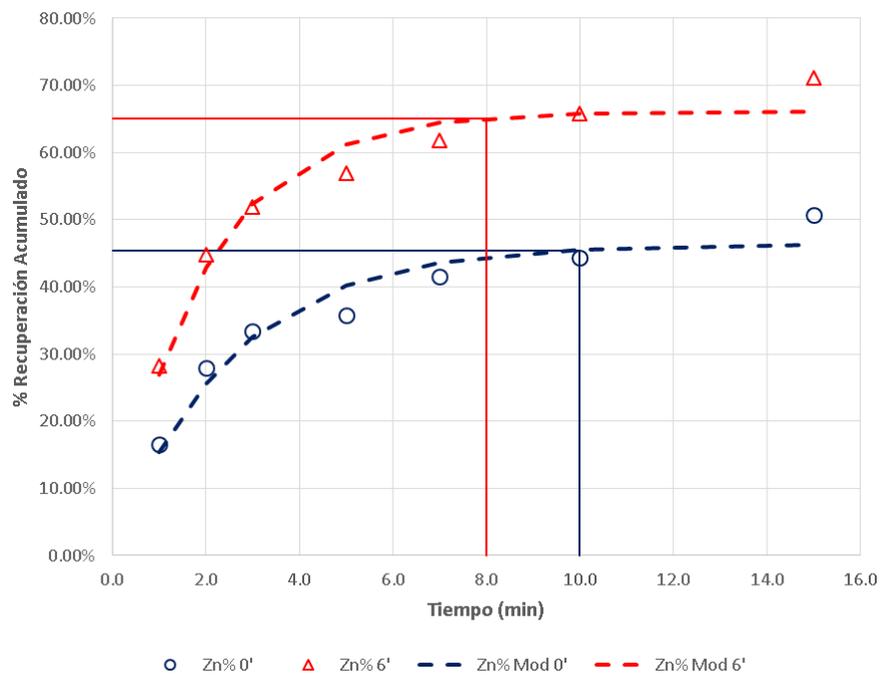
A continuación, se llevó a cabo un estudio de cinética de flotación con la muestra de relave de la celda TC-30 N° 2 para comparar la flotación de la etapa de zinc mediante la modificación de las condiciones de molienda de acuerdo con la optimización de las variables emitidas por el diseño. Esto se muestra gráficamente en las Tablas 36 y 37, que indican lo siguiente:

Figura 22. Cinética de Flotación de Plata con Diferente Granulometría



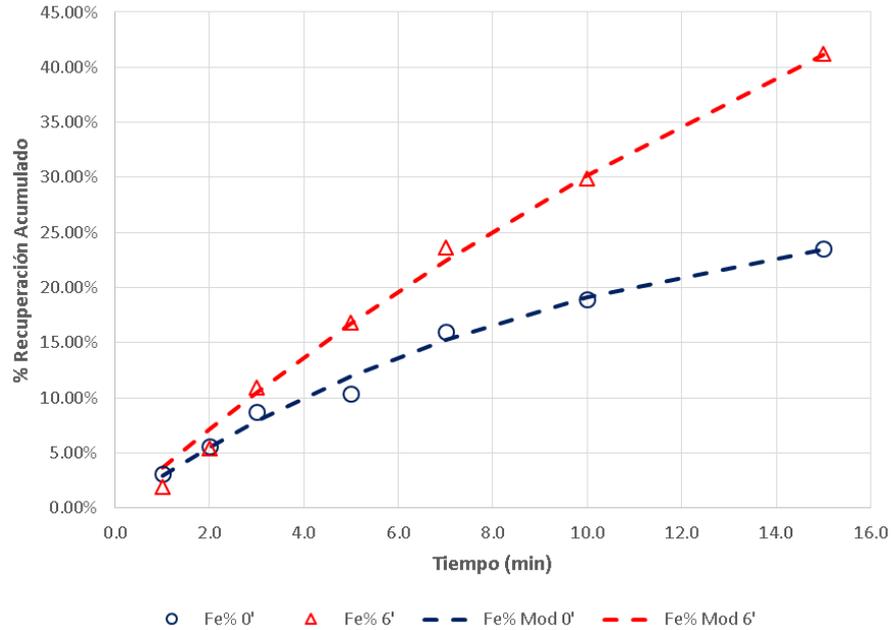
La línea roja corresponde a la flotación de plata en un grado de liberación más fino obteniendo un tiempo de molienda en laboratorio de 6 minutos (66,73% -m200), la cinética es superior que cuando se encuentra de manera gruesa.

Figura 23. Cinética de Flotación de Zinc con Diferente Granulometría



La línea roja corresponde a una flotación de zinc en un grado de liberación más fino (66,73% -m200), la cinética es superior que cuando se encuentra de forma gruesa.

Figura 24. Cinética de Flotación de Hierro con Diferente Granulometría



La línea roja corresponde a una flotación de hierro en un grado de liberación más fino (66,73% -m200), la cinética es superior que cuando se encuentra de forma gruesa.

Tabla 36. Cinética de Flotación – Relave TC-30 N°2 sin Remolienda

Producto	%	LEYES					RECUPERACIONES				
		Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%
Cab Ensy	100,00	31,27	0,06	0,15	0,57	8,30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc Zn I	3,42	85,21	0,21	0,50	2,74	8,57	7,57	12,39	10,28	16,62	3,14
Rlv I Zn		36,88	0,05	0,15	0,49	9,38					
Conc Zn II	3,03	118,18	0,29	0,64	2,11	7,50	9,31	15,17	11,67	11,35	2,43
Rlv II Zn		34,24	0,04	0,14	0,43	9,44					
Conc Zn III	4,07	79,76	0,14	0,41	0,75	7,30	8,42	9,82	10,03	5,41	3,18
Rlv III Zn		32,17	0,04	0,13	0,42	9,53					

Conc Zn IV	2,30	72,73	0,12	0,36	0,59	6,80	4,35	4,77	4,98	2,41	1,68
Rlv IV Zn		31,10	0,04	0,12	0,42	9,61					
Conc Zn V	6,99	60,96	0,07	0,26	0,47	7,46	11,06	8,44	10,93	5,83	5,58
Rlv V Zn		28,49	0,04	0,11	0,41	9,79					
Conc Zn VI	4,17	59,29	0,06	0,25	0,37	6,60	6,42	4,31	6,27	2,74	2,94
Rlv VI Zn		26,80	0,03	0,10	0,41	9,97					
Conc Zn VII	657,00	60,43	0,06	0,21	0,55	6,48	10,31	6,80	8,29	6,41	4,55
Rlv VII Zn	69,44	23,62	0,03	0,09	0,40	10,30	42,57	38,31	37,56	49,24	76,50
Cab Calc	100,00	38,53	0,06	0,17	0,56	9,35	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							57,43			50,76	23,50

