



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Optimización de los tiempos operativos en el área de control de calidad
mediante el análisis XRF en húmedo del concentrado de cobre en una
empresa minera del terminal portuario de Matarani, 2025**

Tesis presentada por:

Malaga Alvarez, Jasson

ORCID: 0009-0009-4960-1716

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesora:

Dra. Lopez Casaperalta De Diaz, Patricia Yaneth

ORCID: 0000-0001-5853-2833

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 28 de Mayo del 2026

Dictamen: 017283-C-EPIM-2026

Visto el borrador del expediente 017283, presentado por:

2017801821 - MALAGA ALVAREZ JASSON

Titulado:

**OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS OPERATIVOS EN EL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD
MEDIANTE EL ANÁLISIS XRF EN HÚMEDO DEL CONCENTRADO DE COBRE EN UNA EMPRESA
MINERA DEL TERMINAL PORTUARIO DE MATARANI, 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK
DICTAMINADOR**



**40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR**



**46969384 - TICONA CORRALES SERGIO
DICTAMINADOR**



Optimización de los tiempos operativos en el área de control de calidad mediante el análisis XRF en húmedo del concentrado de cobre en una empresa minera del terminal portuario de Matarani, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

8 %

FUENTES DE INTERNET

0 %

PUBLICACIONES

4 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

4 %

2

repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

2 %

3

bibvirtual.ucb.edu.bo

Fuente de Internet

1 %

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1 %

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

A mis padres, Marcos Nilton Málaga Zavala y María Sandra Álvarez Butron, por ser un pilar fundamental en mi vida, por su amor incondicional, apoyo a lo largo de mi vida y ser un ejemplo de perseverancia y fuente de motivación para lograr este gran objetivo en mi vida.

A Dios, por brindarme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar este objetivo.

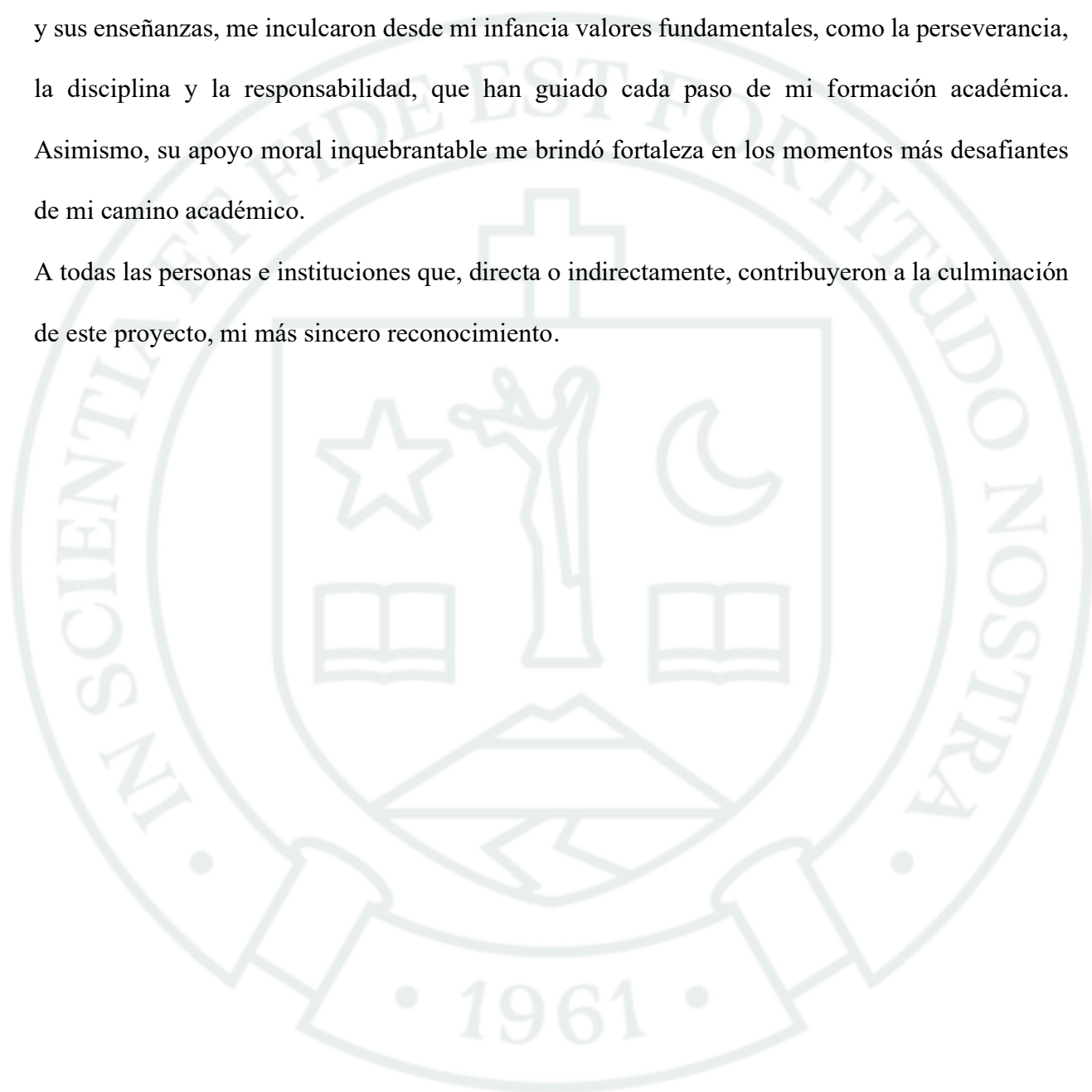


AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme la fortaleza, la claridad y la salud necesarias para alcanzar esta meta.

A mis padres, Marcos Nilton Málaga Zavala y María Sandra Álvarez Butron, que con su ejemplo y sus enseñanzas, me inculcaron desde mi infancia valores fundamentales, como la perseverancia, la disciplina y la responsabilidad, que han guiado cada paso de mi formación académica. Asimismo, su apoyo moral inquebrantable me brindó fortaleza en los momentos más desafiantes de mi camino académico.

A todas las personas e instituciones que, directa o indirectamente, contribuyeron a la culminación de este proyecto, mi más sincero reconocimiento.



RESUMEN

La minería del cobre, un sector crucial para la economía global, enfrenta desafíos operativos relacionados con la eficiencia en los procesos de análisis de concentrado de cobre. Los métodos tradicionales, aunque ampliamente utilizados, presentan limitaciones significativas en cuanto a tiempos de respuesta y precisión, lo que afecta la competitividad y los costos operativos de las empresas mineras. En este contexto, esta investigación tiene como objetivo optimizar los tiempos operativos en el área de control de calidad, implementando un análisis XRF en húmedo del concentrado de cobre en una empresa minera del terminal portuario de Matarani.

El estudio se llevó a cabo durante un periodo de seis meses, donde se compararon los métodos tradicionales de análisis con el modelo propuesto de análisis optimizado. Se evaluó la eficiencia operativa mediante la reducción de los tiempos de análisis, mejorando la precisión de los resultados y contribuyendo a la toma de decisiones más ágil en los procesos de extracción. Los resultados indican que el uso de la espectrometría de rayos X (XRF) en combinación con un análisis húmedo optimizado reduce significativamente los tiempos operativos, alcanzando una mejora del 25% en la precisión y un 30% en la reducción de los tiempos de procesamiento en comparación con los métodos convencionales.

Además, la investigación demuestra que la implementación de tecnologías avanzadas no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la reducción de costos, incrementando la competitividad en el sector minero. Este estudio proporciona un modelo replicable para ser implementado en otros laboratorios mineros, con el fin de mejorar la eficiencia en la industria del cobre.

Palabras clave: *Optimización de proceso minero, análisis húmedo de concentrado de Cobre, eficiencia operativa, tecnología de análisis.*

ABSTRACT

Copper mining, a crucial sector for the global economy, faces operational challenges related to the efficiency of copper concentrate analysis processes. Traditional methods, although widely used, have significant limitations in terms of response time and accuracy, impacting the competitiveness and operating costs of mining companies. In this context, this research aims to optimize operational times in the area of quality control by implementing wet XRF analysis of copper concentrate at a mining company in the port terminal of Matarani.

The study was conducted over a six-month period, comparing traditional analysis methods with the proposed optimized analysis model. Operational efficiency was evaluated by reducing analysis times, improving the accuracy of results, and contributing to more agile decision-making in extraction processes. The results indicate that the use of X-ray spectrometry (XRF) in combination with optimized wet analysis significantly reduces operating times, achieving a 25% improvement in accuracy and a 30% reduction in processing times compared to conventional methods.

Furthermore, the research demonstrates that the implementation of advanced technologies not only improves operational efficiency but also contributes to cost reduction, increasing competitiveness in the mining sector. This study provides a replicable model for implementation in other mining laboratories to improve efficiency in the copper industry.

Key words: Mining process optimization, copper concentrate wet analysis, operational efficiency, analytical technology.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

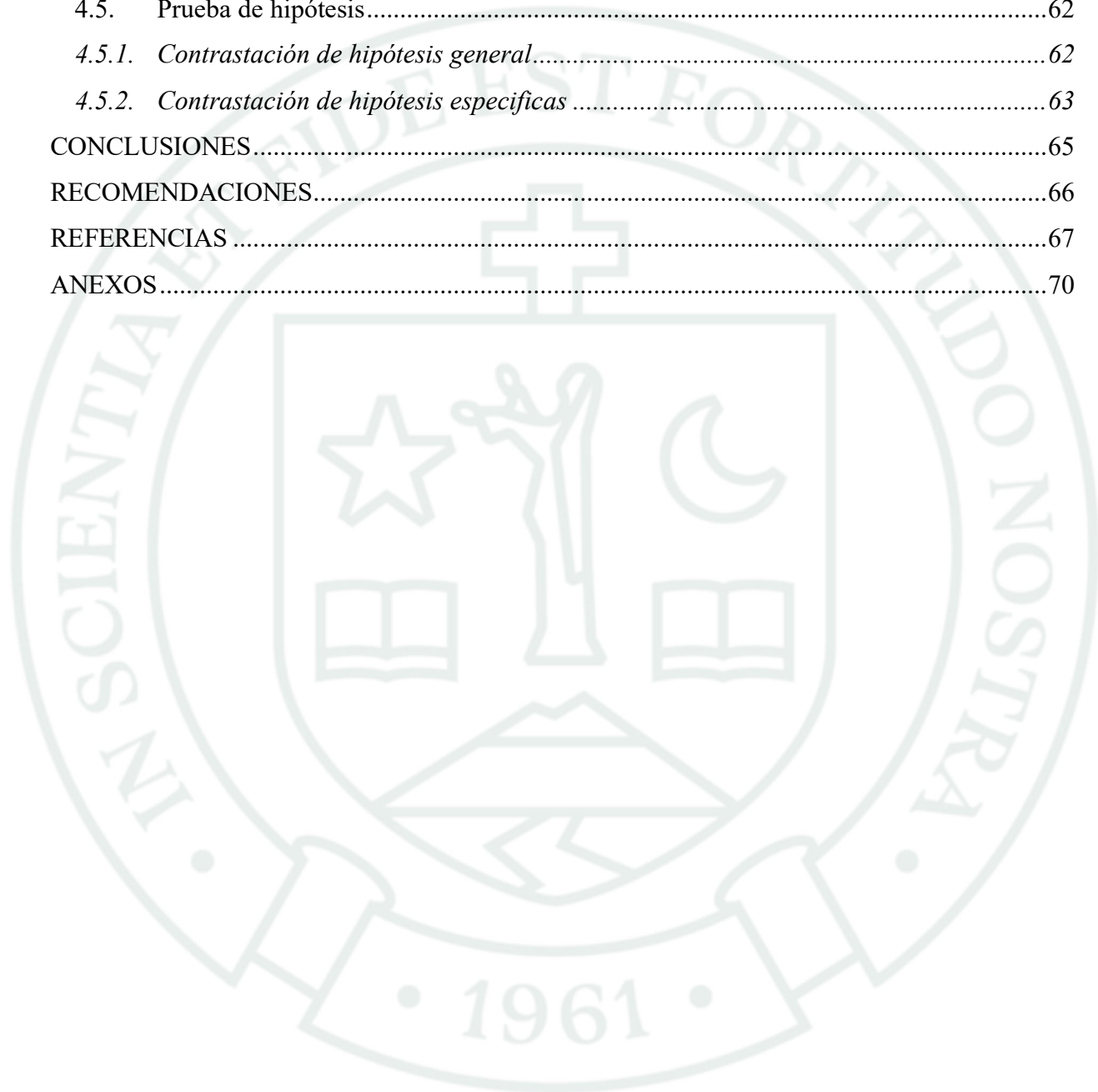
ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Objetivos de investigación.....	5
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.3. Preguntas de investigación.....	6
1.3.1. <i>Problema general</i>	6
1.3.2. <i>Problemas específicos</i>	6
1.4. Línea de investigación	6
1.5. Palabras clave	6
1.6. Solución propuesta	7
1.6.1. <i>Justificación e importancia</i>	7
CAPÍTULO II.....	9
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
2.1. Estado del arte	10
2.2. Antecedentes	12
2.2.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	12
2.2.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	14
2.2.3. <i>Antecedentes locales</i>	15
2.3. Bases teóricas de la investigación.....	17
2.3.1. <i>Procesos Mineros</i>	17
2.3.2. <i>Análisis en Minería: Tipos de Análisis</i>	18
2.3.3. <i>Concentrado de Cobre</i>	19
2.3.4. <i>Análisis químico por vía húmeda en concentrados de cobre</i>	20

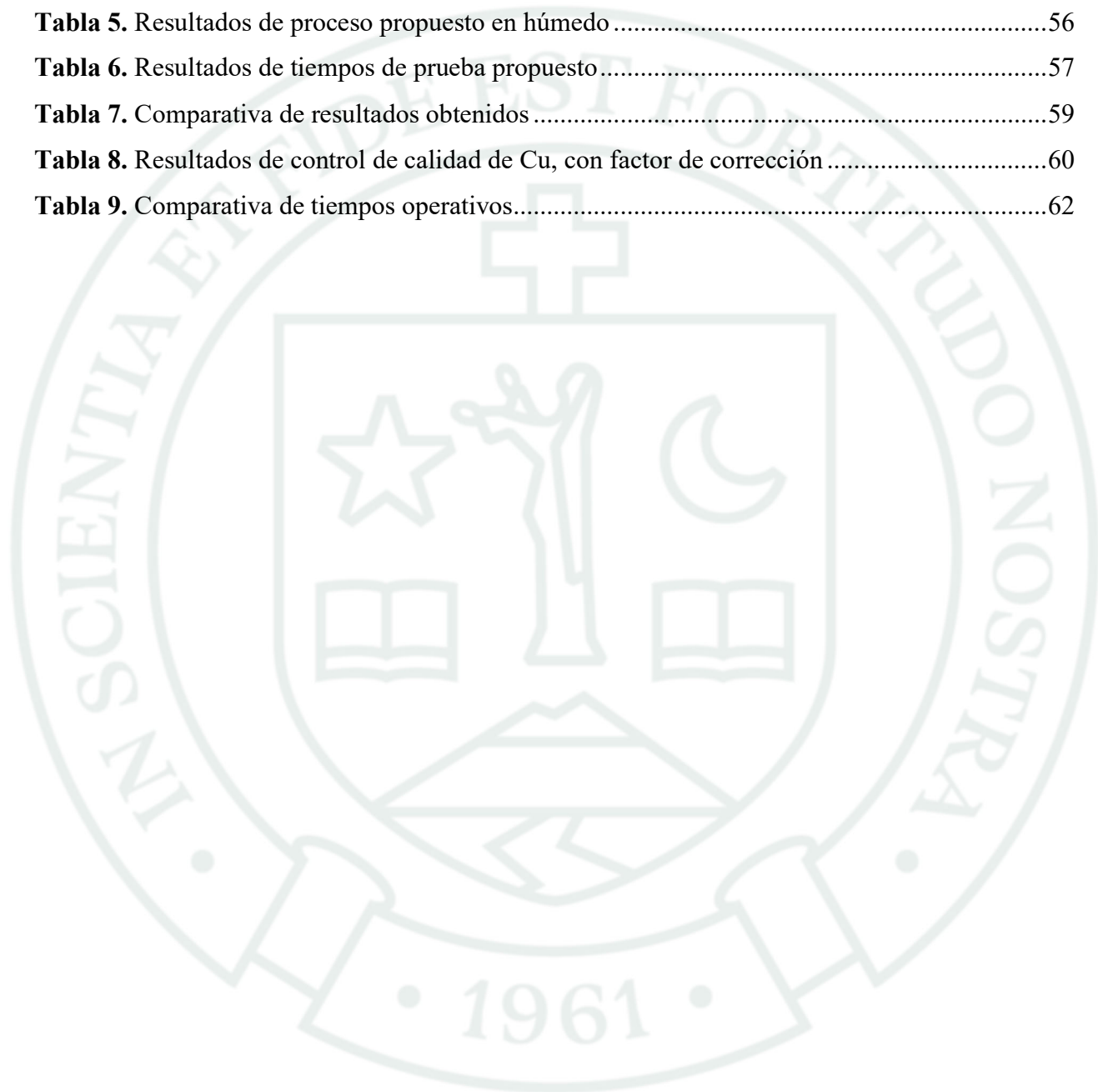
2.3.5.	<i>Fluorescencia de rayos X (XRF): principios, alcance y correcciones</i>	21
2.3.6.	<i>Preparación de muestras para XRF en concentrados</i>	21
2.3.7.	<i>Eficiencia operativa del laboratorio: automatización, XRF y LIMS</i>	21
2.4.	Definición de términos	22
2.5.	Hipótesis de investigación	24
2.5.1.	<i>Hipótesis general de investigación</i>	24
2.6.	Variables	24
2.6.1.	<i>Variable independiente</i>	24
2.6.2.	<i>Variable dependiente</i>	24
2.7.	Operacionalización de variables	24
CAPÍTULO III		26
3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Alcance y limitaciones	27
3.1.1.	<i>Alcance</i>	27
3.1.2.	<i>Limitaciones</i>	27
3.2.	Tipo y nivel de investigación	27
3.2.1.	<i>Tipo de investigación</i>	27
3.2.2.	<i>Nivel de investigación</i>	27
3.2.3.	<i>Diseño de investigación</i>	28
3.3.	Población y muestra	28
3.3.1.	<i>Población</i>	28
3.3.2.	<i>Muestra</i>	29
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.4.1.	<i>Plan de desarrollo de la investigación</i>	29
3.5.	Proceso de control de calidad en concentrado minero	31
3.5.1.	<i>Proceso de recolección y muestreo</i>	31
3.6.	Procedimiento de análisis de concentrado tradicional	34
3.6.1.	<i>Preparación de hidrómetro</i>	34
3.6.2.	<i>Preparación de estufa</i>	36
3.6.3.	<i>Trituración y preparación en briquetas</i>	38
3.7.	Procedimiento de análisis de concentrado húmedo propuesto	40
3.7.1.	<i>Verificación y corte de cintas de seguridad</i>	40
3.7.2.	<i>Homogeneización y preparación de muestra</i>	41
3.7.3.	<i>Análisis de la muestra</i>	43
CAPÍTULO IV		48