Tabla 37. Cinética de Flotación – Relave TC-30 N°2 con Remolienda

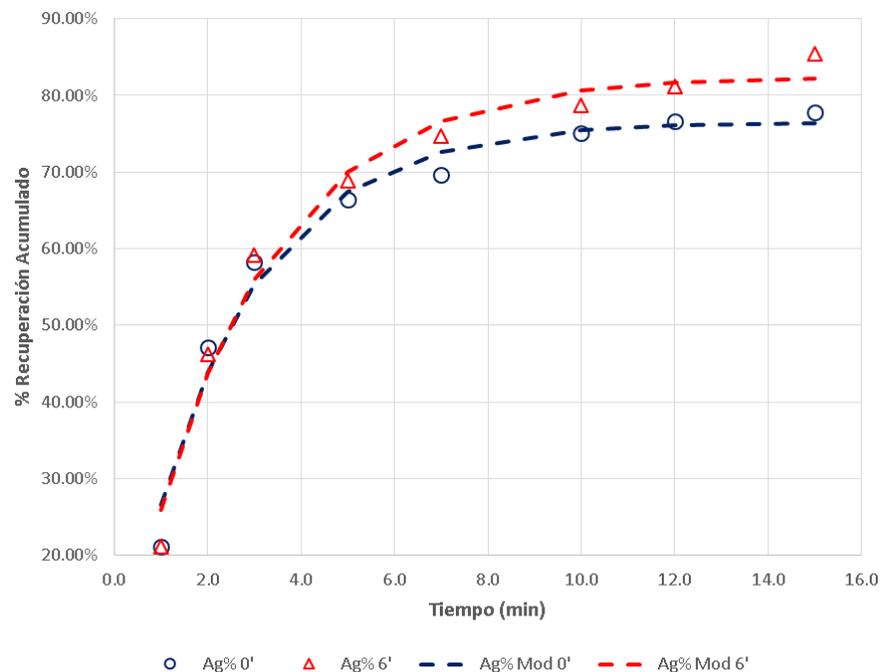
Producto	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES				
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	31,27	0,06	0,15	0,57	8,30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc Zn I	1,97	194,69	0,52	0,92	7,68	8,52	8,42	17,01	10,20	28,21	1,95
Rlv I Zn		42,48	0,05	0,16	0,39	8,61					
Conc Zn II	3,23	157,56	0,35	0,79	2,76	9,33	11,19	18,80	14,38	16,65	3,50
Rlv II Zn		38,56	0,04	0,14	0,31	8,58					
Conc Zn III	5,36	105,05	0,15	0,47	0,71	8,83	12,39	13,38	14,21	7,11	5,50
Rlv III Zn		34,57	0,03	0,12	0,29	8,57					
Conc Zn IV	5,96	84,98	0,10	0,32	0,45	8,42	11,14	9,91	10,75	5,01	5,83
Rlv IV Zn		30,97	0,03	0,11	0,28	8,57					
Conc Zn V	7,81	60,51	0,05	0,22	0,33	7,57	10,39	6,49	9,68	4,81	6,86
Rlv V Zn		27,93	0,03	0,10	0,27	8,68					
Conc Zn VI	7,31	57,68	0,05	0,20	0,29	7,36	9,27	6,08	8,24	3,96	6,25
Rlv VI Zn		24,74	0,02	0,08	0,27	8,83					

Conc Zn VII	11,01	57,32	0,04	0,16	0,26	8,86	13,88	7,33	9,93	5,35	11,33
Rlv VII Zn	57,35	18,49	0,02	0,07	0,27	8,82	23,32	20,99	22,62	28,91	58,77
Cab Calc	100,00	45,47	0,06	0,18	0,54	8,61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							76,68		71,09	41,23	

Análisis 08:

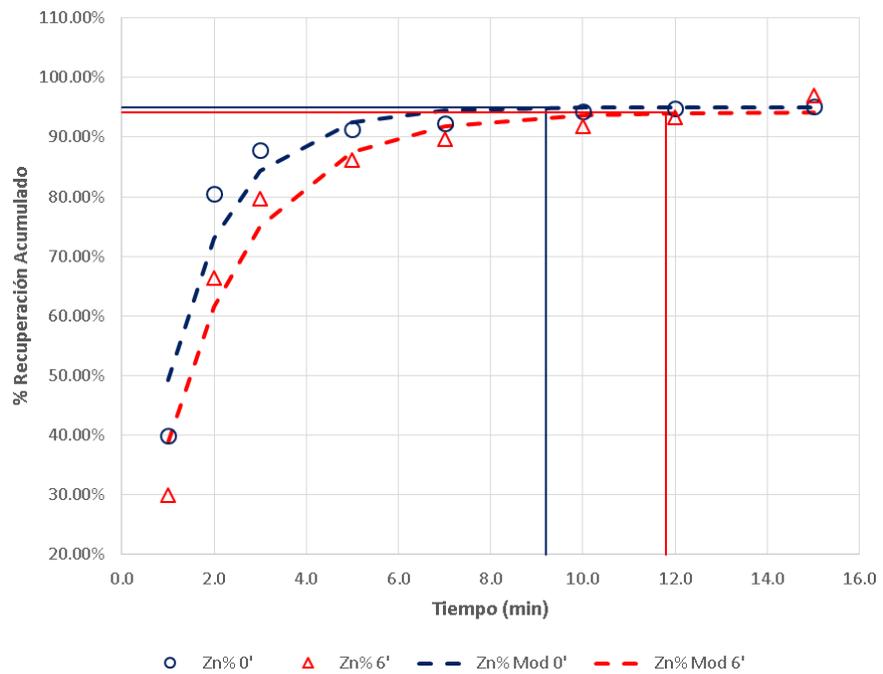
Se llevó a cabo un estudio de cinética de flotación con la muestra de cabeza de zinc para comparar la flotación de la etapa de zinc mediante la modificación de las condiciones de molienda de acuerdo con la optimización de las variables emitidas por el diseño (Tabla 38 y 39), lo que se muestra gráficamente como lo siguiente:

Figura 25. Cinética de Flotación de Plata con Diferente Granulometría



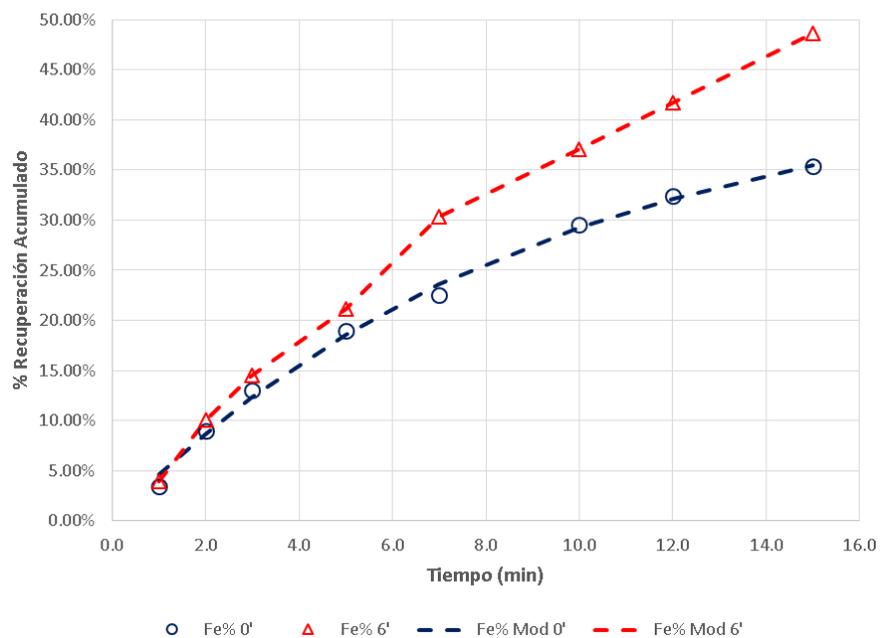
La línea roja corresponde a la flotación de plata en un grado de liberación más fino obteniendo un tiempo de molienda en laboratorio de 6 minutos, la cinética es superior que cuando se encuentra de manera gruesa.

Figura 26. Cinética de Flotación de Zinc con Diferente Granulometría



La línea roja corresponde a una flotación de zinc en un grado de liberación más fino (6 minutos de liberación), la cinética es casi inferior en los primeros minutos para luego ser casi constante, que cuando se encuentra de forma gruesa.

Figura 27. Cinética de Flotación de Hierro con Diferente Granulometría



La línea roja corresponde a una flotación de hierro en un grado de liberación más fino (6 minutos de liberación), la cinética es superior que cuando se encuentra de forma gruesa.

Tabla 38. Cinética de Flotación – Cabeza de Zinc sin Remolienda

Producto	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES				
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	60,80	0,18	0,20	4,70	10,45	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc Zn I	5,27	227,91	0,89	0,51	36,59	6,18	21,09	25,22	12,89	39,98	3,46
Rlv I Zn		47,44	0,15	0,19	3,06	9,60					
Conc Zn II	6,80	218,46	0,84	0,66	28,75	7,59	26,09	30,73	21,52	40,55	5,48
Rlv II Zn		34,21	0,09	0,16	1,07	9,75					
Conc Zn III	4,20	149,53	0,65	0,56	8,46	9,14	11,02	14,67	11,27	7,36	4,07
Rlv III Zn		28,43	0,07	0,14	0,70	9,78					
Conc Zn IV	5,89	78,79	0,28	0,38	2,74	9,46	8,15	8,88	10,74	3,35	5,92
Rlv IV Zn		24,62	0,05	0,12	0,54	9,81					
Conc Zn V	4,23	44,66	0,11	0,22	1,28	8,05	3,32	2,50	4,46	1,12	3,62
Rlv V Zn		23,46	0,05	0,11	0,50	9,91					
Conc Zn VI	7,36	42,26	0,09	0,18	1,31	8,93	5,46	3,56	6,35	2,00	6,98
Rlv VI Zn		21,37	0,04	0,10	0,41	10,02					
Conc Zn VII	3,41	24,37	0,05	0,13	0,52	7,94	1,46	0,92	2,13	0,37	2,88
Rlv VII Zn		21,21	0,04	0,10	0,40	10,13					
Conc Zn VIII	3,55	20,06	0,04	0,13	0,48	7,84	1,25	0,76	2,21	0,35	2,96
Rlv VIII Zn	59,28	21,28	0,04	0,10	0,40	10,27	22,15	12,75	28,42	4,92	64,64
Cab Calc	100,00	56,95	0,19	0,21	4,82	9,42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							77,15			95,08	35,36

Tabla 39. Cinética de Flotación – Cabeza de Zinc con Remolienda

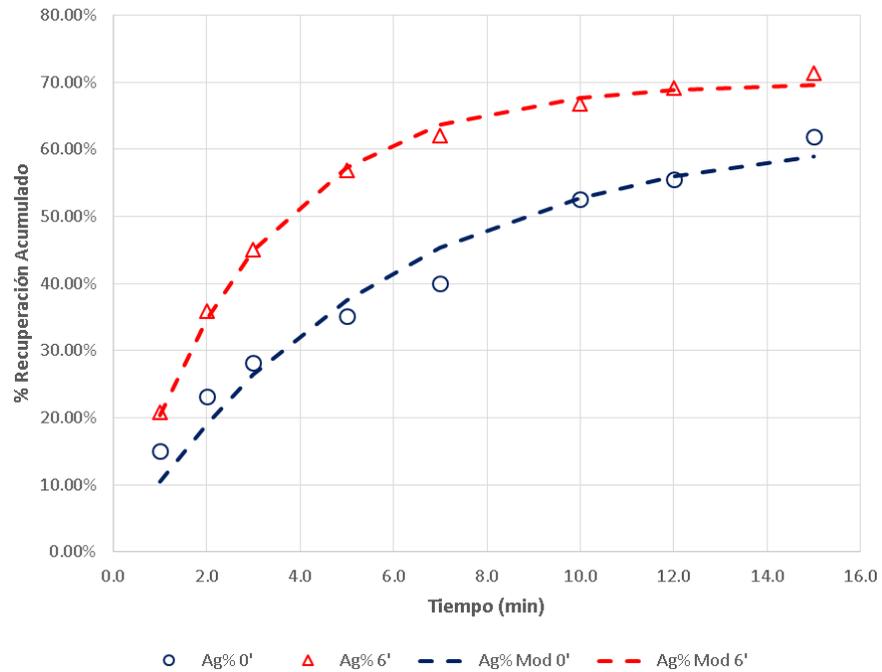
Producto	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES				
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	60,80	0,18	0,20	4,70	10,45	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc Zn I	5,22	229,43	1,03	0,61	25,25	7,01	21,10	26,89	15,33	29,99	3,93
Rlv I Zn		47,28	0,15	0,19	3,25	9,45					
Conc Zn II	7,26	197,04	0,92	0,63	22,04	7,85	25,19	33,39	22,01	36,40	6,12
Rlv II Zn		34,86	0,09	0,15	1,69	9,58					
Conc Zn III	4,78	153,61	0,59	0,55	12,17	8,65	12,92	14,09	12,64	13,22	4,43
Rlv III Zn		28,00	0,06	0,13	1,08	9,63					
Conc Zn IV	6,94	79,04	0,25	0,31	4,18	8,96	9,66	8,68	10,36	6,60	6,68
Rlv IV Zn		23,33	0,04	0,11	0,80	9,69					
Conc Zn V	9,16	36,32	0,08	0,15	1,69	9,36	5,86	3,66	6,61	3,52	9,20
Rlv V Zn		21,54	0,04	0,10	0,68	9,74					
Conc Zn VI	7,44	30,17	0,07	0,16	1,22	8,39	3,95	2,60	5,73	2,06	6,70
Rlv VI Zn		20,46	0,04	0,10	0,61	9,91					
Conc Zn VII	4,85	28,45	0,06	0,14	1,45	8,94	2,43	1,45	3,27	1,60	4,65
Rlv VII Zn		19,74	0,03	0,09	0,53	10,00					
Conc Zn VIII	7,21	33,88	0,06	0,17	2,13	8,92	4,30	2,16	5,90	3,50	6,91
Rlv VIII Zn	47,13	17,58	0,03	0,08	0,29	10,16	14,59	7,07	18,14	3,11	51,38
Cab Calc	100,00	56,79	0,20	0,21	4,40	9,32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							85,41			96,89	48,62