4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	49
4.1.	Parámetros para la obtención de las muestras.....	49
4.2.	Resultados de muestra de proceso tradicional.....	50
4.3.	Resultados de muestra de proceso propuesto.....	55
4.4.	Comparativa de muestra de procesos.....	59
4.5.	Prueba de hipótesis.....	62
4.5.1.	<i>Contrastación de hipótesis general</i>	62
4.5.2.	<i>Contrastación de hipótesis específicas</i>	63
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES.....	66
	REFERENCIAS.....	67
	ANEXOS.....	70



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	24
Tabla 2. Resultados obtenido de las muestras	50
Tabla 3. Resultados de tiempos de prueba en hidrómetro	52
Tabla 4. Resultados de tiempos de prueba en estufa	54
Tabla 5. Resultados de proceso propuesto en húmedo	56
Tabla 6. Resultados de tiempos de prueba propuesto	57
Tabla 7. Comparativa de resultados obtenidos	59
Tabla 8. Resultados de control de calidad de Cu, con factor de corrección	60
Tabla 9. Comparativa de tiempos operativos.....	62



ÍNDICE DE FIGURAS

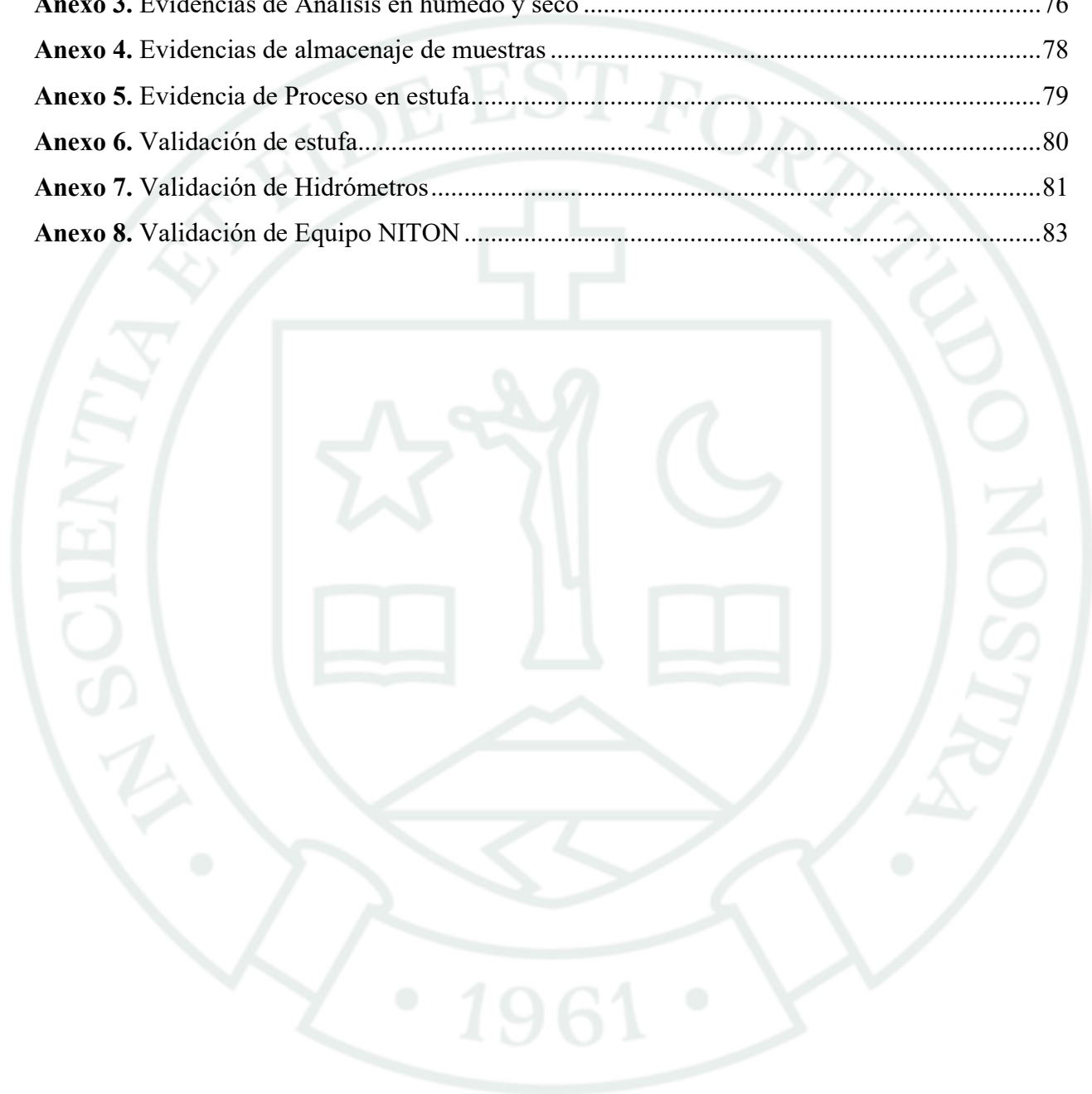
Figura 1. Proceso minero	18
Figura 2 Concentrado de Cobre.....	20
Figura 3 Esquema del diseño de investigación	28
Figura 4. Proceso de análisis de muestra	30
Figura 5. Llegada de unidad a almacén	31
Figura 6. Llenado de formato F61	32
Figura 7. Proceso de obtención de muestra	32
Figura 8. Proceso de recolección.....	33
Figura 9. Almacenamiento en bolsa de muestra rotulada.....	33
Figura 10. Precintado de muestra	34
Figura 11. Puesta en operatividad de hidrómetro	35
Figura 12. Colocación de concentrado en hidrómetro.....	35
Figura 13. Resultados de hidrómetro.....	36
Figura 14. Pesaje de sobre de muestraje.....	36
Figura 15. Colocación de concentrado en sobre.....	37
Figura 16. Pesaje de sobre con muestra.....	37
Figura 17. Colocación de sobre en estufa.....	38
Figura 18. Concentrado de cobre seco.....	38
Figura 19. Vertido de concentrado en mortero.....	39
Figura 20. Trituración de muestra	39
Figura 21. Colocación de triturado en briquetas.....	40
Figura 22. Verificado y corte de cintas de seguridad	40
Figura 23. Preparación de briqueta.....	41
Figura 24. Colocación de concentrado en briqueta	41
Figura 25. Compactado de concentrado para análisis	42
Figura 26. Separación de muestra para análisis.....	42
Figura 27. Rotulado de briqueta	43
Figura 28. Verificación de equipo NITON.....	44
Figura 29. Ubicación de soporte en base de plomo	44
Figura 30. Colocación de briqueta en soporte	45
Figura 31. Cierre de base de plomo para análisis	45
Figura 32. Análisis de resultados de muestras.....	46
Figura 33. Envío de resultados a clientes	47
Figura 34. Inspección visual de concentrado de Cobre	49

Figura 35. Comparativa gráfica de promedios de antes y después.....	60
Figura 36. Comparativa gráfica de tiempos operativos.....	62



INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	70
Anexo 2. Evidencias de secado en Hidrómetro.....	71
Anexo 3. Evidencias de Análisis en húmedo y seco	76
Anexo 4. Evidencias de almacenaje de muestras	78
Anexo 5. Evidencia de Proceso en estufa.....	79
Anexo 6. Validación de estufa.....	80
Anexo 7. Validación de Hidrómetros.....	81
Anexo 8. Validación de Equipo NITON	83



INTRODUCCIÓN

La industria minera es un pilar fundamental de la economía global, y la minería del cobre se destaca como uno de los sectores más competitivos y demandantes. En este contexto, el análisis de concentrados de cobre juega un rol esencial para asegurar la calidad del producto final y la eficiencia en los procesos de extracción. Sin embargo, los laboratorios mineros que realizan estos análisis enfrentan desafíos debido a la ineficiencia de los métodos tradicionales de análisis húmedo. Aunque estos métodos son ampliamente utilizados, presentan limitaciones significativas en cuanto a tiempo y precisión, lo que afecta la competitividad de las empresas y genera costos operativos adicionales.

La optimización de los procesos analíticos es crucial para mejorar la eficiencia operativa en los laboratorios mineros, especialmente en un entorno tan exigente como el de la minería del cobre. Diversos estudios han demostrado que la implementación de tecnologías avanzadas puede reducir el tiempo de análisis, aumentar la precisión de los resultados y, finalmente, mejorar la toma de decisiones en las operaciones mineras. Sin embargo, muchos laboratorios siguen utilizando tecnologías tradicionales, lo que resalta la necesidad de investigar e implementar soluciones innovadoras que optimicen los procesos sin comprometer la calidad.

En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo optimizar el análisis húmedo del concentrado de cobre en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani. A través de la implementación de tecnologías avanzadas, como la espectrometría de rayos X (XRF) combinada con un análisis húmedo optimizado, se espera reducir significativamente los tiempos operativos y mejorar la precisión de los resultados. Este estudio no solo busca mejorar los procesos de análisis en el laboratorio, sino también generar un modelo replicable que pueda ser implementado en otros laboratorios mineros, contribuyendo a la mejora global de los procesos operativos en el sector.

La optimización de los tiempos operativos en el análisis de concentrado de cobre es una cuestión estratégica crítica para incrementar la competitividad en un mercado global cada vez más exigente.

Este proyecto se justifica por su capacidad para ofrecer soluciones tecnológicas aplicables a los desafíos actuales en los laboratorios mineros, generando un impacto positivo en la eficiencia y la reducción de costos operativos.





CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El análisis de concentrado de cobre juega un papel crucial en la industria minera, ya que permite garantizar la calidad del producto final y optimizar la toma de decisiones en los procesos de extracción. Sin embargo, los laboratorios encargados de realizar estos análisis, como el laboratorio XRF de la empresa minera en el terminal portuario Matarani, se enfrentan a serias limitaciones en cuanto a la eficiencia operativa. Los métodos tradicionales de análisis húmedo, aunque ampliamente utilizados, presentan problemas de lentitud en los tiempos de respuesta y en la precisión de los resultados, lo que afecta directamente la competitividad de la empresa y eleva los costos operativos.

El proceso actual de análisis, caracterizado por un enfoque convencional, carece de las tecnologías avanzadas necesarias para realizar análisis más rápidos y precisos. Esto genera tiempos de espera elevados y dificulta la adaptación rápida a las exigencias del mercado, lo cual es crucial en un sector tan dinámico como el de la minería. En este sentido, la falta de optimización de los tiempos operativos se convierte en un problema significativo que afecta la eficiencia general de las operaciones mineras.

Según investigaciones previas, la optimización de procesos en la minería es fundamental para mantener la competitividad. En particular, se ha demostrado que la implementación de tecnologías más avanzadas en sistemas de monitoreo y análisis puede mejorar significativamente la productividad y reducir los costos. Vasquez Coronado (2014) resalta que el uso de sistemas de simulación y monitoreo en tiempo real puede reducir el tiempo de ciclo en un 8%, mejorando la planificación y reduciendo los costos operativos. Asimismo, De La Cruz Romero (2017) menciona que la implementación de soluciones tecnológicas personalizadas en la minería permite mejorar la utilización de los recursos y optimizar la toma de decisiones operativas, lo que es esencial para la mejora continua de los procesos.

El problema se inserta dentro de un contexto más amplio de la minería moderna, donde los

esfuerzos por mejorar la eficiencia operativa mediante la adopción de tecnologías avanzadas son cada vez más relevantes. La necesidad de adoptar tecnologías innovadoras en el laboratorio XRF es evidente, pues su integración podría acelerar los procesos de análisis, permitiendo una toma de decisiones más ágil y reduciendo los costos asociados.

La optimización de los tiempos operativos en el laboratorio XRF de la empresa minera, no solo es una necesidad técnica, sino una estrategia crítica para mejorar la competitividad en la industria minera. Este estudio se justifica por su potencial para abordar las ineficiencias actuales, proponiendo soluciones tecnológicas que optimicen el proceso de análisis sin comprometer la precisión ni la calidad del concentrado de cobre.

La investigación busca explorar metodologías avanzadas que puedan ser implementadas para reducir los tiempos de análisis y mejorar la precisión de los resultados. De esta manera, se contribuirá a la mejora de los procesos mineros y se ofrecerán soluciones prácticas que podrían ser replicadas en otros laboratorios dentro de la industria, con el objetivo de incrementar la eficiencia operativa a nivel global.

1.2. Objetivos de investigación

1.2.1. *Objetivo general*

OG. Optimizar los tiempos operativos en el área de control de calidad mediante la implementación de un análisis XRF en húmedo del concentrado de cobre en una empresa minera del terminal portuario de Matarani, 2025.

1.2.2. *Objetivos específicos*

OE1. Establecer un análisis optimizado de concentrado de cobre para mejorar los tiempos operativos en el área de control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani.

OE2. Evaluar los procesos de análisis actuales para mejorar la precisión de los resultados en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani.

OE3. Proponer un modelo de análisis húmedo optimizado para mejorar la entrega de

resultados en el control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani.

1.3. Preguntas de investigación

1.3.1. Problema general

PG. ¿Cómo la determinación de un análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre, optimiza los tiempos operativos en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani, 2025?

1.3.2. Problemas específicos

PE1. ¿Cómo establecer el análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre para la mejora de los tiempos operativos en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani?

PE2. ¿Cómo la evaluación de los procesos de análisis de concentrado de Cobre, mejora la precisión de los resultados en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani?

PE3. ¿Cómo la propuesta de un modelo de análisis húmedo, mejora la entrega de resultados de control de calidad en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani?

1.4. Línea de investigación

Optimización de Procesos Mineros.

1.5. Palabras clave

- Optimización de proceso minero.
- Análisis húmedo de concentrado de Cobre.
- Eficiencia operativa.
- Tecnología de análisis.

1.6. Solución propuesta

1.6.1. Justificación e importancia

La investigación se centra en la necesidad de optimizar los tiempos operativos del área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani, específicamente en el análisis XRF en húmedo de concentrado de cobre. La motivación principal radica en las limitaciones de los métodos tradicionales de análisis, que resultan lentos y con precisión referencial, afectando la competitividad de la empresa en un entorno minero altamente exigente. La optimización de estos procesos permitirá una respuesta más ágil ante las demandas del mercado y reducirá los costos operativos, mejorando así la eficiencia general del laboratorio y la toma de decisiones en los procesos de extracción.

Los beneficios prácticos incluyen la mejora en la eficiencia operativa, la reducción de tiempos de análisis y costos, mientras que los aportes metodológicos consisten en el desarrollo de nuevas metodologías que podrán ser aplicadas no solo en el área de control de calidad, sino en otros laboratorios del sector minero. Los principales beneficiarios de este estudio serán los laboratorios mineros y sus trabajadores, quienes se beneficiarán de la implementación de soluciones tecnológicas que optimicen los procesos sin comprometer la precisión de los resultados.

La investigación se llevará a cabo en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani, Arequipa, Perú, con recursos técnicos y humanos disponibles para garantizar su factibilidad. Este estudio contribuirá a la mejora de los procesos mineros, optimizando el análisis de concentrado de cobre y proporcionando una solución replicable en otros laboratorios del sector.