Análisis 09:

Se realizó un estudio de cinética de flotación con la muestra del Relave de la celda WS-300, para comparar la flotación de la etapa zinc variando condiciones

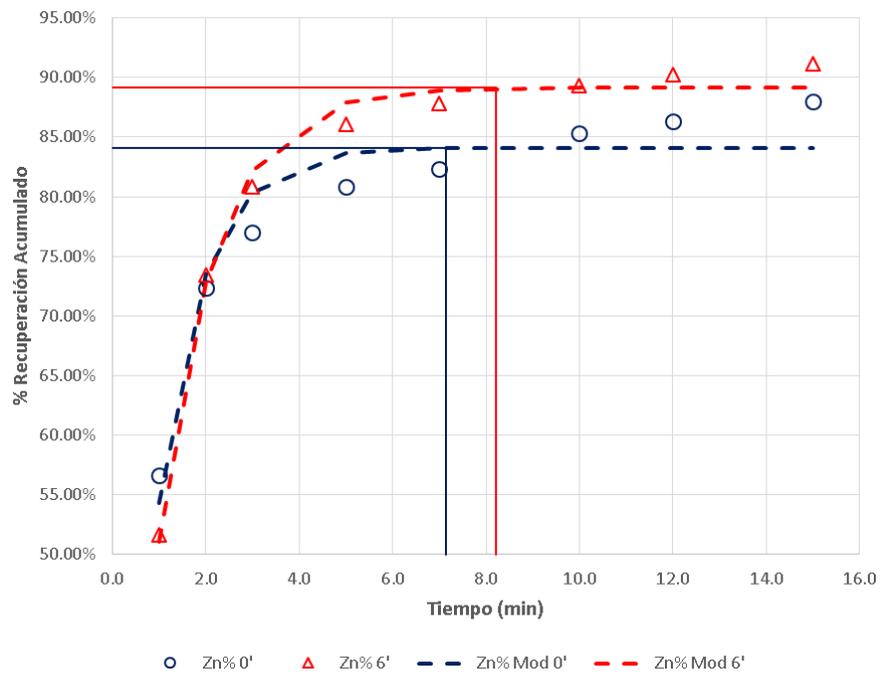
de molienda de acuerdo a la optimización de las variables emitidas por el diseño (Tabla 40 y 41) y que gráficamente determina lo siguiente:

Figura 28. Cinética de Flotación de Plata con Diferente Granulometría



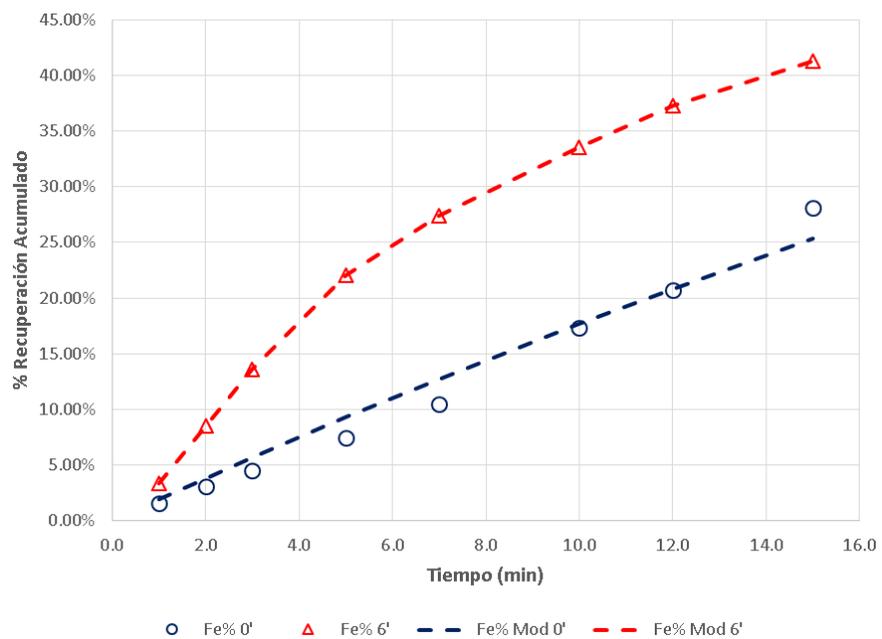
La línea roja corresponde a la flotación de plata en un grado de liberación más fino obteniendo un tiempo de molienda en laboratorio de 6 minutos, la cinética es superior que cuando se encuentra de manera gruesa

Figura 29. Cinética de Flotación de Zinc con Diferente Granulometría



La línea roja corresponde a una flotación de zinc en un grado de liberación más fino (6 minutos de liberación), la cinética es casi constante en los primeros minutos para luego ser superior, que cuando se encuentra de forma gruesa.

Figura 30. Cinética de Flotación de Hierro con Diferente Granulometría



La línea roja corresponde a una flotación de hierro en un grado de liberación más fino (6 minutos de liberación), la cinética es superior que cuando se encuentra de forma gruesa.