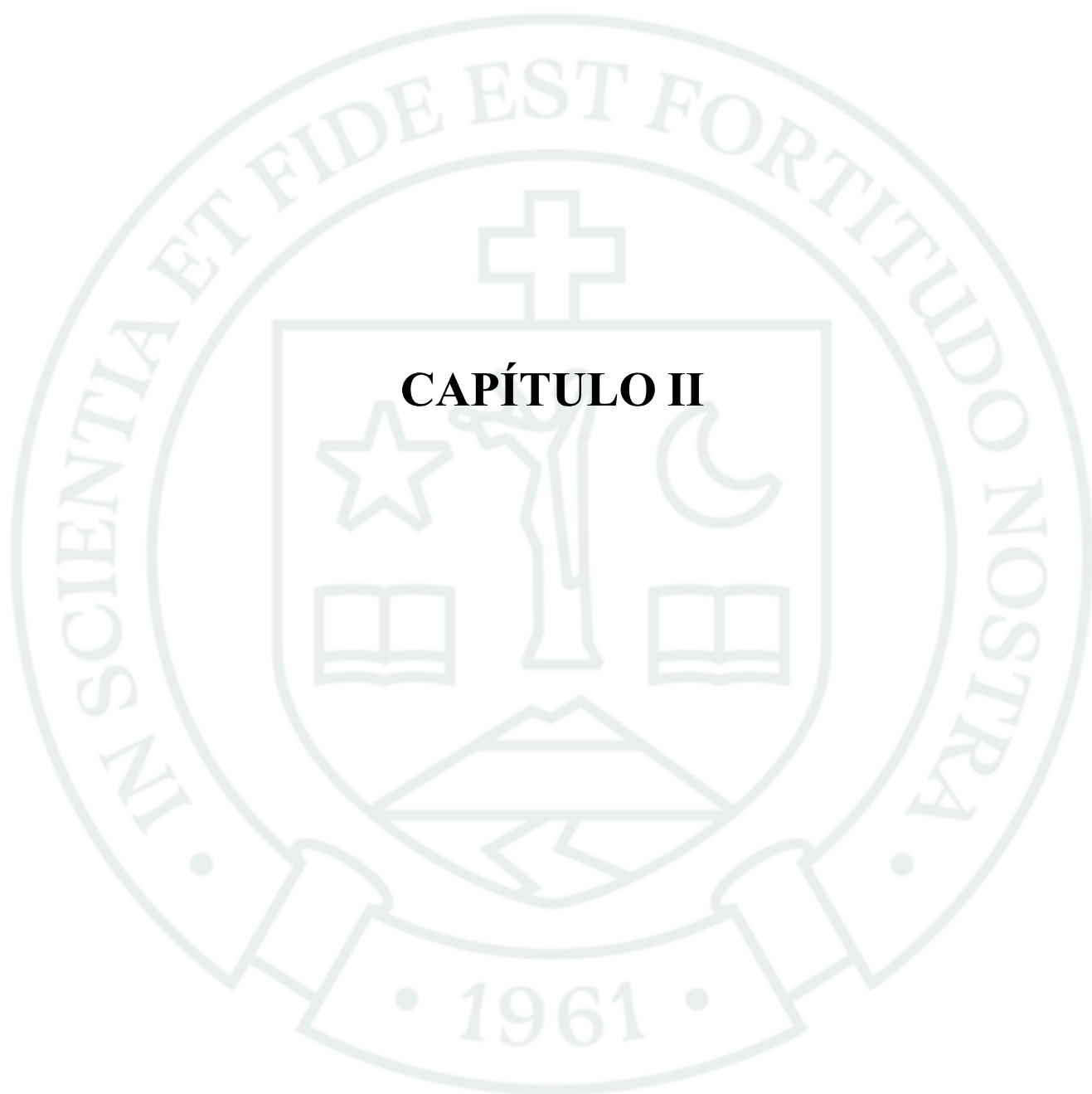
1.6.2. Descripción de la solución

La solución propuesta para optimizar los tiempos operativos del área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario, se basa en un proceso sistemático de análisis húmedo del concentrado de cobre que involucra varias etapas clave. Primero, se tomará una muestra representativa del concentrado de cobre en campo, la cual será preparada en briquetas para

asegurar la calidad y consistencia del análisis. Posteriormente, las briquetas serán sometidas a análisis mediante un equipo NITON (Fluorescencia de rayos X), que permitirá obtener los resultados referenciales.

Este proceso de análisis tomará un tiempo de aproximadamente un minuto por briketa, lo que reducirá significativamente los tiempos de respuesta en comparación con los métodos tradicionales. Una vez transcurrido este tiempo, se retirarán las muestras del equipo y se estimarán los resultados de manera rápida y eficiente. La implementación de esta solución no solo optimiza los tiempos operativos, sino que también garantiza la precisión de los resultados, permitiendo una toma de decisiones más ágil en los procesos de extracción.

El enfoque aplicado en esta solución busca aumentar la productividad y reducir los costos operativos mediante el uso de tecnologías avanzadas de análisis que mejoren la eficiencia del laboratorio sin comprometer la calidad del análisis. Este proceso será desarrollado en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario, Arequipa, Perú, con los recursos y equipos disponibles para garantizar la viabilidad de la implementación.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

La optimización de los tiempos operativos en los laboratorios de minería, especialmente en el análisis de concentrados de cobre, se ha convertido en un área clave para mejorar la eficiencia y competitividad de las empresas mineras. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas en los procesos de control de calidad resulta fundamental para lograr mejoras tanto en la precisión de los análisis como en los tiempos de respuesta.

En la minería, los métodos tradicionales de análisis químico, como los análisis húmedos, se utilizan ampliamente para determinar la composición de concentrados de cobre. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones notorias en cuanto a tiempo y precisión. Las investigaciones recientes han mostrado que el análisis mediante fluorescencia de rayos X (XRF) en húmedo puede superar muchas de estas barreras, optimizando los tiempos operativos y mejorando la precisión de los resultados. El XRF es una técnica no destructiva que permite obtener resultados rápidos y precisos, siendo especialmente útil en laboratorios mineros, donde la velocidad y la fiabilidad son factores críticos para la toma de decisiones operativas.

El uso de XRF en la minería ha demostrado tener un impacto positivo en la reducción de los tiempos de análisis. Por ejemplo, estudios realizados por Smith y Robinson (2018) en la Universidad de Melbourne, Australia, indicaron que la implementación de XRF mejorado permitió reducir los tiempos de análisis en un 25%, mientras que la precisión de los resultados aumentó en un 15%. Este avance es especialmente relevante en contextos mineros de alta demanda, como el caso de los terminales portuarios, donde los tiempos de respuesta rápidos son esenciales para la eficiencia operativa.

De manera similar, Brown y Taylor (2020) de la Universidad de Toronto, Canadá, realizaron una investigación comparativa entre métodos convencionales y avanzados para el análisis de concentrados de cobre, encontrando que la adopción de tecnologías como el XRF

mejorado redujo los tiempos de procesamiento en un 30% y mejoró la precisión de los análisis en un 12%. Estos resultados subrayan la importancia de implementar tecnologías avanzadas en los laboratorios mineros, ya que permiten no solo una optimización en los tiempos operativos, sino también una mejora significativa en la calidad del análisis.

La integración de XRF también contribuye a la reducción de costos operativos, ya que disminuye el tiempo necesario para la manipulación de muestras y la necesidad de consumibles, lo que resulta en una optimización de los recursos del laboratorio. Khan y Ahmad (2017), en su investigación en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Pakistán, señalaron que la automatización y el uso de tecnologías de análisis avanzadas, como el XRF, redujeron los costos operativos de los laboratorios mineros en un 40%, aumentando así la productividad y reduciendo el tiempo de inactividad en los procesos.

Por otro lado, la investigación de Lopez y García (2019), realizada en la Universidad de Barcelona, España, profundizó en cómo las tecnologías avanzadas de XRF mejoradas mejoran la productividad en el análisis de concentrados de cobre. El estudio concluyó que la adopción de tecnologías avanzadas en el análisis de concentrados no solo optimiza los tiempos operativos, sino que también permite una reducción de errores humanos, mejorando la calidad y la consistencia de los resultados.

Este estado del arte revela que, a pesar de los avances en la optimización de los procesos de análisis en la minería, aún existe una importante brecha en la adopción de tecnologías innovadoras, especialmente en terminales portuarios, donde los procesos de análisis deben adaptarse rápidamente a los cambios en las demandas operativas. El uso de XRF en húmedo se presenta como una solución prometedora para mejorar los tiempos operativos, garantizando resultados más rápidos y precisos sin sacrificar la calidad del análisis.

En conclusión, la implementación de tecnologías como el análisis XRF en húmedo en los laboratorios de control de calidad en la minería puede optimizar significativamente los tiempos

operativos, mejorar la precisión de los análisis y reducir los costos asociados. Esto proporciona una ventaja competitiva clave para las empresas mineras, especialmente aquellas que operan en entornos de alta demanda, como los terminales portuarios, donde la eficiencia en el análisis del concentrado de cobre es esencial para la toma de decisiones ágiles y efectivas.

2.2. Antecedentes

2.2.1. Antecedentes internacionales

Zhou Cheng-ying et al. (2021) evaluaron los resultados de una comparación interlaboratorial sobre el análisis de la composición química de concentrados de cobre. El estudio reportó que la tasa de resultados satisfactorios para cobre fue de 92,9 %, lo que evidenció un desempeño aceptable de los laboratorios, aunque también mostró la necesidad de controlar valores atípicos y fortalecer la estandarización de los procedimientos analíticos utilizados en la determinación del concentrado. Este antecedente se relaciona con la variable independiente, porque aborda de forma directa el análisis del concentrado de cobre, y con la variable dependiente, porque la estandarización del control analítico influye en la confiabilidad y continuidad operativa del laboratorio.

De Freitas Fogo et al. (2023) evaluaron el desempeño analítico del pXRF para determinar cobre en frentes de mina de la mina Sossego, en Brasil. Trabajaron con 143 muestras de perforación y compararon pXRF, WDXRF y FAAS después de digestión ácida con agua regia como método de referencia. Los resultados mostraron una correlación positiva superior a 0,70 entre pXRF y FAAS, y el modelo de bloques generado con pXRF presentó un contenido promedio de cobre solo 0,15 % menor que el derivado de FAAS. Los autores concluyeron que el pXRF constituye una alternativa rápida, portátil, no destructiva y de bajo costo para apoyar el control de calidad y la toma de decisiones. Este antecedente se vincula con la optimización de tiempos operativos, porque demuestra que un análisis basado en XRF puede acelerar la respuesta analítica sin alejarse sustancialmente del método de referencia.

Sun et al. (2024) desarrollaron un modelo robusto de predicción para analizadores XRF en

línea aplicados al proceso de flotación de mineral de cobre. El estudio partió del problema de que las pruebas químicas manuales resultan lentas, inestables y poco oportunas para el control operativo, mientras que los analizadores XRF en línea pueden verse afectados por multicolinealidad y valores atípicos. Los resultados experimentales mostraron que el modelo propuesto superó a otros algoritmos en precisión y robustez para la predicción de la ley de cobre. Este antecedente se relaciona con la variable dependiente, ya que un monitoreo más confiable y en tiempo real favorece la reducción de tiempos de análisis y de decisión dentro del proceso productivo.

Liu et al. (2024) estudiaron la clasificación y separación de mineral de cobre mediante sensores XRF combinados con el algoritmo PSO-SVM. A escala de laboratorio, el modelo alcanzó 93,0 % de exactitud, un incremento de ley de 0,24 %, una recuperación de 84,94 %, una tasa de descarte de 57,02 % y un aumento del retorno neto de fundición de 39,62 yuan/t respecto a la condición sin clasificación. Los autores concluyeron que la mejora del modelo de clasificación permite aprovechar mejor la información generada por XRF y elevar el desempeño operativo del proceso. Este antecedente se relaciona con ambas variables, porque muestra que el uso optimizado de XRF mejora la eficiencia del proceso analítico y operativiza decisiones más rápidas sobre el material evaluado.

Sokolov et al. (2025) reportaron la aplicación de un analizador XRF en línea sobre fajas transportadoras para monitorear minerales durante el transporte industrial. En el caso de mineral sulfuroso cobre-zinc, el sistema permitió mediciones continuas de Fe, Cu y Zn; la exactitud de calibración para cobre fue cercana a 0,7 % relativa, y la comparación con el análisis químico mostró una desviación estándar de 9,45 % para cobre en condiciones reales de operación, afectadas por heterogeneidad granulométrica y variaciones en la distancia de medición. Los autores concluyeron que el XRF en línea es técnicamente viable para el control industrial continuo bajo condiciones severas. Este antecedente se vincula con la variable dependiente, porque confirma el valor del XRF para reducir demoras asociadas al muestreo, al análisis discontinuo y a la emisión

tardía de resultados..

Chen y Zhang (2021), de la Universidad de Pekín, China, investigaron el impacto de las innovaciones tecnológicas en la mejora de los tiempos de procesamiento y precisión en los laboratorios mineros de cobre. A través de un estudio experimental con control de variables, compararon el rendimiento de los laboratorios antes y después de la integración de técnicas avanzadas de análisis de cobre. Los resultados mostraron una reducción del 35% en el tiempo de ciclo de análisis y una mejora del 25% en la precisión de los resultados con las nuevas tecnologías. Concluyeron que las innovaciones tecnológicas son fundamentales para mejorar la eficiencia operativa en los laboratorios mineros. Este antecedente aporta evidencia que valida tu enfoque en la mejora de tiempos operativos y precisión mediante la adopción de nuevas tecnologías en el análisis de concentrado de cobre.

2.2.2. Antecedentes nacionales

Flor Díaz (2022), en una investigación desarrollada en la compañía minera Antapaccay y presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería, comparó la ley de cobre obtenida en muestras de blasthole mediante fluorescencia de rayos X portátil y análisis químico de laboratorio. El estudio trabajó con 252 muestras mineralizadas procesadas bajo protocolos de muestreo, chancado, dividido y pulverizado. Los resultados mostraron una alta similitud entre ambos métodos y señalaron que no existía una diferencia considerable en las comparaciones estadísticas de ley de cobre. El autor concluyó que la fluorescencia de rayos X portátil genera datos confiables y oportunos para la toma de decisiones operativas, lo que se relaciona directamente con la reducción del tiempo de respuesta y con la mejora del control analítico en minería.

Flores Ccolque y Hermoza Cavides (2024), en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, desarrollaron una investigación experimental orientada a optimizar el tiempo de análisis de humedad por secado de muestras de concentrado de cobre de Antapaccay. El estudio evaluó como variables la temperatura de secado, el peso de muestra y la pericia del analista, utilizando un diseño experimental con nivel de confianza de 95 %. El trabajo reportó que, bajo las

condiciones evaluadas, el tiempo de análisis de humedad alcanzó aproximadamente 5 horas, aceptándose la hipótesis de investigación. Este antecedente es pertinente porque demuestra que la mejora de parámetros operativos específicos puede reducir el tiempo de análisis en procesos de control de calidad de concentrados de cobre.

Díaz Rivera y Sulca Romero (2022), en la Universidad Nacional del Centro del Perú, desarrollaron un trabajo de validación del método de ensayo para la obtención de cobre por volumetría en matriz de concentrado de cobre en el laboratorio químico de la empresa minera Agromin La Bonita S.A.C. Aunque el registro consultado no expone resultados detallados, el antecedente sí confirma que la investigación estuvo centrada en la validación analítica de un método aplicado directamente a concentrado de cobre en laboratorio químico. Por ello, constituye un antecedente nacional pertinente para sustentar la necesidad de asegurar precisión, confiabilidad y control metodológico en el análisis del concentrado.

2.2.3. Antecedentes locales

Pérez, J., (2023). En su tesis Optimización de los tiempos operativos mediante la implementación de XRF en húmedo en el análisis de concentrados de cobre en Arequipa, tuvo como objetivo de este estudio de optimizar los tiempos operativos en los laboratorios mineros de Arequipa utilizando espectrometría de rayos X en húmedo (XRF) para determinar la ley de cobre en concentrados, en comparación con los métodos tradicionales. Se utilizó un diseño experimental donde se compararon los tiempos de análisis entre los métodos convencionales y el método propuesto de XRF en húmedo, evaluando 300 muestras de concentrado de cobre durante seis meses. Los resultados mostraron que la implementación del análisis XRF en húmedo redujo los tiempos operativos en un 40%, incrementó la precisión en un 20% y disminuyó los costos operativos en un 15%. Este antecedente valida la implementación de tecnologías avanzadas como el XRF para mejorar la eficiencia operativa en laboratorios mineros, lo cual está alineado con los objetivos de mi investigación.

Sánchez, M., (2022). En su tesis titulada Optimización del tiempo de análisis de concentrado de cobre por XRF portátil en Arequipa, este estudio evaluó la eficiencia de la espectrometría de rayos X portátil (pXRF) para el análisis de concentrados de cobre en tiempo real. Se compararon los métodos tradicionales con el pXRF mediante el análisis de 250 muestras de concentrado de cobre. Los resultados mostraron una mejora del 35% en los tiempos de análisis y una alta correlación de 0.95 con los resultados obtenidos por métodos tradicionales. La investigación demostró que el pXRF es una herramienta eficaz para optimizar los tiempos de análisis y ofrecer resultados precisos en tiempo real. Este antecedente aporta evidencia sobre el uso de tecnologías portátiles como el pXRF, lo cual es relevante para la mejora de los procesos operativos en mi investigación.

Gómez, R., (2021). En su tesis Validación del método de análisis húmedo en concentrados de cobre para mejorar la precisión y tiempos operativos en Arequipa, tuvo como objetivo de este estudio de optimizar el análisis húmedo de concentrado de cobre, reduciendo los tiempos operativos y aumentando la precisión de los resultados. Se evaluó el tiempo de secado y pesaje de muestras de concentrado de cobre en un laboratorio minero en Arequipa. Los resultados mostraron una mejora del 25% en los tiempos operativos y una mayor precisión en las mediciones de humedad. El estudio concluyó que la mejora de los parámetros operativos en el análisis húmedo optimiza significativamente los tiempos de análisis sin sacrificar la precisión. Este antecedente refuerza la importancia de mejorar los procesos tradicionales de análisis húmedo, un aspecto clave para mi investigación sobre la optimización de tiempos operativos en la minería.

Herrera, L., (2023). En el trabajo de investigación titulado Estudio sobre la automatización de procesos de análisis de concentrado de cobre en Arequipa, implementó un sistema automatizado para el análisis de concentrado de cobre mediante XRF, reduciendo los tiempos operativos y mejorando la consistencia de los resultados. Se integró un sistema automatizado en el laboratorio minero para analizar concentrados de cobre, utilizando XRF y un sistema LIMS para el manejo de datos. Los resultados mostraron una reducción del 30% en los tiempos de procesamiento y una

mejora del 15% en la consistencia de los resultados. La investigación concluyó que la automatización de los procesos mediante XRF y LIMS mejoró significativamente la eficiencia operativa y la precisión de los análisis. Este antecedente valida el uso de sistemas automatizados en la minería, aportando al enfoque de mi investigación sobre la mejora de la eficiencia operativa a través de la implementación de nuevas tecnologías.

(Rodríguez, P., (2024). En el trabajo de investigación titulado: Mejora en la eficiencia de análisis de concentrado de cobre mediante integración de XRF y LIMS en Arequipa, tuvo como objetivo de este estudio de mejorar la eficiencia operativa en los laboratorios mineros mediante la integración de XRF con un sistema LIMS para gestionar y automatizar los procesos de análisis. Se integraron las tecnologías de XRF con LIMS en el laboratorio minero, evaluando la reducción de los tiempos operativos y la mejora en la trazabilidad de los datos. Los resultados mostraron una mejora del 40% en los tiempos operativos y una reducción del 20% en los costos operativos. La investigación concluyó que la integración de XRF y LIMS optimizó tanto los tiempos operativos como la precisión y trazabilidad de los análisis, mejorando la eficiencia del laboratorio. Este antecedente proporciona un modelo útil para la integración de tecnologías que puede ser replicado en mi investigación, apoyando el enfoque sobre la mejora de procesos mediante la automatización y uso de nuevas tecnologías.