Tabla 40. Cinética de Flotación – Relave WS-300 sin Remolienda

Producto	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES				
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	36,20	0,08	0,12	2,17	10,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc Zn I	2,61	211,52	0,55	0,70	44,22	6,33	15,11	19,29	10,09	56,60	1,55
Rlv I Zn		31,80	0,06	0,17	0,91	10,73					
Conc Zn II	1,65	177,97	0,49	0,71	19,51	9,85	8,04	10,86	6,47	15,79	1,53
Rlv II Zn		29,28	0,05	0,16	0,59	10,75					
Conc Zn III	1,26	147,84	0,43	0,59	7,42	12,34	5,10	7,28	4,10	4,58	1,46
Rlv III Zn		27,71	0,05	0,15	0,50	10,73					
Conc Zn IV	2,56	99,12	0,28	0,45	3,07	12,17	6,94	9,63	6,36	3,86	2,93
Rlv IV Zn		25,72	0,04	0,14	0,42	10,69					
Conc Zn V	2,77	63,86	0,16	0,31	1,09	11,58	4,85	5,96	4,75	1,48	3,02
Rlv V Zn		24,53	0,04	0,14	4,00	10,66					
Conc Zn VI	6,84	67,35	0,12	0,27	0,90	10,60	12,62	11,04	10,21	3,02	6,82
Rlv VI Zn		20,98	0,03	0,13	0,36	10,66					
Conc Zn VII	3,87	27,58	0,06	0,19	0,51	9,24	2,93	3,13	4,07	0,97	3,37
Rlv VII Zn		20,65	0,03	0,12	0,36	10,73					
Conc Zn VIII	8,41	27,77	0,04	0,16	0,40	9,42	6,40	4,53	7,44	1,65	7,46
Rlv VIII Zn	70,05	19,80	0,03	0,12	0,35	10,89	38,02	28,28	46,50	12,04	71,85
Cab Calc	100,00	36,48	0,07	0,18	2,04	10,62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							61,98			87,96	28,15

Tabla 41. Cinética de Flotación – Relave WS-300 con Remolienda

Producto	% Peso	LEYES					RECUPERACIONES				
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Cab Ensy	100,00	36,20	0,08	0,12	2,17	10,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Conc Zn I	4,36	169,00	0,47	0,54	23,46	7,83	20,76	25,67	14,44	51,66	3,32
Rlv I Zn		29,52	0,06	0,15	1,00	10,39					
Conc Zn II	5,40	99,36	0,27	0,40	7,98	9,91	15,05	18,25	13,24	21,74	5,20
Rlv II Zn		25,34	0,05	0,13	0,58	10,42					
Conc Zn III	4,99	66,00	0,17	0,31	2,96	10,43	9,25	10,63	9,49	7,46	5,07
Rlv III Zn		22,96	0,04	0,12	0,44	10,42					
Conc Zn IV	8,56	49,26	0,11	0,24	1,20	10,12	11,83	11,79	12,60	5,19	8,43
Rlv IV Zn		20,02	0,04	0,11	0,36	10,45					
Conc Zn V	5,77	31,96	0,07	0,19	0,60	9,61	5,17	5,06	6,72	1,75	5,39
Rlv V Zn		19,05	0,03	0,10	0,34	10,52					
Conc Zn VI	6,98	23,80	0,04	0,14	0,44	8,98	4,66	3,49	5,99	1,55	6,09
Rlv VI Zn		18,53	0,03	0,10	0,33	10,69					
Conc Zn VII	4,35	19,95	0,05	0,14	0,42	8,99	2,44	2,72	3,73	0,92	3,80
Rlv VII Zn		18,43	0,03	0,09	0,32	10,81					
Conc Zn VIII	4,82	15,80	0,03	0,12	0,36	8,57	2,14	1,81	3,55	0,88	4,02
Rlv VIII Zn	54,77	18,66	0,03	0,09	0,32	11,01	28,69	20,58	30,23	8,85	58,67
Cab Calc	100,00	35,62	0,08	0,16	10,28	10,28	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
							71,31			91,15	41,33

Análisis 10:

Se efectúan los balances Proyectados (Tabla 48, 49, 50, 51, 52 y 53), para comparar la variabilidad de recuperación la etapa zinc variando condiciones de molienda y que determina lo siguiente:

Tabla 42. Balance Proyectado sin Remolienda – Cabeza de Zinc

FLUJO	PESO		LEYES			RECUPERACIONES			
	%	Ag g/Tn	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zinc	6,89	369,03	54,58	2,80	1,93	45,42	86,70	2,10	89,55
Relave General	93,11	32,83	0,62	9,65	2,53	54,58	13,30	97,90	10,45
Cabeza Total	100,00	56,01	4,34	9,18	2,49	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 43. Balance Proyectado con Remolienda – Cabeza de Zinc

FLUJO	PESO		LEYES			RECUPERACIONES			
	%	Ag g/Tn	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zinc	8,34	348,29	47,23	3,40	1,99	49,79	86,38	3,12	89,52
Relave General	91,66	31,96	0,68	9,60	2,54	50,21	13,62	96,88	10,48
Cabeza Total	100,00	58,34	4,56	9,08	2,49	100,00	100,00	100,00	100,00

Al aumentar el grado de liberación, la recuperación de Ag se incrementa en 4,37% con respecto al balance proyectado sin remoler, en el caso de la recuperación de Zn se mantiene casi constante la recuperación.

Tabla 44. Balance Proyectado sin Remolienda – Relave Celda WS-300

FLUJO	PESO		LEYES			RECUPERACIONES			
	%	Ag g/Tn	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zinc	2,99	284,33	51,31	4,31	1,71	26,35	80,61	1,29	87,22
Relave General	97,01	24,48	0,38	10,12	2,91	73,65	19,39	98,71	12,78
Cabeza Total	100,00	32,24	1,90	9,95	2,87	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 45. Balance Proyectado con Remolienda – Relave Celda WS-300

FLUJO	PESO %	LEYES				RECUPERACIONES			
		Ag g/Tn	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zinc	3,48	285,31	47,03	3,99	1,79	29,39	81,93	1,46	88,02
Relave General	96,52	24,74	0,37	9,70	2,81	70,61	18,07	98,54	11,98
Cabeza Total	100,00	33,82	2,00	9,50	2,77	100,00	100,00	100,00	100,00

Al aumentar el grado de liberación, las recuperaciones de Ag y Zn se incrementan en 3,04% y 1,32% respectivamente con respecto al balance proyectado sin aumentar el grado de liberación.

Tabla 46. Balance Proyectado sin Remolienda – Relave Celda TC-30 N° 2

FLUJO	PESO %	LEYES				RECUPERACIONES			
		Ag g/Tn	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zinc	1,40	453,33	33,60	3,82	0,00	20,95	51,52	0,72	0,00
Relave General	98,60	24,35	0,45	7,52	0,00	79,05	48,48	99,28	0,00
Cabeza Total	100,00	30,37	0,92	7,47	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00

Tabla 47. Balance Proyectado con Remolienda – Relave Celda TC-30 N° 2

FLUJO	PESO %	LEYES				RECUPERACIONES			
		Ag g/Tn	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zinc	1,32	607,64	38,40	4,95	0,00	25,08	53,31	1,06	0,00
Relave General	98,68	24,21	0,45	6,19	0,00	74,92	46,69	98,94	0,00
Cabeza Total	100,00	31,89	0,95	6,17	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Al aumentar el grado de liberación, las recuperaciones de Ag y Zn se incrementan en 4,13% y 1,79% respectivamente con respecto al balance proyectado sin aumentar el grado de liberación.