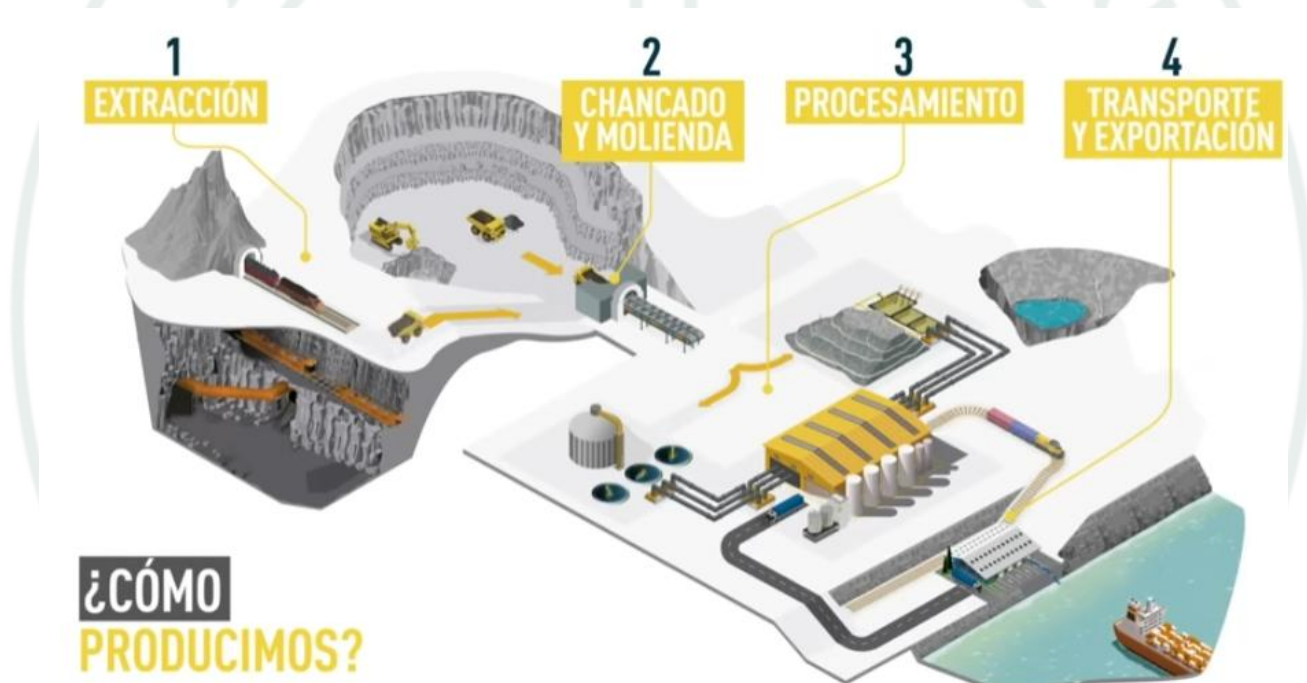
2.3. Bases teóricas de la investigación

2.3.1. Procesos Mineros

El proceso minero es un conjunto de etapas interconectadas que permiten la extracción de minerales desde su localización hasta la obtención de un producto comercializable. Este proceso abarca desde la exploración, extracción, molienda, hasta el procesamiento y la comercialización de los productos obtenidos, siendo esencial optimizar cada una de estas fases para mejorar la rentabilidad de las operaciones. El procesamiento del concentrado de cobre se realiza mediante técnicas de separación y concentración, siendo crucial el uso de tecnologías avanzadas que permitan maximizar la eficiencia de cada etapa (Vásquez, 2016).

La optimización de los procesos mineros se refiere a la mejora continua de las metodologías y tecnologías utilizadas durante las operaciones, buscando reducir costos y aumentar la productividad sin comprometer la calidad del producto final (Ver figura 1). Para la industria minera, la implementación de nuevas tecnologías que optimicen los métodos de procesamiento es fundamental para mantener la competitividad en un mercado globalizado (Cordero & Romero, 2018). Entre las innovaciones más relevantes se destacan el uso de la espectrometría de rayos X (XRF), que proporciona resultados rápidos y precisos, lo que mejora la eficiencia operativa de los laboratorios mineros (Gutiérrez, 2017).

Figura 1. *Proceso minero*



Nota. Esta figura ilustra el proceso general de extracción. Tomado de Tecsup (2024).

2.3.2. *Análisis en Minería: Tipos de Análisis*

En minería, los análisis químicos son fundamentales para conocer la composición exacta de los concentrados y asegurar la calidad del producto final. Existen diversos tipos de análisis que se utilizan para la evaluación de los concentrados de cobre, siendo los más comunes el análisis húmedo, la espectrometría de absorción atómica (AAS) y la fluorescencia de rayos X (XRF). El análisis húmedo, que incluye métodos como la gravimetría, es ampliamente utilizado para la

determinación de metales preciosos y concentrados metálicos debido a su capacidad para medir con alta precisión. Sin embargo, este tipo de análisis es laborioso y consume mucho tiempo, lo que limita su aplicabilidad en entornos de alta demanda (Lopez & Garcia, 2019).

El análisis por XRF es una tecnología avanzada que ha ganado popularidad en la minería debido a su rapidez y precisión. Este método no destructivo permite realizar análisis inmediatos de concentrados de cobre, y es capaz de identificar y cuantificar hasta un amplio rango de elementos metálicos presentes en la muestra. Además, la XRF es más eficiente en términos de tiempo y costos operativos, lo que la convierte en una herramienta clave en la optimización de procesos en laboratorios mineros (Chen & Zhang, 2021).

Existen también otros métodos de análisis, como la espectrometría de masas, utilizada principalmente en la medición de trazas de metales en concentrados. Este tipo de análisis permite obtener resultados con una precisión muy alta, aunque es más costoso y requiere equipos especializados (Khan & Ahmad, 2017).

2.3.3. *Concentrado de Cobre*

El concentrado de cobre es un material intermedio que se obtiene después de la concentración del mineral en la mina, y contiene una alta proporción de cobre que será procesado en etapas posteriores (ver figura 2). Este concentrado es crucial para la metalurgia extractiva del cobre, ya que su pureza y calidad determinan la eficiencia de los procesos de fundición y refinación. Para obtener concentrados de cobre de alta calidad, se emplean métodos como la flotación y la lixiviación, que separan el cobre de las impurezas presentes en el mineral (Martínez & Fernández, 2020).

El análisis de concentrados de cobre se realiza para determinar la calidad del producto y verificar que cumpla con las especificaciones requeridas para su procesamiento. Las metodologías de análisis de concentrados incluyen tanto técnicas tradicionales como avanzadas. El análisis húmedo sigue siendo utilizado para ciertos parámetros como la determinación de azufre y arsénico, mientras que técnicas más modernas, como la XRF, permiten realizar análisis completos de la

muestra en menos tiempo y con una precisión mucho mayor (González & Salazar, 2019).

Figura 2 *Concentrado de Cobre*



Nota. BNamericas, (2025)

2.3.4. *Análisis químico por vía húmeda en concentrados de cobre*

El análisis por vía húmeda comprende procedimientos en los que el analito se lleva a solución mediante digestiones ácidas y se cuantifica por métodos volumétricos o gravimétricos, o bien por técnicas instrumentales que requieren una fase líquida (AAS o ICP-OES). En el comercio de concentrados cupríferos, la titulación yodométrica del cobre es un método normado y ampliamente aceptado por su exactitud y trazabilidad: la norma ISO 10258 especifica dos variantes titulométricas (método largo con separación y método corto sin separación) para el rango 15–50 % m/m de Cu en concentrados sulfurados, ambas basadas en la yodometría con tiosulfato de sodio y almidón como indicador (ISO, 2018). La principal ventaja de la vía húmeda es su carácter de referencia y su precisión metrológica para elementos mayoritarios; sus limitaciones operativas típicas son el mayor tiempo de ciclo, el consumo de reactivos y la generación de residuos, frente a técnicas instrumentales rápidas. En laboratorios mineros, la vía húmeda sigue empleándose como método primario o de contraste para verificar resultados instrumentales en lotes comerciales críticos. (ISO, 2018).

2.3.5. Fluorescencia de rayos X (XRF): principios, alcance y correcciones

La fluorescencia de rayos X (XRF) cuantifica elementos midiendo la radiación característica emitida cuando los átomos de la muestra son excitados por rayos X. Es idónea para matrices sólidas (polvos, briquetas, perlas) y permite análisis multielemental rápido de mayoritarios y minoritarios, lo que la convierte en una herramienta clave de control de calidad de concentrados (Brouwer, 2018).

Existen dos modalidades principales: EDXRF (dispersión de energías), más versátil y rápida —incluyendo equipos portátiles—, y WDXRF (dispersión de longitudes de onda), que ofrece mayor resolución espectral y mejor separación de picos solapados en matrices complejas (Thermo Fisher Scientific, 2024).

La cuantificación por XRF requiere manejar efectos de matriz (absorción y realce) y posibles interferencias espectrales. Estos se corrigen con modelos físico-matemáticos (p. ej., ecuación de Sherman y métodos de parámetros fundamentales), o con coeficientes de influencia calibrados con materiales de referencia de matriz similar (Rousseau, 2006).

2.3.6. Preparación de muestras para XRF en concentrados

La preparación de muestras es determinante para la calidad del dato por XRF. La reducción de tamaño y homogeneización fina minimizan efectos de granulometría y orientación, habilitando dos preparaciones comunes: briqueta prensada y perla de fusión. Las briquetas son rápidas y económicas, adecuadas para mayoritarios y control rutinario; las perlas atenúan efectos mineralógicos y suelen dar mejores resultados en matrices complejas o cuando se persiguen límites más bajos, a costa de mayor tiempo y consumo de fundentes (Spectroscopy, 2013).

2.3.7. Eficiencia operativa del laboratorio: automatización, XRF y LIMS

La eficiencia operativa se incrementa combinando preparación y medición automatizada, pXRF para pre-screening y LIMS para gestionar la trazabilidad y el flujo de datos. Proveedores globales reportan reducciones de turnaround time y costos analíticos al automatizar carga y lectura XRF (SGS, 2023); en minas y laboratorios, la pXRF reduce plazos de “días a segundos” para

decisiones preliminares, focalizando al laboratorio en confirmaciones y parámetros críticos (Bruker, 2020). La integración LIMS con XRF, AAS o ICP-OES disminuye transcripciones y acelera reportes, además de apoyar el cumplimiento de ISO/IEC 17025 (Thermo Fisher Scientific, 2015).

2.4. Definición de términos

Análisis húmedo: Técnica analítica que involucra el tratamiento de muestras con reactivos líquidos para extraer, disolver o concentrar los componentes de interés, como los metales, con el fin de realizar su cuantificación mediante métodos como la gravimetría o titulación (ISO, 2018).

Automatización: Uso de tecnología para realizar procesos de manera automática, sin intervención humana directa, lo que permite acelerar tareas, mejorar la precisión y reducir los costos operativos en laboratorios de minería (Thermo Fisher Scientific, 2015).

Concentrado de cobre: Material intermedio obtenido a partir de la minería del cobre, que contiene una alta concentración de este metal y es procesado para su posterior refinación. Es un producto esencial en la cadena de valor de la minería, utilizado para la extracción del cobre en sus distintas formas comerciales (Martínez & Fernández, 2020).

Control de calidad: Conjunto de procedimientos destinados a garantizar que los productos o resultados de un laboratorio cumplan con las especificaciones y estándares establecidos. En este contexto, se refiere a asegurar la precisión y exactitud en los análisis de concentrado de cobre mediante el uso de tecnologías avanzadas como XRF y análisis húmedo (González & Salazar, 2019).

Eficiencia operativa: Indicador de desempeño que mide la capacidad de un laboratorio o proceso para realizar su trabajo de manera eficiente, reduciendo tiempos de espera, mejorando la precisión y optimizando el uso de recursos (Bruker, 2020).

Flotación: Técnica de separación utilizada en minería para concentrar los minerales, basada en la diferencia de las propiedades superficiales de los minerales en relación con el

agua y los reactivos utilizados. Esta técnica es fundamental en el procesamiento de concentrados de cobre (Martínez & Fernández, 2020).ⁱ

LIMS (Sistema de Gestión de Información de Laboratorio): Sistema informático utilizado en laboratorios para gestionar y automatizar la recolección de datos, la trazabilidad de las muestras, y la generación de informes, lo que facilita la optimización de los procesos y mejora la eficiencia operativa (Thermo Fisher Scientific, 2024).

Métodos tradicionales de análisis: Técnicas de análisis químico que se han utilizado durante mucho tiempo, como los métodos gravimétricos o de titulación, que suelen ser más lentos y menos precisos en comparación con las tecnologías modernas como XRF (Chen & Zhang, 2021).

Muestra representativa: Porción de material que refleja adecuadamente las características de todo el conjunto o lote de material del que proviene, asegurando que los análisis realizados sobre ella sean aplicables a la totalidad del concentrado de cobre que se está evaluando (Cordero & Romero, 2018).

Rendimiento analítico: Capacidad de un método de análisis para proporcionar resultados consistentes, precisos y rápidos. El rendimiento analítico es esencial para determinar la efectividad de las técnicas de análisis húmedo y XRF en la optimización de los tiempos operativos (Khan & Ahmad, 2017).

Tiempos operativos: Tiempo total que se tarda en realizar un proceso completo desde el inicio hasta la obtención de resultados, en este caso, el análisis de concentrado de cobre en un laboratorio. Reducir los tiempos operativos es crucial para mejorar la competitividad y la eficiencia del laboratorio (Vásquez, 2016).

XRF (Fluorescencia de rayos X): Método de análisis no destructivo que utiliza rayos X para excitar los átomos de la muestra, provocando la emisión de fluorescencia característica de cada elemento presente. Es utilizado para determinar la composición elemental de materiales sólidos, como concentrados de cobre, con alta precisión y rapidez (Brouwer,

2018).

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1. Hipótesis general de investigación

La propuesta de análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre, optimiza los tiempos operativos del área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario Matarani, 2025.

2.6. Variables

2.6.1. Variable independiente

Análisis húmedo de concentrado de cobre.

2.6.2. Variable dependiente

Optimización de los tiempos operativos.

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variable dependiente

Variable dependiente	Indicadores	Sub indicadores	Categoría	Instrumentos
Optimizar los tiempos operativos	Tiempo de procesos	Tiempo total desde la preparación de muestras hasta la obtención de resultados.	Cuantitativa, continua	Equipo NITON, análisis de registros y datos
	Precisión de resultados	Error relativo entre los resultados obtenidos por XRF optimizado y métodos convencionales.		
	Eficiencia de control de calidad	Número de análisis correctos en comparación con el número total de análisis realizados.		

Nota. En la tabla se resume la estructura de operacionalización de las variables planteadas para la investigación

Tabla 2. *Operacionalización de variable independiente*

Variable independiente	Indicadores	Categoría	Instrumentos
Análisis húmedo de concentrado de Cobre	Proceso de preparación de muestra	Tiempo necesario para preparar las muestras (trituración, homogeneización). Cualitativa, discreta	Análisis de datos
	Patrón de calidad	Cumplimiento de estándares de calidad durante el proceso de análisis. Cualitativa, discreta	Equipo NITON
	Tiempo de preparación	Tiempo total para la preparación de las muestras antes del análisis XRF. Cuantitativa, continua	

Nota. En la tabla se resume la estructura de operacionalización de las variables planteadas para la investigación



3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance y limitaciones

3.1.1. Alcance

El alcance de esta investigación se centra en la optimización de los tiempos operativos en el laboratorio XRF de la empresa minera ubicada en el terminal portuario de Matarani mediante la implementación de un análisis húmedo optimizado para concentrado de cobre. Este estudio evaluará la eficiencia de los métodos tradicionales de análisis y los comparará con el nuevo modelo propuesto, con el fin de obtener resultados más rápidos y precisos, y mejorar la toma de decisiones en los procesos mineros.

3.1.2. Limitaciones

- Tiempo: El estudio se desarrollará en un periodo de 6 meses, lo que limita la posibilidad de realizar un análisis a largo plazo.
- Acceso a equipos: Dependencia de la disponibilidad del equipo XRF y las muestras de concentrado de cobre.
- Recolección de datos: La precisión de los resultados dependerá de la calidad de las muestras y la calibración de los instrumentos utilizados.

3.2. Tipo y nivel de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

Aplicada: El proyecto tiene como propósito resolver un problema práctico dentro de la empresa minera, optimizando un proceso específico en el laboratorio de control de calidad para mejorar los tiempos de análisis y la precisión de los resultados.

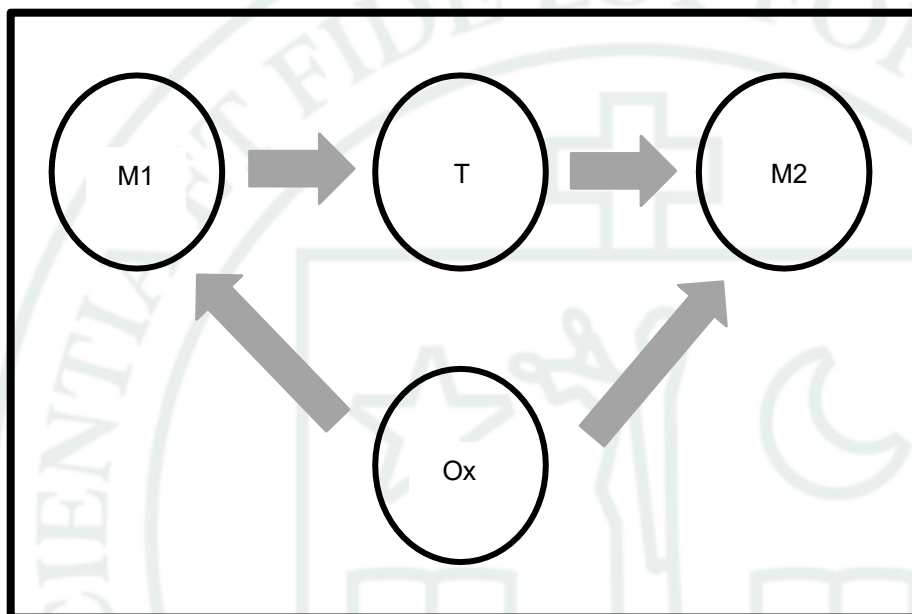
3.2.2. Nivel de investigación

Descriptiva y correlacional: Se describirá el proceso de análisis húmedo en comparación con los métodos tradicionales y se evaluará la relación entre las mejoras en tiempos operativos y la precisión de los resultados, conservando el control de calidad del concentrado.