Tabla 48. Flotación Batch – Relave TC-30 N°2 sin Remolienda

Producto	%	LEYES						RECUPERACIONES					
		Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Conc Zn	0,22	453,33	0,82	0,67	33,60	3,82		2,97	2,82	1,08	7,89	0,11	
Medio II Zn	0,86	250,89	0,87	0,74	11,59	6,35		6,52	11,89	4,75	10,80	0,71	
Medio I Zn	2,38	175,76	0,43	0,61	12,40	11,06		12,68	16,29	10,86	32,05	3,44	
Scv Zn	2,29	78,66	0,20	0,33	1,07	9,88		5,48	7,42	5,67	2,67	2,97	
Total Zinc	5,74	158,64	0,42	0,52	8,55	9,61		27,65	38,43	22,36	53,41	7,23	
Relave	94,26	25,30	0,04	0,11	0,45	7,52		72,35	61,57	77,64	46,41	92,77	
Cab Calc	100,00	32,96	0,06	0,13	0,92	7,64		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Tabla 49. Flotación Batch – Relave TC-30 N°2 con Remolienda

Producto	%	LEYES						RECUPERACIONES					
		Peso	Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%
Conc Zn	0,53	607,64	1,98	1,21	38,40	4,95		6,83	15,11	3,75	21,43	0,33	
Medio III Zn	0,68	272,67	1,13	1,00	11,27	8,12		3,94	11,07	3,98	8,09	0,67	
Medio II Zn	2,07	179,29	0,37	0,63	5,97	9,49		7,90	11,19	7,65	13,06	2,38	
Medio I Zn	5,10	104,96	0,12	0,40	1,19	9,39		11,37	9,12	11,94	6,40	5,79	
Scv Zn	9,32	115,38	0,11	0,35	0,78	19,74		22,84	15,19	19,09	7,67	22,25	
Total Zinc	8,39	296,93	0,51	0,95	6,41	30,97		52,89	61,68	46,40	56,65	31,40	
Relave	91,61	24,21	0,03	0,10	0,45	6,19		47,11	38,32	53,60	43,35	68,59	
Cab Calc	100,00	47,08	0,07	0,17	0,95	8,27		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Tabla 50. Flotación Batch – Cabeza de Zinc sin Remolienda

Producto	% Peso	LEYES						RECUPERACIONES					
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zn	5,56	369,03	1,26	0,71	54,58	2,80	1,93	30,98	41,69	19,85	69,92	1,71	4,30
Medio III Zn	1,55	318,35	1,15	1,07	9,17	6,64	2,20	7,44	10,58	8,32	3,27	1,13	1,36
Medio II Zn	2,69	115,10	0,52	0,56	3,03	8,40	2,56	6,30	8,32	7,57	1,88	2,49	2,76
Medio I Zn	16,24	75,86	0,18	0,24	3,84	9,03	2,54	18,61	17,40	19,61	14,37	16,14	16,64
Total Zinc	26,04	161,07	0,50	0,42	14,91	7,49	2,39	63,33	77,99	55,36	89,43	21,47	24,97
Relave	73,96	32,83	0,05	0,12	0,62	9,65	2,53	36,67	22,01	44,64	10,57	78,53	75,03
Cab Calc	100,00	66,22	0,17	0,20	4,34	9,09	2,49	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 51. Flotación Batch – Cabeza de Zinc con Remolienda

Producto	% Peso	LEYES						RECUPERACIONES					
		Ag g/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zn	6,29	348,29	1,36	0,81	47,23	3,40	1,99	31,90	42,33	24,17	65,13	2,38	5,02
Medio III Zn	2,58	141,27	0,30	0,40	9,54	8,83	2,57	5,30	3,83	4,89	5,39	2,54	2,66
Medio II Zn	5,24	94,13	0,46	0,57	4,25	7,77	2,52	7,18	11,93	14,17	4,88	4,53	5,29
Medio I Zn	20,97	83,18	0,28	0,23	3,25	9,05	2,49	25,40	29,06	22,88	14,94	21,13	20,93
Total Zinc	35,07	136,63	0,50	0,40	11,75	7,83	2,41	69,78	87,14	66,11	90,35	30,58	33,89
Relave	64,93	31,96	0,04	0,11	0,68	9,60	2,54	30,22	12,86	33,89	9,65	69,42	66,11
Cab Calc	100,00	68,66	0,20	0,21	4,56	8,98	2,49	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 52. Flotación Batch – Relave WS-300 sin Remolienda

Producto	% Peso	LEYES						RECUPERACIONES					
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zn	1,79	284,33	0,75	0,53	51,31	4,31	1,71	13,89	16,97	6,84	48,32	0,77	1,07
Medio III Zn	1,34	211,41	0,72	0,61	29,84	6,83	1,59	7,74	12,20	5,89	21,04	0,91	0,74
Medio II Zn	2,30	134,68	0,40	0,48	6,77	11,36	2,73	8,44	11,61	7,95	8,13	2,61	2,19
Medio I Zn	12,92	43,70	0,11	0,22	0,91	10,22	2,88	15,41	17,96	20,49	6,18	13,19	13,00
Total Zinc	18,35	90,83	0,25	0,31	8,67	9,54	2,65	45,48	58,74	41,17	83,68	17,48	17,01
Relave	81,65	24,48	0,04	0,10	0,38	10,12	2,91	54,52	41,26	58,83	16,32	82,52	82,99
Cab Calc	100,00	36,65	0,08	0,14	1,90	10,01	2,86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 53. Flotación Batch – Relave WS-300 con Remolienda

Producto	% Peso	LEYES						RECUPERACIONES					
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%
Conc Zn	2,57	285,31	1,01	0,83	47,03	3,99	1,79	18,97	32,85	15,38	60,52	1,05	1,69
Medio III Zn	1,09	164,07	0,55	0,55	16,81	7,71	2,29	4,63	7,60	4,33	9,19	0,86	0,92
Medio II Zn	3,55	67,35	0,17	0,23	3,33	9,57	2,75	6,17	7,62	5,87	5,91	3,48	3,57
Medio I Zn	22,08	43,86	0,09	0,18	1,01	10,75	2,60	25,02	25,11	28,61	11,15	24,32	21,03
Total Zinc	29,29	62,41	0,20	0,26	5,92	9,90	2,54	54,80	73,19	54,19	86,76	29,71	27,21
Relave	70,71	24,74	0,03	0,09	0,37	9,70	2,81	45,20	26,81	45,81	13,24	70,29	72,79
Cab Calc	100,00	38,70	0,08	0,14	2,00	9,76	2,73	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

4.3. Prueba de hipótesis

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el grado molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.