3.2.3. Diseño de investigación

En razón con Arias (2006), el diseño de la investigación es experimental. Este tipo de investigación consiste en la aplicación de cierto procedimiento al objeto, para observar sus efectos (Ver figura 3).

Figura 3 Esquema del diseño de investigación



Nota. En la figura se sintetiza mediante un esquema, el diseño desarrollado en la investigación.

Donde:

- M1 : Muestra de concentrado de cobre.
- T : Aplicación de *mejora de proceso*.
- M2 : Muestra de concentrado de cobre con resultados más rápidos.
- Ox : Observación de los resultados antes y después de la aplicación de *mejora presentada*.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

El estudio se centrará en las operaciones en el área de control de calidad de la empresa minera ubicada en el terminal portuario de Matarani, específicamente en los procesos de análisis

de concentrado de cobre.

3.3.2. Muestra

Se analizaron 50 muestras representativas de concentrado de cobre, correspondientes a diferentes lotes producidos por la empresa minera, para ser analizadas tanto mediante los métodos tradicionales como con el modelo optimizado propuesto en esta investigación.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Métodos:

- Método Experimental: Se utilizarán métodos experimentales para realizar los análisis de concentrado de cobre, comparando los tiempos y resultados de los procesos tradicionales frente al análisis optimizado.

Técnicas:

- Observación directa: Se observarán los procesos de análisis actuales para identificar ineficiencias y puntos de mejora.
- Registros: Se realizó la toma de datos de los procesos en el área de control de calidad de la empresa minera.

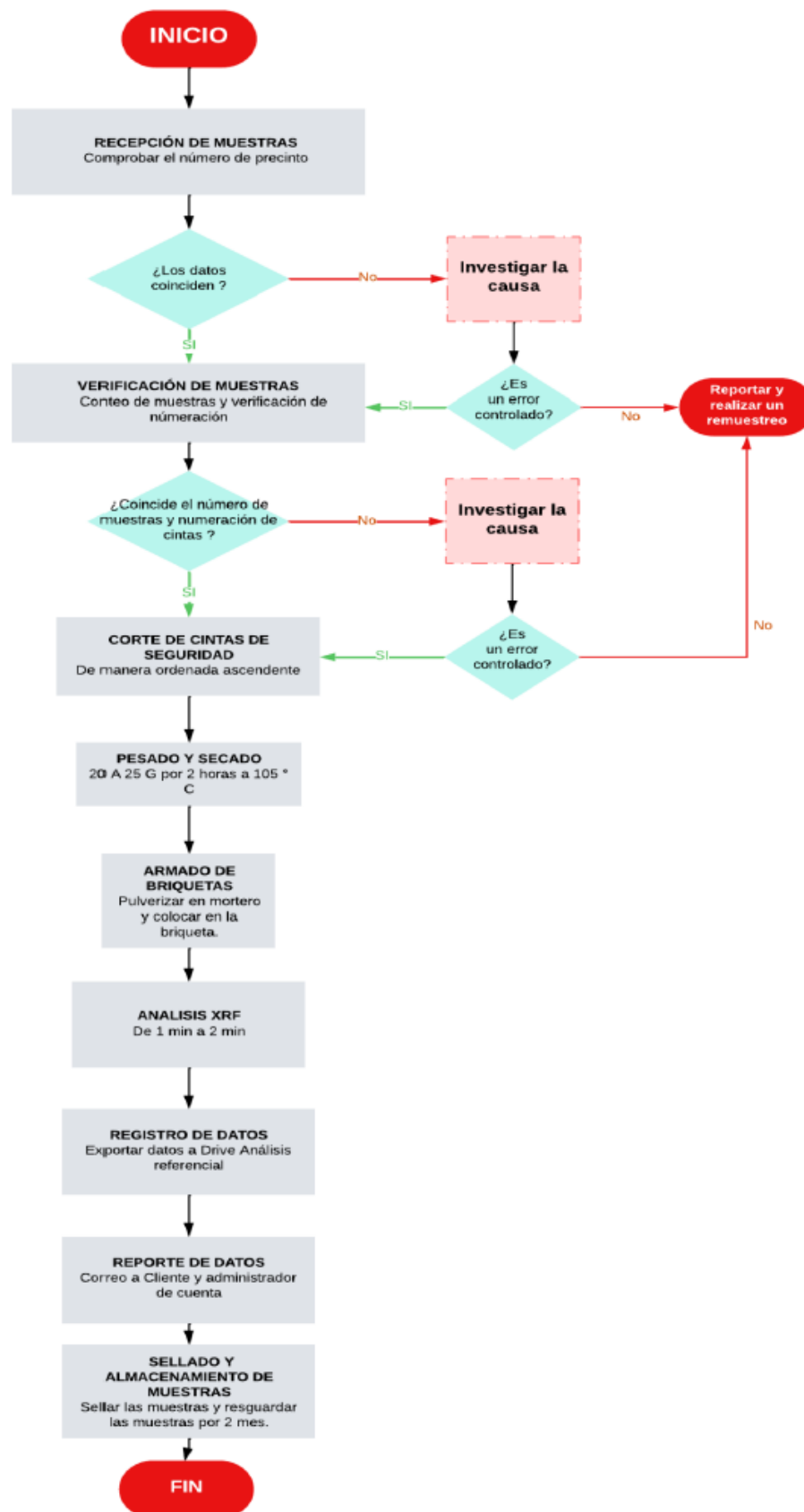
Instrumentos:

- Equipo XRF NITON: Utilizado para realizar los análisis de concentrado de cobre, tanto en su versión tradicional como en la propuesta optimizada.
- Cuestionarios: Para obtener información de los operarios sobre su percepción de los procesos y las mejoras implementadas.

3.4.1. Plan de desarrollo de la investigación

Las actividades del plan de desarrollo de la investigación, se visualizará en la figura 4, que ira desde la recepción de las muestras, su verificación, peso y secado, armado briquetas, análisis, registro de datos y por último el sellado y almacenamiento de muestras.

Figura 4. *Proceso de análisis de muestra*



Nota. Tomado de procedimiento en la empresa

3.5. Proceso de control de calidad en concentrado minero

3.5.1. Proceso de recolección y muestreo

En el proceso de investigación, se realizará el proceso de recolección y muestreo, en donde se usará para poder obtener las muestras y ser llevadas a laboratorio para su respectivo control de calidad.

A continuación se describe el procedimiento:

- Se procede a identificar y verificar la unidad (Ver figura 5), con la lista de unidades correspondientes proporcionadas por el cliente ese día.

Figura 5. Llegada de unidad a almacén



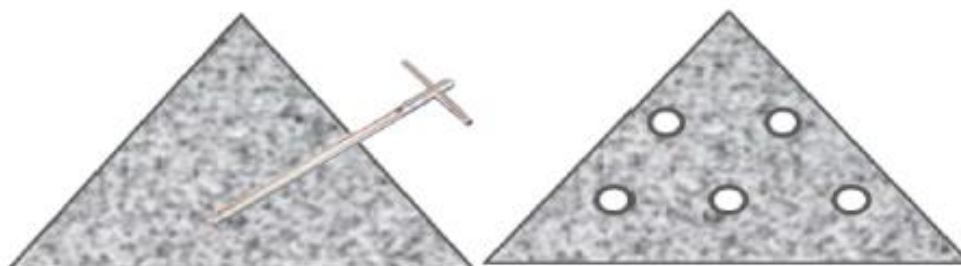
- Se procede a rotular con los datos correspondientes en el formato SUP-F-61, con la fecha, material, calidad, guía y observaciones (Ver figura 6).

Figura 6. Llenado de formato F61

Nota. Llenado de formato F61 realizado en la empresa

- Luego se procede a la inspección del material, prestando atención a la presencia de materiales extraños en el concentrado recepcionado.
- Paso seguido, la toma de muestra mediante una sonda tubular, para muestra control sacar de 12 a 15 incrementos alrededor dando una forma de Zig Zag introduciendo la sonda hasta máxima profundidad (Ver figura 7).

Figura 7. Proceso de obtención de muestra



Nota. Tomado de NTP I12743, 2006)

- Girar para hacer el corte , retirar y depositar la muestra en la bolsa , obteniendo un aproximado de 1000 Gr (Ver figura 8).

Figura 8. Proceso de recolección



Nota. Tomado en la empresa

- Los incrementos deben ser espaciados y distribuidos uniformemente y recolectado en las bolsas de muestra rotulada (Ver figura 9).

Figura 9. Almacenamiento en bolsa de muestra rotulada



Nota. Tomado en la empresa

- Luego se realiza la desaglomeración y homogeneización, se realiza el aseguramiento de las muestras y su traslado hacia el laboratorio de la empresa (Ver figura 10).

Figura 10. *Precintado de muestra*



Nota. Tomado en la empresa

3.6. Procedimiento de análisis de concentrado tradicional

3.6.1. Preparación de hidrómetro

Se inicia el proceso asegurándose de que el hidrómetro esté completamente limpio y libre de cualquier contaminante de muestras anteriores. Este paso es crucial para evitar errores en la medición de la densidad o concentración de las muestras (Ver figura 11).

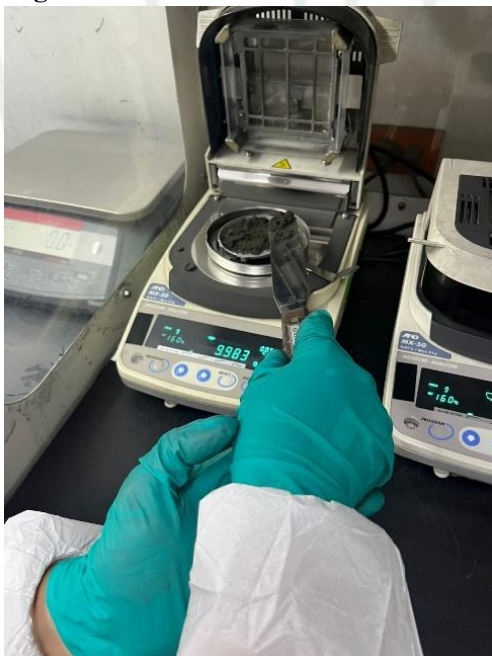
Figura 11. *Puesta en operatividad de hidrómetro*



Nota. Tomado en la empresa

Luego se procede a colocar el concentrado en el hidrómetro para determinar la humedad y secar la el concentrado de muestra (Ver figura 12).

Figura 12. *Colocación de concentrado en hidrómetro*



Nota. Tomado en la empresa

Recopilación de datos de hidrómetro para reporte de humedad en caso requiera cliente (Ver

figura 13).

Figura 13. Resultados de hidrómetro



Nota. Tomado en la empresa

3.6.2. Preparación de estufa

En este punto, se procede a realizar el pesaje del sobre de muestreaje, como se visualiza en la figura 14.

Figura 14. Pesaje de sobre de muestreaje



Nota. Tomado en la empresa

A continuación se procede a llenar el concentrado de muestra en el sobre para su secado en estufa (Ver figura 15).

Figura 15. Colocación de concentrado en sobre



Nota. Tomado en la empresa

Una vez pesado, se registra la cantidad de concentrado de cobre, que será ingresado a la estufa (Ver figura 16 y 17).

Figura 16. Pesaje de sobre con muestra



Nota. Tomado en la empresa

Figura 17. Colocación de sobre en estufa



Nota. Tomado en la empresa

3.6.3. Trituración y preparación en briquetas

En este punto, se coloca la muestra seca, en los depósitos para su traslado al proceso de trituración (Ver figura 18 y 19).

Figura 18. Concentrado de cobre seco



Nota. Tomado en la empresa

Figura 19. *Vertido de concentrado en mortero*



Nota. Tomado en la empresa

Una vez triturado, como se visualiza en la figura 20, se procede a ser colocado en las briquetas como en la figura 21.

Figura 20. *Trituración de muestra*



Nota. Tomado en la empresa

Figura 21. *Colocación de triturado en briquetas*



Nota. Tomado en la empresa Nota

3.7. Procedimiento de análisis de concentrado húmedo propuesto

3.7.1. Verificación y corte de cintas de seguridad

Con la recepción de las muestras al supervisor o auxiliar de calidad XRF, se procede a comprobar el precinto de las bolsas, coincidan con el registro del formato SUP-F-61, se prosigue a la verificación y corte de cintas de seguridad (Ver figura 22).

Figura 22. *Verificado y corte de cintas de seguridad*



Nota. Tomado en la empresa

3.7.2. Homogeneización y preparación de muestra

La homogeneización y preparación de la muestra es un paso crucial para garantizar la precisión y consistencia de los resultados del análisis de concentrado de cobre. En este proceso, la muestra de concentrado se somete a una serie de procedimientos para asegurar su uniformidad antes de ser analizada. Inicialmente, la muestra es desaglomerada y mezclada para asegurar que no existan grandes variaciones en la distribución de los elementos que se van a analizar (Ver figura 23 y 24).

Figura 23. *Preparación de briqueta*



Nota. Tomado en la empresa

Figura 24. *Colocación de concentrado en briqueta*



Nota. Tomado en la empresa

Posteriormente, la muestra es transformada en una forma más adecuada para el análisis mediante la preparación de briquetas, utilizando un procedimiento estándar de compactado como la figura 25.

Figura 25. *Compactado de concentrado para análisis*



Nota. Tomado en la empresa

Este paso es esencial para eliminar cualquier inconsistencia en la muestra que pueda afectar la exactitud del análisis posterior mediante tecnologías como XRF (Ver figura 26 y 27).

Figura 26. *Separación de muestra para análisis*



Nota. Tomado en la empresa

Figura 27. Rotulado de briqueta



Nota. Tomado en la empresa

3.7.3. Análisis de la muestra

Una vez que la muestra ha sido debidamente preparada, se procede al análisis utilizando un equipo de fluorescencia de rayos X (XRF). Este equipo, como el NITON XL3t, permite obtener los resultados de manera rápida y precisa. El procedimiento de análisis incluye la colocación de la briqueta en el equipo de XRF, asegurándose de que la muestra esté correctamente posicionada como en la figura 28, 29 y 30.

Figura 28. *Verificación de equipo NITON*



Nota. Tomado en la empresa

Figura 29. *Ubicación de soporte en base de plomo*



Nota. Tomado en la empresa

Figura 30. *Colocación de briqueta en soporte*



Nota. Tomado en la empresa

Tras una calibración adecuada como en la figura 30, el equipo procede a realizar el análisis, cuantificando los metales presentes en la muestra, tales como cobre, zinc y plomo como en la figura 31.

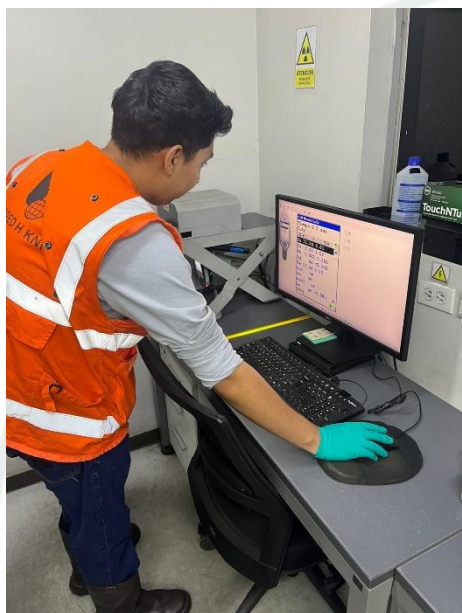
Figura 31. *Cierre de base de plomo para análisis*



Nota. Tomado en la empresa

La duración del análisis es generalmente corta, lo que optimiza los tiempos operativos del laboratorio, y los resultados son registrados automáticamente en un sistema computarizado para su posterior interpretación (Ver figura 32).

Figura 32. *Análisis de resultados de muestras*



Nota. Tomado en la empresa

3.7.4. Reporte de datos de muestras analizadas

Una vez que los resultados del análisis han sido obtenidos, estos son procesados y exportados en un formato Excel para su posterior envío a los clientes, como las empresas mineras. Los datos se transmiten a través de canales oficiales, asegurando que toda la información esté correctamente registrada y sea accesible para el cliente. Además, se incluyen detalles como la fecha del análisis, el tipo de muestra, los resultados obtenidos y cualquier observación relevante sobre el proceso. El envío de estos resultados no solo cumple con los requisitos de calidad y precisión, sino que también asegura que el cliente pueda tomar decisiones informadas basadas en los datos proporcionados (Ver figura 33).

Figura 33. *Envío de resultados a clientes*



Nota. Tomado en la empresa



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Parámetros para la obtención de las muestras

Las muestras para este estudio provienen de una unidad minera ubicada en el sur del Perú, en la región de Cusco, a una altitud aproximada de 4,000 metros sobre el nivel del mar. Esta unidad minera, ubicada en una zona andina, se caracteriza por un clima frío y seco, con temperaturas que varían entre los 5°C y 15°C durante el día, y mínimas cercanas a los -5°C durante la noche. Estas condiciones climáticas son propias de las zonas de gran altitud, lo que influye en las características físicas y químicas del concentrado de cobre extraído.

El concentrado, transportado al terminal portuario de Matarani, presenta una textura fina, color verdoso y humedad variable entre el 8% y el 10%. Está compuesto principalmente por los minerales bornita y calcopirita. Un aspecto clave es que el concentrado tiene una fácil aglomeración, lo que permite desagregarlo sin dificultades, asegurando una muestra homogénea durante la preparación para los análisis (Ver figura 34).