H₀: **No Existe** suficiente evidencia estadística para sostener que el grado de molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.

H_a: **Existe** suficiente evidencia estadística para sostener que el grado de molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.

Tabla 54. Respuesta % Recuperación Ag - Zn

Ejecución	-m200 %	CuSO ₄ g/Tn	Rec Ag %	Rec Zn %	Rec Fe %	Grado Zn Rlv %
1	58,84	23,8	40,37	45,86	13,28	0,65
2	68,13	23,8	47,82	42,95	16,10	0,65
3	58,84	71,0	43,08	49,78	20,71	0,56
4	68,13	71,0	58,75	62,03	22,82	0,46
5	56,916	47,4	43,98	43,81	14,21	0,65
6	70,054	47,4	54,56	49,81	18,98	0,57
7	63,485	14,0246	53,94	40,00	14,91	0,67
8	63,485	80,7754	51,02	74,98	24,90	0,23
9	63,485	47,4	42,18	64,69	17,87	0,36
10	63,485	47,4	40,53	63,80	15,31	0,34

Tabla 55. Valores de Respuesta y Óptimo

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95,0% Limite	Superior 95,0% Limite	Deseabilidad
Rec Ag	Si	50,0327	43,1662	56,8992	0,525717
Rec Zn	Si	67,3484	59,411	75,2857	0,781828
Rec Fe	Si	20,5979	19,0419	22,1538	0,363571
Grado Zn Rlv	Si	0,342301	0,228141	0,45646	0,746315

Nota, Deseabilidad optimizada = 0,577888

$$\text{Rec Zn} = -1617,58 + 53,0767 \cdot \text{-m200} - 1,15127 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,427155 \cdot \text{-m200}^2 + 0,0345734 \cdot \text{-m200} \cdot \text{CuSO}_4 - 0,00695965 \cdot \text{CuSO}_4^2$$

Podemos concluir del estudio estadístico realizado que se acepta la hipótesis porque las dos variables tienen un impacto significativo en la recuperación de zinc, con la molienda óptima del 66,7% en malla 200 y el

consumo de sulfato de cobre de 63 gramos por metro cúbico, lo que resulta en una recuperación del 53,31%, un aumento del 1,79%.

Tabla 56. Factores Establecidos y Óptimo

<u>Factor</u>	<u>Establecimiento</u>
-m200	66,7374
CuSO ₄	63,0478

Después del análisis estadístico, llegamos a la conclusión de que se acepta la hipótesis del diseño octogonal: el consumo ideal de sulfato de cobre ocurre cuando el grado de molienda ideal es de 66,7% malla menos 200. El consumo de sulfato de cobre en el pasado era de 75 gramos por metro cúbico con un grado de molienda del 55 % malla menos 200.

Podemos concluir del estudio estadístico realizado que se acepta la hipótesis porque las dos variables tienen un impacto significativo en la recuperación de plata: la molienda óptima es del 66,7% de malla-200 y el consumo de sulfato de cobre es de 63 gramos por metro cúbico, lo que resulta en una recuperación del 25,08% y un aumento del 4,13%, El siguiente modelo se obtiene de acuerdo con nuestro diseño octogonal:

$$\text{Rec Ag} = 631,232 - 18,1948 \cdot \text{-m200} - 1,94312 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,144373 \cdot \text{-m200}^2 + 0,0187462 \cdot \text{-m200} \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00847457 \cdot \text{CuSO}_4^2$$

4.4. Discusión de resultados

El resultado indica que, de acuerdo con la evaluación estadística realizada, se cumplen los objetivos, ya que las dos variables tienen un impacto significativo en la recuperación de zinc; la molienda óptima es del 66,7% de malla menos 200 y el consumo de sulfato de cobre es de 63 gramos por metro cúbico, lo que resulta en una recuperación del 53,31%, un aumento del 1,79%.

Los modelos matemáticos obtenidos para el porcentaje de Recuperación de Ag, Zn, Fe y el desplazamiento de Zn al relave final son:

$$\text{Rec Ag} = 631,232 - 18,1948 \cdot m_{200} - 1,94312 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,144373 \cdot m_{200}^2 + 0,0187462 \cdot m_{200} \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00847457 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

$$\text{Rec Zn} = -1617,58 + 53,0767 \cdot m_{200} - 1,15127 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,427155 \cdot m_{200}^2 + 0,0345734 \cdot m_{200} \cdot \text{CuSO}_4 - 0,00695965 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

$$\text{Rec Fe} = -9,24949 + 0,40935 \cdot m_{200} - 0,0285931 \cdot \text{CuSO}_4 - 0,000144887 \cdot m_{200}^2 - 0,0016192 \cdot m_{200} \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00296588 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

$$\text{Grado Zn Rlv} = 27,1253 - 0,833511 \cdot m_{200} - 0,000938833 \cdot \text{CuSO}_4 + 0,00660459 \cdot m_{200}^2 - 0,000228056 \cdot m_{200} \cdot \text{CuSO}_4 + 0,000112216 \cdot \text{CuSO}_4^2.$$

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el grado de molienda y la dosificación del reactivo activador estudiados tienen un impacto significativo en la recuperación de zinc en la celda de flotación rouguer de zinc TC-30 N°2 de la empresa minera, Pasco 2023.

CONCLUSIONES

Reemplazando las ecuaciones de ambas variables, se muestra que el grado de liberación es de 66,73% -m200 y el consumo de CuSO_4 es de 63,05 gramos por tonelada. El desplazamiento de zinc al relave final es del 0,34% y la recuperación de hierro es del 20,60%.

La consistencia estadística del estudio nos permite evaluar las ecuaciones para valores tentativos. Ello será que las recuperaciones de Ag y Zn serán de 50,03% y 67,35% (para la etapa de la cinética de flotación); para tal caso se obtendrán las siguientes variables optimas:

$$\text{Grado de Liberación} = 66,73 \text{ \% -m200.}$$

$$\text{CuSO}_4 = 63,05 \text{ g/Tn.}$$

El estudio de cinética de flotación compara la flotación de la etapa de zinc utilizando diferentes condiciones de molienda; descubre que las recuperaciones de plata, zinc y hierro aumentan con el grado de liberación más alto.