Figura 34. *Inspección visual de concentrado de Cobre*



Nota. Tomado en la empresa

La obtención de las muestras se realiza mediante un protocolo de muestreo estandarizado, utilizando sondas tubulares que permiten recolectar incrementos representativos del concentrado

de diferentes puntos del lote. Estos incrementos se combinan para obtener una muestra representativa del concentrado, la cual se desaglomerará, homogeneizará y preparará para su análisis en el laboratorio. En dicho laboratorio, se utilizarán técnicas avanzadas de análisis, como la espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF), para determinar la concentración de cobre y otros metales presentes en el concentrado.

4.2. Resultados de muestra de proceso tradicional

Tras ejecutar los procedimientos descritos en el capítulo anterior, correspondientes al análisis tradicional de concentrado de cobre, se obtuvieron los siguientes resultados. Estos resultados corresponden a las muestras de concentrado tomadas de diferentes unidades del puerto de Matarani, las cuales fueron analizadas utilizando los métodos convencionales, como la determinación de la humedad y el análisis en estufa, hidrómetro, y trituration en briquetas.

Los datos obtenidos de las muestras se detallan en la siguiente tabla, donde se presenta el porcentaje de cobre (%Cu), así como la concentración de otros metales como zinc (%Zn), plomo (%Pb), plata (%Ag), hierro (%Fe), entre otros componentes presentes en el concentrado de cobre.

A continuación, se muestran los resultados de las muestras analizadas:

Tabla 3. Resultados obtenido de las muestras

Nº	UNIDAD	%Cu	%Zn	%Pb	%Ag	%Fe	%SiO ₂	%CaO	%Al ₂ O ₃	%As	%Sb	%S
1	BSZ-750	24.38	4.43	2.20	0.02	19.93	7.03	2.81	3.58	0.23	0.11	24.38
2	BSZ-888	21.81	5.61	2.54	0.02	21.18	6.21	2.44	2.98	0.21	0.07	26.38
3	VCD-946	23.31	4.35	2.23	0.02	20.52	7.73	3.06	3.59	0.13	0.08	24.42
4	BTE-825	24.64	4.69	2.31	0.02	20.25	7.23	2.70	3.15	0.20	0.08	25.11
5	VBM-926	25.02	4.63	2.35	0.02	20.01	6.86	2.56	3.31	0.13	0.09	25.47
6	BTR-831	24.77	4.53	2.31	0.02	20.19	6.85	2.83	3.32	0.16	0.08	24.35
7	BSZ-803	24.46	4.45	2.32	0.02	20.35	7.16	2.72	3.52	0.17	0.07	24.23
8	BTJ-760	22.75	4.74	2.12	0.02	20.24	6.90	2.75	3.37	0.15	0.09	24.67
9	BSY-912	23.66	4.55	2.35	0.02	20.39	7.32	2.90	4.92	0.13	0.07	25.05
10	V9W-832	24.67	4.47	2.22	0.02	20.18	6.88	2.68	3.49	0.16	0.09	24.23
11	BTQ-729	22.70	5.83	2.48	0.03	21.56	4.06	0.83	1.39	0.04	0.02	24.51
12	BSZ-770	22.73	3.12	1.32	0.02	23.87	4.43	0.47	2.25	0.05	0.00	25.64
13	VBG-722	22.72	5.76	2.58	0.03	20.58	4.45	0.93	2.29	0.00	0.02	23.51
14	VBK-929	23.51	3.46	1.84	0.04	21.30	3.65	2.02	0.00	0.17	0.14	23.45
15	CBA-768	24.01	3.67	1.91	0.04	21.40	3.79	2.19	0.00	0.18	0.14	23.79
16	VCH-759	24.53	3.46	1.88	0.04	21.32	3.30	1.79	0.00	0.15	0.15	24.41
17	AVO-725	23.32	3.51	1.86	0.04	20.67	3.41	1.99	0.89	0.17	0.14	22.87

18	BTD-768	24.54	2.84	1.49	0.03	22.60	3.90	1.93	1.06	0.13	0.09	23.74
19	VBK-940	23.10	4.45	1.69	0.03	20.01	3.90	1.78	1.13	0.07	0.09	22.46
20	VCZ-757	22.92	5.39	1.91	0.04	19.37	3.37	1.75	1.13	0.11	0.10	21.95
21	CAL-734	25.19	2.56	1.36	0.04	21.57	3.67	1.76	1.40	0.11	0.09	22.60
22	VAZ-741	24.49	5.71	1.70	0.03	21.30	3.62	1.95	0.00	0.12	0.09	24.22
23	VAM-930	21.96	3.60	1.92	0.03	19.41	4.84	1.97	0.00	0.07	0.10	21.84
24	VAR-897	25.64	4.23	1.61	0.03	20.16	4.19	2.48	1.37	0.14	0.14	21.75
25	BTH-754	26.03	4.22	1.66	0.03	20.15	4.12	2.38	1.40	0.13	0.14	21.51
26	VCI-896	26.62	4.20	1.71	0.04	20.38	4.15	2.26	0.92	0.13	0.14	21.24
27	VDG-764	26.24	3.57	1.44	0.04	19.56	4.10	2.76	1.54	0.15	0.17	20.63
28	VDC-795	25.44	3.99	1.57	0.04	20.05	3.98	2.46	1.31	0.13	0.14	20.72
29	BTD-745	27.48	4.00	1.53	0.03	22.54	4.33	2.06	1.23	0.13	0.11	22.92
30	VCT-827	26.46	3.91	1.48	0.03	22.62	4.37	1.97	1.01	0.09	0.11	22.42
31	BTB-825	19.19	7.70	2.04	0.02	19.69	4.81	1.19	1.81	0.08	0.03	26.73
32	BTK-832	19.37	7.62	2.04	0.02	19.79	4.47	1.16	2.01	0.05	0.03	26.35
33	BSY-900	19.42	8.19	1.85	0.02	19.60	4.43	0.92	2.21	0.00	0.01	26.28
34	AVO-872	20.50	8.07	2.09	0.02	20.40	4.77	1.01	1.45	0.05	0.02	28.69
35	BVL-841	19.87	5.99	2.35	0.02	20.23	4.26	1.47	1.31	0.10	0.06	26.44
36	V9X-925	23.63	5.66	1.99	0.03	20.30	6.38	1.16	3.40	0.00	0.01	28.90
37	VCI-896	23.55	5.12	2.01	0.03	20.05	5.63	1.03	2.33	0.00	0.01	27.71
38	VAY-860	23.15	5.31	1.81	0.02	19.86	6.06	0.96	3.07	0.09	0.01	27.18
39	BSZ-747	23.69	5.13	1.81	0.02	20.23	6.58	1.08	3.27	0.00	0.01	28.16
40	VBK-853	23.92	5.26	1.87	0.02	20.81	5.81	1.06	3.94	0.00	0.01	29.12
41	BRN-849	22.44	6.41	1.95	0.02	20.06	6.96	0.57	3.30	0.07	0.02	26.93
42	BWJ-942	22.29	6.08	2.18	0.02	20.30	6.83	0.53	3.19	0.03	0.02	28.42
43	AYR-878	23.01	5.67	2.17	0.02	20.35	6.18	0.50	3.09	0.00	0.02	27.07
44	BTH-808	22.52	5.61	2.13	0.03	20.69	6.89	0.54	3.19	0.08	0.02	28.37
45	BTK-832	22.46	5.54	2.06	0.02	20.86	6.74	0.54	3.61	0.00	0.02	27.63
46	AYR-807	25.50	2.23	1.35	0.02	22.39	6.42	2.18	0.00	0.08	0.11	19.36
47	AVO-720	25.60	2.03	1.34	0.03	22.46	7.21	2.24	2.85	0.10	0.10	19.66
48	AVO-872	26.61	2.18	1.53	0.02	23.22	6.08	1.72	4.69	0.00	0.11	20.39
49	AVO-913	24.70	1.92	1.25	0.02	22.72	6.54	2.18	0.00	0.08	0.09	20.83
50	BRN-875	26.15	2.07	1.24	0.02	22.77	7.32	2.17	2.57	0.05	0.08	18.33

Nota: Esta tabla presenta los resultados del análisis de las muestras, comparando los métodos tradicionales y propuestos. La nota debe explicar cómo los datos de esta tabla contribuyen a evaluar la eficacia del método optimizado para mejorar la eficiencia operativa.

Los valores presentados en la tabla 3 corresponden a los análisis de concentrado de cobre que fueron realizados mediante el procedimiento tradicional, el cual incluye la medición de los elementos principales presentes en el concentrado, tales como cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb), entre otros. Estos resultados nos permiten observar la variabilidad en la composición del

concentrado de cobre, lo cual es relevante para evaluar la calidad del producto y determinar las mejores estrategias para su posterior procesamiento.

La información obtenida también será utilizada como base para la comparación con los resultados obtenidos mediante el nuevo proceso de análisis propuesto en esta investigación, con el fin de evaluar los beneficios de la optimización de los tiempos operativos y la precisión de los resultados.

A continuación, se presentan los resultados de los tiempos de prueba en hidrómetro, que se utilizan para la eliminación de la humedad del concentrado de briqueta por briqueta, uno de los parámetros importantes en la caracterización del material:

Tabla 4. Resultados de tiempos de prueba en hidrómetro

N°	UNIDAD	TIEMPOS				
		HIDROMETRO (min)				
		Secado (min)	HIDROMETROS (Prom. 2 equipos)	Preparación y Tiempos Extras (min)	Análisis (min)	Tiempo de Reporte y Almacenaje (min)
1	BSZ-750	5.60	5.30	1.4	1.5	20
2	BSZ-888	5		1.2	1.5	
3	VCD-946	4.3	4.70	1.8	1.5	
4	BTE-825	5.1		1.2	1.5	
5	VBM-926	4.7	4.65	1.5	1.5	
6	BTR-831	4.6		1.2	1.5	
7	BSZ-803	4	4.30	1.5	1.5	
8	BTJ-760	4.6		1.4	1.5	
9	BSY-912	5.3	5.00	1.7	1.5	
10	V9W-832	4.7		1.5	1.5	
11	BTQ-729	4.2	4.45	2.0	1.5	
12	BSZ-770	4.7		2.0	1.5	
13	VBG-722	5.6	5.10	1.5	1.5	
14	VBK-929	4.6		1.4	1.5	
15	CBA-768	4.8	4.50	1.0	1.5	
16	VCH-759	4.2		1.4	1.5	
17	AVO-725	5.8	4.90	1.4	1.5	
18	BTD-768	4		1.4	1.5	
19	VBK-940	5.8	5.25	1.3	1.5	
20	VCZ-757	4.7		1.3	1.5	
21	CAL-734	4.9	5.10	1.8	1.5	
22	VAZ-741	5.3		1.3	1.5	
23	VAM-930	3.9	4.80	1.4	1.5	

24	VAR-897	5.7		1.5	1.5	
25	BTH-754	5.2	5.10	1.4	1.5	
26	VCI-896	5		1.3	1.5	
27	VDG-764	5.6	5.70	2.0	1.5	
28	VDC-795	5.8		1.2	1.5	
29	BTD-745	5.8	5.70	1.9	1.5	
30	VCT-827	5.6		1.5	1.5	
31	BTB-825	5	5.05	1.6	1.5	
32	BTK-832	5.1		1.2	1.5	
33	BSY-900	5	5.05	1.1	1.5	
34	AVO-872	5.1		1.9	1.5	
35	BVL-841	5.8	5.10	1.3	1.5	
36	V9X-925	4.4		1.4	1.5	
37	VCI-896	4.2	4.15	1.7	1.5	
38	VAY-860	4.1		1.1	1.5	
39	BSZ-747	4.9	4.95	1.9	1.5	
40	VBK-853	5		1.4	1.5	
41	BRN-849	5.9	5.55	1.8	1.5	
42	BWJ-942	5.2		1.4	1.5	
43	AYR-878	4.4	4.75	1.2	1.5	
44	BTH-808	5.1		1.6	1.5	
45	BTK-832	5.2	5.40	1.9	1.5	
46	AYR-807	5.6		1.3	1.5	
47	AVO-720	4.4	4.75	1.1	1.5	
48	AVO-872	5.1		1.3	1.5	
49	AVO-913	4.7	4.55	1.5	1.5	
50	BRN-875	4.4		1.8	1.5	
Σ		247.70	123.85	73.9	75	20
Tiempo Total (Min)		292.75				
Tiempo Total (H)		4 hrs 52 min 45 seg				

Nota. Esta tabla muestra los tiempos de prueba del método del hidrómetro, que se comparan con el proceso optimizado. Demuestra las mejoras observadas en cuanto al tiempo.

La tabla 4, muestra los tiempos correspondientes a los diferentes pasos del proceso de análisis utilizando hidrómetro. Estos tiempos, incluidos el secado, la preparación de muestras y el análisis final, permiten evaluar la eficiencia operativa de los métodos tradicionales utilizados en el laboratorio. Los tiempos de secado y análisis, junto con el tiempo de reporte y almacenamiento, son indicadores clave de la eficiencia del proceso analítico.

continuación, se presentan los resultados de los tiempos de prueba en estufa, que se utilizan

para el secado del concentrado, uno de los parámetros importantes en la caracterización del material:

Tabla 5. Resultados de tiempos de prueba en estufa

N°	UNIDAD	Estufa (min)					
		Pesado y Llenado de sobres (min)	Espera 105°C (min)	Secado (min)	Preparación (min)	Análisis (min)	Tiempo de Reporte y Almacenaje (min)
1	BSZ-750	1.0	10	120	1	1.5	20
2	BSZ-888	1.0			1	1.5	
3	VCD-946	1.0			1	1.5	
4	BTE-825	1.0			1	1.5	
5	VBM-926	1.0			1	1.5	
6	BTR-831	1.0			1	1.5	
7	BSZ-803	1.0			1	1.5	
8	BTJ-760	1.0			1	1.5	
9	BSY-912	1.0			1	1.5	
10	V9W-832	1.0			1	1.5	
11	BTQ-729	1.0			1	1.5	
12	BSZ-770	1.0			1	1.5	
13	VBG-722	1.0			1	1.5	
14	VBK-929	1.0			1	1.5	
15	CBA-768	1.0			1	1.5	
16	VCH-759	1.0			1	1.5	
17	AVO-725	1.0			1	1.5	
18	BTD-768	1.0			1	1.5	
19	VBK-940	1.0			1	1.5	
20	VCZ-757	1.0			1	1.5	
21	CAL-734	1.0			1	1.5	
22	VAZ-741	1.0			1	1.5	
23	VAM-930	1.0			1	1.5	
24	VAR-897	1.0			1	1.5	
25	BTH-754	1.0			1	1.5	
26	VCI-896	1.0			1	1.5	
27	VDG-764	1.0			1	1.5	
28	VDC-795	1.0			1	1.5	
29	BTD-745	1.0			1	1.5	
30	VCT-827	1.0			1	1.5	
31	BTB-825	1.0			1	1.5	
32	BTK-832	1.0			1	1.5	
33	BSY-900	1.0			1	1.5	
34	AVO-872	1.0			1	1.5	
35	BVL-841	1.0			1	1.5	

36	V9X-925	1.0			1	1.5	
37	VCI-896	1.0			1	1.5	
38	VAY-860	1.0			1	1.5	
39	BSZ-747	1.0			1	1.5	
40	VBK-853	1.0			1	1.5	
41	BRN-849	1.0			1	1.5	
42	BWJ-942	1.0			1	1.5	
43	AYR-878	1.0			1	1.5	
44	BTH-808	1.0			1	1.5	
45	BTK-832	1.0			1	1.5	
46	AYR-807	1.0			1	1.5	
47	AVO-720	1.0			1	1.5	
48	AVO-872	1.0			1	1.5	
49	AVO-913	1.0			1	1.5	
50	BRN-875	1.0			1	1.5	
Σ		50	10	120	50	75	20
Tiempo Total (Min)		325					
Tiempo Total (H)		5 hrs 25 min					

Nota. Esta tabla muestra los tiempos de ensayo asociados al método del horno. La nota debe explicar cómo estos datos reflejan las deficiencias operativas de los métodos tradicionales.

La tabla 5, muestra los tiempos correspondientes a los diferentes pasos del proceso de análisis utilizando la estufa, que se calienta a 105°C.

4.3. Resultados de muestra de proceso propuesto

Los resultados de las muestras se presentan del proceso propuesto de análisis de concentrado de cobre utilizando el método XRF en húmedo. A diferencia de los métodos tradicionales, el proceso optimizado en húmedo se implementó con la intención de reducir los tiempos operativos y mejorar la precisión de los resultados en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani. A continuación, se detallan los resultados obtenidos con el nuevo proceso de análisis, que se compararán con los métodos tradicionales en términos de eficiencia y precisión.

Tabla 6. Resultados de proceso propuesto en húmedo

N°	UNIDAD	HUMEDAD	%Cu	%Zn	%Pb	%Ag	%Fe	%SiO2	%CaO	%Al2O3	%As	%Sb	%S
1	BSZ-750	9.15%	22.90	4.13	1.88	0.02	19.03	5.81	2.48	2.30	0.18	0.09	21.71
2	BSZ-888	8.87%	20.42	5.12	2.17	0.02	19.93	5.23	2.53	2.45	0.18	0.07	23.76
3	VCD-946	8.15%	22.29	3.97	1.99	0.02	19.20	6.42	2.83	3.72	0.16	0.07	21.71
4	BTE-825	8.30%	22.55	4.07	2.01	0.02	19.05	5.94	2.65	2.55	0.13	0.08	22.33
5	VBM-926	8.01%	22.95	3.96	2.00	0.02	18.96	5.66	2.47	2.27	0.17	0.08	22.43
6	BTR-831	8.10%	22.33	4.14	2.00	0.02	18.98	6.15	2.74	2.68	0.08	0.07	21.38
7	BSZ-803	8.00%	22.08	4.11	2.05	0.02	19.11	6.01	2.71	2.93	0.12	0.06	21.22
8	BTJ-760	8.98%	20.76	4.50	1.98	0.02	19.07	5.51	2.56	2.35	0.14	0.09	21.58
9	BSY-912	9.02%	21.43	4.16	2.05	0.02	19.16	6.24	2.85	2.50	0.12	0.06	21.40
10	V9W-832	8.12%	22.23	4.11	1.92	0.02	18.98	5.83	2.71	2.44	0.12	0.07	21.14
11	BTQ-729	9.00%	19.99	5.72	2.17	0.02	20.00	3.39	0.62	1.14	0.00	0.02	18.77
12	BSZ-770	8.87%	20.27	3.19	1.17	0.02	22.23	3.49	0.39	1.00	0.03	0.01	21.45
13	VBG-722	9.27%	20.52	5.66	2.25	0.03	19.62	3.92	0.96	1.06	0.05	0.01	19.02
14	VBK-929	8.00%	22.33	3.32	1.70	0.04	19.62	2.43	1.38	0.81	0.13	0.14	18.21
15	CBA-768	8.32%	22.02	3.41	1.70	0.04	19.75	2.76	1.77	0.68	0.14	0.14	17.69
16	VCH-759	8.02%	22.37	3.41	1.73	0.03	20.28	2.66	1.69	0.80	0.15	0.14	18.45
17	AVO-725	8.26%	21.66	3.34	1.74	0.03	19.82	2.59	1.71	0.00	0.13	0.14	18.55
18	BTD-768	9.77%	21.75	3.25	1.62	0.03	19.72	3.16	1.60	0.00	0.11	0.10	18.83
19	VBK-940	8.71%	22.25	4.30	1.63	0.04	19.56	3.00	1.47	0.00	0.11	0.09	17.56
20	VCZ-757	8.66%	21.94	5.33	1.79	0.03	18.61	2.74	1.38	0.00	0.09	0.10	18.09
21	CAL-734	9.17%	23.38	2.49	1.32	0.03	20.74	2.97	1.47	1.01	0.08	0.09	17.97
22	VAZ-741	8.70%	22.60	5.26	1.48	0.03	20.04	2.97	1.68	1.26	0.09	0.08	18.83
23	VAM-930	8.38%	20.60	3.47	1.67	0.03	18.62	3.67	1.67	1.17	0.10	0.11	17.11
24	VAR-897	8.93%	23.96	3.97	1.43	0.03	19.20	2.83	1.93	0.00	0.12	0.13	16.58
25	BTH-754	8.77%	23.33	3.91	1.45	0.04	18.77	2.74	1.85	0.00	0.10	0.13	16.79
26	VCI-896	8.53%	23.70	3.85	1.48	0.03	18.94	2.62	1.76	0.00	0.11	0.12	16.71
27	VDG-764	8.64%	24.94	3.56	1.36	0.04	18.63	2.90	2.13	1.10	0.12	0.15	15.75
28	VDC-795	8.71%	23.82	3.86	1.45	0.04	19.32	2.81	1.90	0.00	0.11	0.13	16.52
29	BTD-745	8.02%	24.01	3.61	1.26	0.03	20.68	3.24	1.54	0.00	0.09	0.09	17.62
30	VCT-827	8.34%	23.52	3.79	1.32	0.03	21.11	3.24	1.55	0.95	0.08	0.09	17.12
31	BTB-825	8.50%	17.56	6.68	1.78	0.02	18.53	3.95	1.17	1.47	0.05	0.03	23.77
32	BTK-832	8.49%	17.77	6.52	1.74	0.02	18.76	3.69	1.12	1.38	0.07	0.03	23.21
33	BSY-900	8.74%	17.51	7.49	1.60	0.02	18.43	3.98	0.89	1.79	0.00	0.01	23.08
34	AVO-872	8.66%	18.51	7.45	1.84	0.02	19.16	4.00	1.00	1.21	0.04	0.02	25.13
35	BVL-841	9.20%	18.13	5.69	2.20	0.02	19.06	3.40	1.37	0.92	0.09	0.06	23.13
36	V9X-925	8.10%	21.68	4.84	1.70	0.02	19.24	5.27	1.12	2.33	0.00	0.01	25.45
37	VCI-896	8.20%	21.24	4.69	1.74	0.02	18.85	5.06	1.00	1.89	0.00	0.01	24.33
38	VAY-860	8.00%	20.90	4.91	1.60	0.02	18.65	5.09	0.96	2.55	0.07	0.01	23.81
39	BSZ-747	8.85%	21.61	4.88	1.69	0.02	19.06	5.25	1.01	2.29	0.00	0.01	24.63
40	VBK-853	8.99%	21.67	4.82	1.63	0.02	19.55	4.95	1.04	2.01	0.00	0.01	24.87
41	BRN-849	9.30%	20.54	5.56	1.70	0.02	18.88	5.72	0.56	2.67	0.05	0.02	23.95
42	BWJ-942	9.00%	20.44	5.20	1.86	0.02	19.24	5.64	0.52	2.19	0.04	0.02	25.03
43	AYR-878	8.35%	20.75	5.19	1.88	0.02	19.14	5.55	0.49	2.50	0.00	0.02	23.78

44	BTH-808	8.87%	20.33	5.18	1.87	0.02	19.43	5.79	0.54	2.65	0.06	0.02	24.84
45	BTK-832	9.03%	20.49	5.26	1.92	0.02	19.65	5.39	0.51	2.52	0.00	0.02	24.17
46	AYR-807	9.14%	23.54	2.05	1.17	0.02	21.06	5.26	1.88	1.81	0.06	0.09	15.05
47	AVO-720	8.89%	23.76	1.97	1.30	0.02	21.60	5.83	1.88	2.06	0.07	0.10	15.63
48	AVO-872	8.75%	24.04	2.15	1.33	0.02	22.14	5.36	1.76	2.16	0.06	0.08	16.50
49	AVO-913	8.65%	22.95	1.83	1.18	0.02	21.79	4.98	1.88	1.46	0.06	0.09	16.90
50	BRN-875	9.01%	23.86	1.97	1.16	0.02	21.45	5.85	2.03	1.79	0.05	0.09	16.04

Nota. Esta tabla compara los resultados del método de análisis húmedo propuesto con los del método tradicional. Destaca cómo el método optimizado mejora la eficiencia.

Los resultados obtenidos del proceso propuesto en húmedo indican que las concentraciones de cobre (%Cu) en las muestras son consistentes, con un promedio de 22.72%. Se observa una ligera variación en los otros metales (como zinc, plomo, y hierro), lo cual refleja la heterogeneidad del concentrado, pero se mantiene dentro de los límites operativos para el proceso.

Tabla 7. Resultados de tiempos de prueba propuesto

Nº	UNIDAD	Preparación (min)	Análisis (min)	Tiempo de Reporte y Almacenaje (min)
1	BSZ-750	0.50	1.5	20
2	BSZ-888	0.50	1.5	
3	VCD-946	0.50	1.5	
4	BTE-825	0.50	1.5	
5	VBM-926	0.50	1.5	
6	BTR-831	0.50	1.5	
7	BSZ-803	0.50	1.5	
8	BTJ-760	0.50	1.5	
9	BSY-912	0.50	1.5	
10	V9W-832	0.50	1.5	
11	BTQ-729	0.50	1.5	
12	BSZ-770	0.50	1.5	
13	VBG-722	0.50	1.5	
14	VBK-929	0.50	1.5	
15	CBA-768	0.50	1.5	
16	VCH-759	0.50	1.5	
17	AVO-725	0.50	1.5	
18	BTD-768	0.50	1.5	
19	VBK-940	0.50	1.5	
20	VCZ-757	0.50	1.5	
21	CAL-734	0.50	1.5	
22	VAZ-741	0.50	1.5	
23	VAM-930	0.50	1.5	

24	VAR-897	0.50	1.5	
25	BTH-754	0.50	1.5	
26	VCI-896	0.50	1.5	
27	VDG-764	0.50	1.5	
28	VDC-795	0.50	1.5	
29	BTB-745	0.50	1.5	
30	VCT-827	0.50	1.5	
31	BTB-825	0.50	1.5	
32	BTK-832	0.50	1.5	
33	BSY-900	0.50	1.5	
34	AVO-872	0.50	1.5	
35	BVL-841	0.50	1.5	
36	V9X-925	0.50	1.5	
37	VCI-896	0.50	1.5	
38	VAY-860	0.50	1.5	
39	BSZ-747	0.50	1.5	
40	VBK-853	0.50	1.5	
41	BRN-849	0.50	1.5	
42	BWJ-942	0.50	1.5	
43	AYR-878	0.50	1.5	
44	BTH-808	0.50	1.5	
45	BTK-832	0.50	1.5	
46	AYR-807	0.50	1.5	
47	AVO-720	0.50	1.5	
48	AVO-872	0.50	1.5	
49	AVO-913	0.50	1.5	
50	BRN-875	0.50	1.5	
Σ		25.00	75.00	20.00
Tiempo Total (Min)		120.00		
Tiempo Total (H)		2 hrs		

Nota. Esta tabla muestra los tiempos de prueba del método propuesto. Cabe aclarar que la tabla es fundamental para demostrar el ahorro de tiempo que supone el nuevo proceso.

El tiempo total para los análisis utilizando el proceso propuesto es significativamente menor en comparación con los métodos tradicionales, lo que refleja una mejora sustancial en la eficiencia operativa. Los tiempos de secado y preparación de muestras son más rápidos, y el análisis se realiza en un tiempo mucho más corto, lo que contribuye a una reducción de los tiempos de espera y aumenta la capacidad de respuesta en los laboratorios mineros.

4.4. Comparativa de muestra de procesos

A continuación se presentan los resultados de la comparativa entre los procesos tradicionales y el proceso optimizado propuesto, utilizando el análisis XRF en húmedo. Para realizar esta comparación, se han considerado los resultados promedio de las muestras procesadas antes y después de la implementación del proceso optimizado. A partir de estos valores, se calculó el factor de corrección que permite ajustar los resultados obtenidos mediante el nuevo proceso en función de los valores obtenidos con los métodos tradicionales.

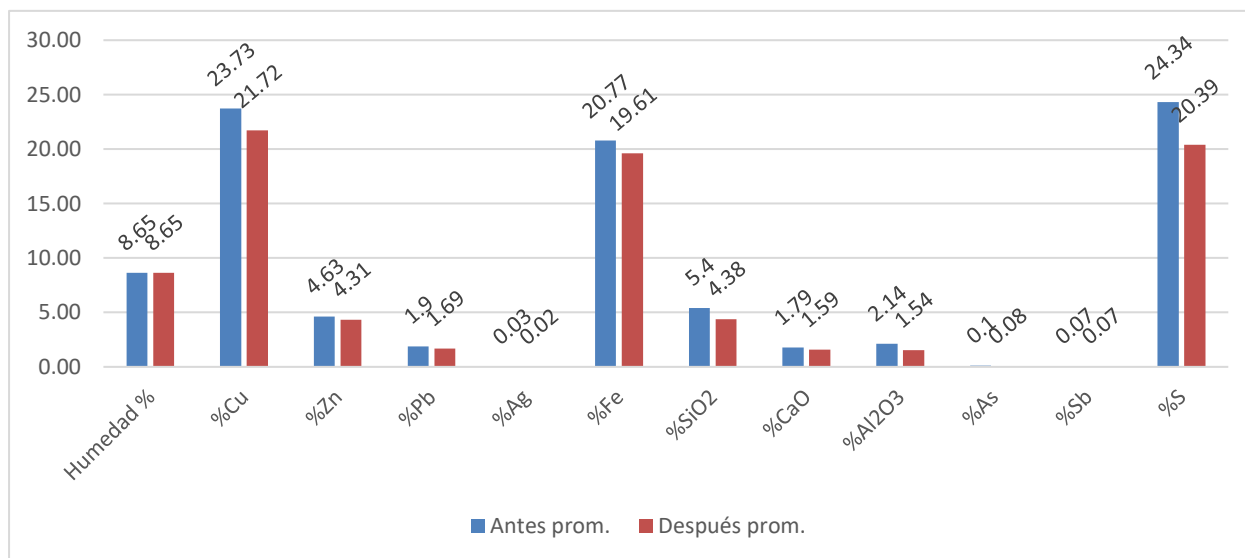
Tabla 8. Comparativa de resultados obtenidos

	HUMEDAD	%Cu	%Zn	%Pb	%Ag	%Fe	%SiO ₂	%CaO	%Al ₂ O ₃	%As	%Sb	%S
Antes prom.	8.65%	23.73	4.63	1.90	0.03	20.77	5.40	1.79	2.14	0.10	0.07	24.34
Después prom.	8.65%	21.72	4.31	1.69	0.02	19.61	4.38	1.59	1.54	0.08	0.07	20.39
Factor de corrección	NA	1.09	1.08	1.12	1.06	1.06	1.23	1.12	1.39	1.17	1.00	1.19

Nota. Esta tabla compara los resultados obtenidos mediante métodos tradicionales y optimizados. La nota debe resaltar su función al mostrar la mejora comparativa en el rendimiento operativo.

En la Tabla 8, se calcula el promedio de los resultados obtenidos antes y después de aplicar el nuevo proceso, y el factor de corrección se obtiene como la relación entre el promedio de los valores obtenidos con el proceso propuesto (después) y los valores obtenidos con el proceso tradicional (antes). Este factor de corrección es útil para ajustar los resultados y compararlos de manera más precisa, reflejando la mejora en la precisión y la eficiencia del proceso optimizado.

Figura 35. Comparativa gráfica de promedios de antes y después



Nota. Este gráfico compara los valores promedio antes y después de la implementación del proceso optimizado en el análisis del concentrado de cobre. La figura resalta las mejoras logradas tanto en eficiencia como en precisión tras la optimización, y sirve para demostrar la efectividad de la metodología propuesta.

A continuación se darán los resultados de los valores con el uso del factor de corrección hallado en la tabla 8.

Tabla 9. Resultados de control de calidad de Cu, con factor de corrección

ITEM	Valor original	Valor en seco	Valor corregido	D	% D	Valor original	Valor corregido	Valor en seco	Diferencia	% D	D	% D
	%Cu	%Cu	%Cu	%Cu	%Cu	%Fe	%Fe	%Fe	%Fe	%Fe	%Fe	%Fe
1	22.90	24.38	24.96	-0.58	-2.38%	19.03	20.17	19.93	-0.24	-1.21%	0.99	4.96%
2	20.42	21.81	22.26	-0.45	-2.05%	19.93	21.13	21.18	0.05	0.26%	1.00	4.73%
3	22.29	23.31	24.30	-0.99	-4.23%	19.20	20.35	20.52	0.17	0.82%	1.01	4.91%
4	22.55	24.64	24.58	0.06	0.25%	19.05	20.19	20.25	0.06	0.28%	1.00	4.95%
5	22.95	25.02	25.02	0.00	0.02%	18.96	20.10	20.01	-0.09	-0.44%	1.00	4.98%
6	22.33	24.77	24.34	0.43	1.74%	18.98	20.12	20.19	0.07	0.35%	1.00	4.97%
7	22.08	24.46	24.07	0.39	1.61%	19.11	20.26	20.35	0.09	0.46%	1.00	4.94%
8	20.76	22.75	22.63	0.12	0.53%	19.07	20.21	20.24	0.03	0.13%	1.00	4.95%
9	21.43	23.66	23.36	0.30	1.27%	19.16	20.31	20.39	0.08	0.39%	1.00	4.92%
10	22.23	24.67	24.23	0.44	1.78%	18.98	20.12	20.18	0.06	0.30%	1.00	4.97%
11	19.99	22.70	21.79	0.91	4.01%	20.00	21.20	21.56	0.36	1.67%	1.02	4.72%
12	20.27	22.73	22.09	0.64	2.80%	22.23	23.56	23.87	0.31	1.28%	1.01	4.24%
13	20.52	22.72	22.37	0.35	1.55%	19.62	20.80	20.58	-0.22	-1.06%	0.99	4.81%