Se puede observar que con un grado de liberación más fino (66,73% -m200), el tiempo de flotación tiende a disminuir (8 minutos). Es importante destacar que el tiempo de escala de la planta desde el punto de relave de la celda TC-30 N° 2 es de 4 minutos, lo que indica que faltaría tiempo de flotación a pesar de aumentar el grado de liberación. Por lo tanto, se decidió realizar las evaluaciones en los puntos de cabeza de zinc y relave de la celda WS-300.

En los balances propuestos, se establece que, para el punto de la cabeza de zinc, la recuperación de zinc no mejora al aumentar el grado de liberación (1,32%), para el punto de relave de la celda WS-300, la recuperación de zinc si mejora al aumentar el grado de liberación (1,32%), y para el punto de relave de la celda TC-30 número 2 (1,79%).

Al verificar que se requiere un mayor tiempo de flotación después de la liberación, se elegirá el punto de relave de la celda WS-300 porque es una etapa anterior para lograr un mayor tiempo de flotación en el circuito de Zn. Por lo tanto, se realizaría un diseño de optimización en este punto para establecer el corte de malla requerido.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas adicionales para mejorar la toma de decisiones en lo que se refiere a la molienda y dosificación de reactivos adecuados que maximicen la recuperación.

Equipar y dar mantenimiento los equipos del laboratorio de ingeniería metalúrgica en los laboratorios pedagógicos.

Mejorar los procedimientos de calibración de equipos de medición como balanzas, potenciómetros, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

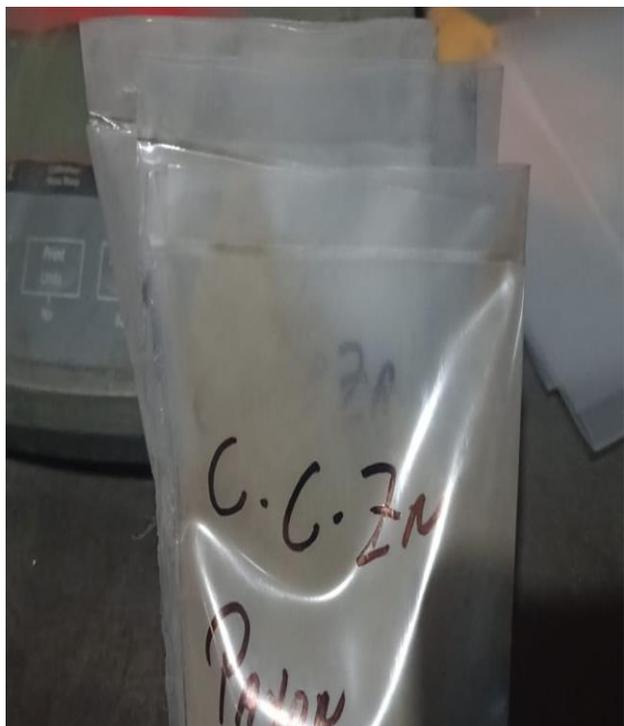
- Abarca Rodriguez, J. J. (2011). *Flotación de Minerales*. Huacho - Peru.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. Caracas - Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A.
- Azañero Ortiz, A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. Lima: Colecciones Jóvic.
- Calle Romero, A. E. (2023). *Obtención de sulfuros de zinc de una mena polimetálica mediante flotación selectiva en la mina Cristian David, Pasaje - El Oro*. Ecuador.
- Condor Salvador, c., & Huaman Esteban, S. (2021). *EVALUACIÓN METALÚRGICA PARA ELEGIR EL COLECTOR OPTIMO EN LA FLOTACIÓN DE ZINC EN MINERALES POLIMETÁLICOS EN LA UNIDAD MINERA ALPAMARCA*. Huancayo.
- Cortez Marcelo, C. (2019). *Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía Minera Volcan S.A.A.- 2019*. Cerro de Paco.
- George, Stuart, & William. (2005). *Estadística para Investigadores diseño, innovación y descubrimiento*. México: Reveté.
- Gutiérrez, H., & Vara, R. d. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: McGraw-Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.
- León, M. E. (2002). *Técnicas de Investigación Cualitativa y Cuantitativa FAD UAEMex*. Mexico.
- Marcos, U. N. (2013). *Flotación de 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>
- Medina Toledo, A. A. (2023). *Análisis comparativos de flotación y cianuración en la recuperación de oro de material de mina San Juan, en el cantón y parroquia Portovelo, provincia El Oro*. Ecuador.
- Novoa Delgado, G. I., & Vargas Espinoza, L. A. (2013). *Variable y Propiedades que influyen en el proceso de flotación*. Antofagasta - Chile: Universidad Católica del Norte.
- Optimización del circuito de zinc para mejorar la recuperación y selectividad del concentrado de zinc en Minera Bateas S.A.C.* (2021). Obtenido de Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo:
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6773/T010_4729

- Paucar, A. I. (2020). *Optimización en la Recuperación de zinc de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú- Huancavelica*. Lima - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Peñuelas, M. A. (2010). *Métodos de Investigación*. Mexico: D.R. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Sebastian, C. D. (2019). *Flotación de Zn marmatítica con alto contenido de pirrotita*. Huacho - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Valdiviezo Torres, D. R. (2013). *Efecto del tamaño de grano, pH y tipo de colectores en la flotabilidad del mineral de Skarn Aurífero de los Condominios Norte y Sur, del yacimiento minero Nambija*. Ecuador.
- Vera Davila, C. (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*. . Obtenido de Tesis, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa.: <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 45 kg



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



Anexo 3: Matriz de consistencia

Tema: “Efecto de la molienda y dosificación de reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS		
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
¿Cuál es el efecto de la molienda y la dosificación de reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de la molienda y la dosificación de reactivo activador en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el grado molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.	VARIABLE INDEPENDIENTE	
			Molienda y dosificación de reactivo activador	Enfoque investigación cuantitativa, Tipo de investigación aplicada - tecnológica, Nivel explicativo. Diseño experimental. Técnicas: de medición, Instrumentos: equipos y materiales. Población: mineral alimentado en celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera. Nuestra sub grupo de 15 kg. Tratamiento de datos Excel, Minita.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA		
¿Cuál es el efecto del grado molienda en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto del grado molienda en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que grado de molienda estudiado influye significativamente en el consumo sulfato de cobre en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.		
¿Cuál es el efecto de la dosificación de sulfato de cobre en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de la dosificación de sulfato de cobre en la recuperación de zinc en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el grado de molienda y dosificación de reactivo activador estudiados influyen significativamente en la recuperación de plata en la celda TC-30 N°2 de flotación rouguer de zinc en empresa minera, Pasco 2023.	VARIABLE DEPENDIENTE	
			Recuperación	