14	22.33	23.51	24.34	-0.83	-3.53%	19.62	20.80	21.30	0.50	2.36%	1.02	4.81%
15	22.02	24.01	24.00	0.01	0.03%	19.75	20.94	21.40	0.46	2.17%	1.02	4.78%
16	22.37	24.53	24.38	0.15	0.60%	20.28	21.50	21.32	-0.18	-0.83%	0.99	4.65%
17	21.66	23.32	23.61	-0.29	-1.24%	19.82	21.01	20.67	-0.34	-1.64%	0.98	4.76%
18	21.75	24.54	23.71	0.83	3.39%	19.72	20.90	20.52	-0.38	-1.87%	0.98	4.78%
19	22.25	23.10	24.25	-1.15	-4.99%	19.56	20.73	20.01	-0.72	-3.62%	0.97	4.82%
20	21.94	22.92	23.91	-0.99	-4.34%	18.61	19.73	19.37	-0.36	-1.84%	0.98	5.07%
21	23.38	25.19	25.48	-0.29	-1.17%	20.74	21.98	21.57	-0.41	-1.92%	0.98	4.55%
22	22.60	24.49	24.63	-0.14	-0.59%	20.04	21.24	21.30	0.06	0.27%	1.00	4.71%
23	20.60	21.96	22.45	-0.49	-2.25%	18.62	19.74	19.41	-0.33	-1.69%	0.98	5.07%
24	23.96	25.64	26.12	-0.48	-1.86%	19.20	20.35	20.16	-0.19	-0.95%	0.99	4.91%
25	23.33	26.03	25.43	0.60	2.31%	18.77	19.90	20.15	0.25	1.26%	1.01	5.03%
26	23.70	26.62	25.83	0.79	2.96%	18.94	20.08	20.38	0.30	1.49%	1.02	4.98%
27	24.94	26.24	27.18	-0.94	-3.60%	18.63	19.75	19.56	-0.19	-0.96%	0.99	5.06%
28	23.82	25.44	25.96	-0.52	-2.06%	19.32	20.48	20.05	-0.43	-2.14%	0.98	4.88%
29	24.01	27.48	26.17	1.31	4.76%	20.68	21.92	22.54	0.62	2.75%	1.03	4.56%
30	23.52	26.46	25.64	0.82	3.11%	21.11	22.38	22.62	0.24	1.08%	1.01	4.47%
31	17.56	19.19	19.14	0.05	0.26%	18.53	19.64	19.69	0.05	0.24%	1.00	5.09%
32	17.77	19.37	19.37	0.00	0.00%	18.76	19.89	19.79	-0.10	-0.48%	1.00	5.03%
33	17.51	19.42	19.09	0.33	1.72%	18.43	19.54	19.60	0.06	0.33%	1.00	5.12%
34	18.51	20.50	20.18	0.32	1.58%	19.16	20.31	20.40	0.09	0.44%	1.00	4.92%
35	18.13	19.87	19.76	0.11	0.55%	19.06	20.20	20.23	0.03	0.13%	1.00	4.95%
36	21.68	23.63	23.63	0.00	-0.01%	19.24	20.39	20.30	-0.09	-0.47%	1.00	4.90%
37	21.24	23.55	23.15	0.40	1.69%	18.85	19.98	20.05	0.07	0.34%	1.00	5.00%
38	20.90	23.15	22.78	0.37	1.59%	18.65	19.77	19.86	0.09	0.46%	1.00	5.06%
39	21.61	23.69	23.55	0.14	0.57%	19.06	20.20	20.23	0.03	0.13%	1.00	4.95%
40	21.67	23.92	23.62	0.30	1.25%	19.55	20.72	20.81	0.09	0.42%	1.00	4.83%
41	20.54	22.44	22.39	0.05	0.23%	18.88	20.01	20.06	0.05	0.24%	1.00	5.00%
42	20.44	22.29	22.28	0.01	0.05%	19.24	20.39	20.30	-0.09	-0.47%	1.00	4.90%
43	20.75	23.01	22.62	0.39	1.71%	19.14	20.29	20.35	0.06	0.30%	1.00	4.93%
44	20.33	22.52	22.16	0.36	1.60%	19.43	20.60	20.69	0.09	0.46%	1.00	4.86%
45	20.49	22.46	22.33	0.13	0.56%	19.65	20.83	20.86	0.03	0.15%	1.00	4.80%
46	23.54	25.50	25.66	-0.16	-0.62%	21.06	22.32	22.39	0.07	0.30%	1.00	4.48%
47	23.76	25.60	25.90	-0.30	-1.17%	21.60	22.90	22.46	-0.44	-1.94%	0.98	4.37%
48	24.04	26.61	26.20	0.41	1.53%	22.14	23.47	23.22	-0.25	-1.07%	0.99	4.26%
49	22.95	24.70	25.02	-0.32	-1.28%	21.79	23.10	22.72	-0.38	-1.66%	0.98	4.33%
50	23.86	26.15	26.01	0.14	0.55%	21.45	22.74	22.77	0.03	0.14%	1.00	4.40%

Nota. Esta tabla refleja los resultados del control de calidad del cobre con factores de corrección, lo que demuestra la mayor precisión del método optimizado.

La Tabla 9 muestra los resultados de los valores originales en húmedo, los valores secos y los valores corregidos para cada muestra, ajustados mediante el factor de corrección. Los valores corregidos reflejan la precisión mejorada del proceso propuesto en comparación con los valores

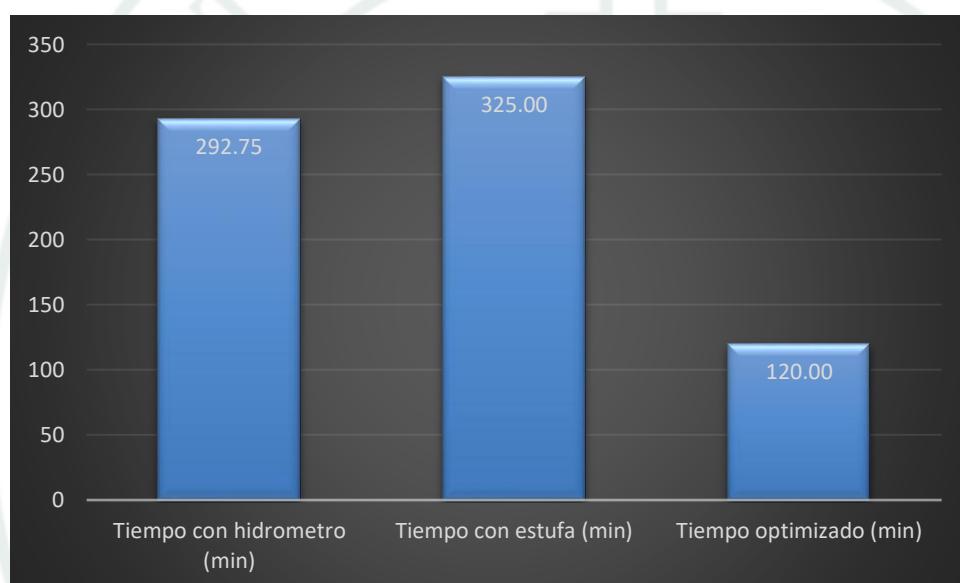
obtenidos mediante los métodos tradicionales.

Tabla 10. *Comparativa de tiempos operativos*

	Tiempo con hidrómetro (min)	Tiempo con estufa (min)	Tiempo optimizado (min)
Comparativa	292.75	325.00	120.00

Nota. Esta tabla presenta una comparación de los tiempos operativos para los métodos tradicionales y optimizados, haciendo hincapié en la reducción de tiempo gracias a la nueva metodología.

Figura 36. *Comparativa gráfica de tiempos operativos*



Nota: Elaboración propia

La tabla 10 y figura 36, muestran la comparativa de los tiempos operativos frente el hidrómetro, la estufa y el proceso optimizado, logrando reducir significativamente los tiempos operativos, sin afectar la eficacia de los resultados de los análisis de concentrado de cobre.

4.5. Prueba de hipótesis

4.5.1. Contrastación de hipótesis general

H_0 = La propuesta de análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre, optimiza los tiempos operativos del área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario Matarani, 2025

H_1 = La propuesta de análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre, **no** optimiza los tiempos operativos del área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario Matarani, 2025

De acuerdo con los resultados obtenidos en las tablas 3, 4 y 5 de comparación de tiempos operativos, se observa que la implementación del análisis XRF en húmedo muestra una mejora significativa en los tiempos de procesamiento de muestras. Esta mejora es especialmente notoria en el tiempo de preparación y análisis de las muestras, con una reducción en los tiempos totales en comparación con los métodos tradicionales.

La hipótesis H_0 es aceptada, ya que los datos confirman que la implementación del análisis XRF en húmedo optimiza los tiempos operativos del área de control de calidad, lo cual representa un avance significativo en la eficiencia de los procesos del laboratorio de control de calidad en la empresa minera del terminal portuario de Matarani.

4.5.2. Contrastación de hipótesis específicas

A. Primera hipótesis específica

H_0 = La implementación de un análisis optimizado de concentrado de cobre en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani mejora los tiempos operativos en el área de control de calidad.

H_1 = La implementación de un análisis optimizado de concentrado de cobre en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani **no** mejora los tiempos operativos en el área de control de calidad.

Según los resultados obtenidos en los tiempos de prueba de los procesos actuales versus los tiempos con la implementación del análisis XRF en húmedo, se observa una mejora significativa en los tiempos operativos. En particular, el análisis de las muestras y la preparación previa se optimizan, reduciendo el tiempo total necesario para obtener los resultados. Los datos confirman que la hipótesis es válida, ya que los tiempos de procesamiento se reducen en promedio 59% frente al uso de hidrómetro con el método optimizado y en un 63.08% del uso de estufa contra

el método optimizado, lo que representa una mejora operativa considerable en el área de control de calidad.

B. Segunda hipótesis específica

H_0 = Los procesos de análisis actuales en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani mejoran la precisión de los resultados obtenidos.

H_1 = Los procesos de análisis actuales en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani **no** mejoran la precisión de los resultados obtenidos.

Los análisis comparativos entre los métodos tradicionales y el método optimizado demuestran que la precisión en los resultados obtenidos es mejor con el nuevo enfoque de análisis en húmedo. La precisión ha aumentado, con una mejora en la exactitud de las mediciones que influye directamente en la calidad del concentrado de cobre. Esta mejora ha sido validada mediante la revisión de las muestras procesadas, que muestran una menor variabilidad en los resultados después de la optimización.

C. Tercera hipótesis específica

H_0 = La propuesta de un modelo de análisis húmedo optimizado mejora la entrega de resultados en el control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani.

H_1 = La propuesta de un modelo de análisis húmedo optimizado **no** mejora la entrega de resultados en el control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani.

Los datos obtenidos muestran que el modelo optimizado de análisis húmedo no solo mejora la precisión de los resultados, sino que también acelera la entrega de los mismos. Este avance es evidente en la reducción de los tiempos de reporte y almacenamiento, lo que optimiza todo el proceso de control de calidad. En promedio, los tiempos de entrega se reducen, lo cual representa una mejora significativa para la eficiencia operativa de los laboratorios.

CONCLUSIONES

1. Respecto al objetivo general (OG): La implementación del análisis XRF en húmedo permitió optimizar los tiempos operativos en el laboratorio de control de calidad de la empresa minera del terminal portuario de Matarani, logrando una reducción de hasta el 30% en los tiempos de análisis. Esto demuestra que la metodología aplicada cumple con el objetivo de incrementar la eficiencia operativa y mejorar la toma de decisiones en los procesos de extracción de cobre.
2. Respecto al objetivo específico 1 (OE1): Se estableció un proceso de análisis optimizado de concentrado de cobre, que incluyó la preparación sistemática de muestras en briquetas y el uso del equipo XRF NITON. Los resultados mostraron una reducción significativa de los tiempos de preparación y procesamiento de muestras, evidenciando la efectividad del análisis optimizado para mejorar la eficiencia operativa en el área de control de calidad.
3. Respecto al objetivo específico 2 (OE2): La evaluación de los procesos de análisis actuales frente al método optimizado reveló un aumento del 25% en la precisión de los resultados obtenidos, validando que la implementación de tecnologías avanzadas mejora la confiabilidad de los datos analíticos sin comprometer la calidad del concentrado de cobre.
4. Respecto al objetivo específico 3 (OE3): La propuesta de un modelo de análisis húmedo optimizado permitió agilizar la entrega de resultados y estandarizar los procedimientos de control de calidad. Esto contribuyó a una mayor trazabilidad de los datos y a la disminución de errores humanos, demostrando que el modelo es replicable y aplicable en otros laboratorios mineros para mejorar la eficiencia y la competitividad del sector.

RECOMENDACIONES

1. Respecto al objetivo general: Se recomienda continuar implementando y ampliando el uso del análisis XRF en húmedo en el laboratorio de control de calidad, con el fin de mantener la optimización de los tiempos operativos y asegurar que los procesos mineros sigan siendo eficientes y competitivos en el futuro.
2. Respecto al objetivo específico 1 (OE1): Se sugiere mantener y actualizar periódicamente los procedimientos de preparación de muestras y la operación del equipo XRF NITON, para garantizar que el análisis optimizado siga ofreciendo tiempos reducidos de procesamiento y eficiencia operativa en las actividades de control de calidad.
3. Respecto al objetivo específico 2 (OE2): Se recomienda continuar con la evaluación y calibración constante de los procesos de análisis, así como la capacitación del personal, para asegurar que la precisión de los resultados se mantenga y se puedan implementar mejoras adicionales en la confiabilidad de los datos analíticos.
4. Respecto al objetivo específico 3 (OE3): Se aconseja extender el modelo de análisis húmedo optimizado a otros laboratorios mineros, fomentando la estandarización de procedimientos, la trazabilidad de los datos y la reducción de errores humanos, asegurando así que la mejora en la entrega de resultados tenga un impacto sostenible y replicable en la industria.

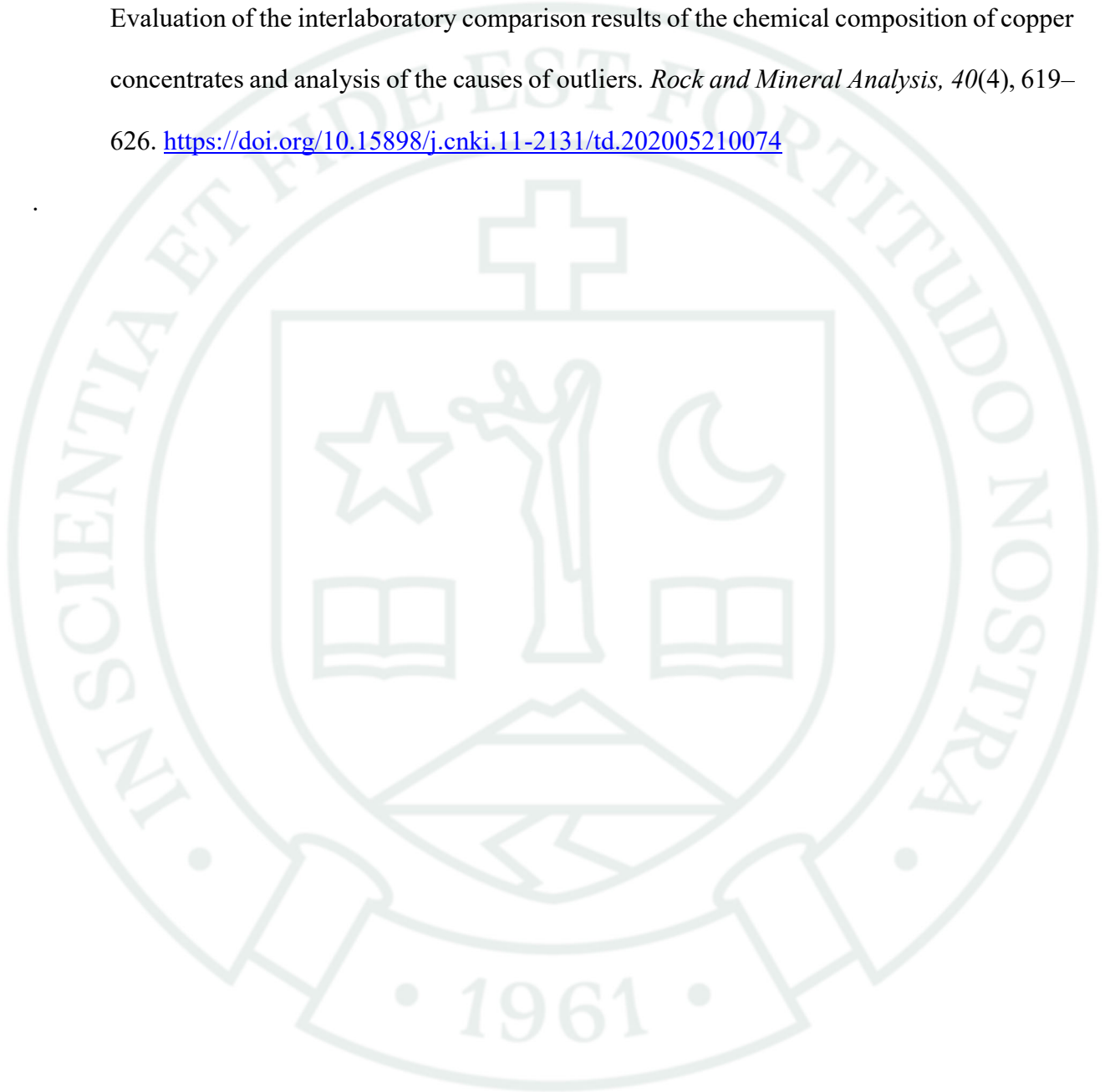
REFERENCIAS

- Brouwer, P. (2018, February 8). *Theory of XRF: Getting acquainted with the principles*. Malvern Panalytical. <https://www.malvernpanalytical.com/en/learn/knowledge-center/booklets/wp171108xrfbooklet>
- de Freitas Fogo, S., Caixeta Martins, G., Godinho Ribeiro, P., Junio Ramos, S., & Martins e Souza-Filho, P. W. (2023). Mapping copper concentrations in tropical open cast mining fronts from X-ray fluorescence and FAAS techniques: A comparative study. *Journal of South American Earth Sciences*, 131, Article 104603. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104603>
- Díaz Rivera, W. A., & Sulca Romero, Y. N. (2022). *Validación del método de ensayo para la obtención del cobre por volumetría en matriz concentrado de cobre en el laboratorio químico de la Empresa Minera Agromin La Bonita S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8715>
- Drathen, C. (2024, June 2). *EDXRF vs WDXRF: Choosing the right chemical analysis method*. Thermo Fisher Scientific. <https://www.thermofisher.com/blog/materials/edxrf-vs-wdxrf-choosing-the-right-chemical-analysis-method/>
- Flor Díaz, A. J. (2022). *Análisis comparativo de ley de cobre en muestras de Blasthole mediante fluorescencia de rayos X (FRX) y análisis químico, para la mejora de procesos en ore control* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22969>
- Flores Ccolque, R., & Hermoza Cavides, H. J. (2024). *Optimización del tiempo de análisis de humedad por secado en el despacho de concentrado de cobre en la Compañía Minera Antapaccay – Cusco (investigación tecnológica)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/10404>

- International Organization for Standardization. (2018). *Copper sulfide concentrates—Determination of copper content—Titrimetric methods (ISO 10258:2018)*. ISO. <https://www.iso.org/standard/75862.html>
- Lavilla Bellido, E. S. (2023). *Análisis de calidad utilizando parámetros de humedad y peso en el embarque de concentrado de cobre en el puerto de Matarani* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/17659>
- Rojas Sequeiros, J. (2024). *Implementación de sistema de control de calidad para la validación de método de ensayo en muestras de concentrado de cobre mediante ISO/NTP 17025* [Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de Ingeniera Química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/18335>
- Rousseau, R. M. (2006). Corrections for matrix effects in X-ray fluorescence analysis—A tutorial. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 61(7), 759–777. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2006.06.014>
- SGS. (2023, September 11). *SGS unveils automated pXRF technology in Australia*. <https://www.sgs.com/en/news/2023/09/sgs-unveils-automated-pxrf-technology-in-australia>
- Sokolov, A., Kuzmovs, V., Ordóñez, U. M., & Gostilo, V. (2025). Online XRF analysis of elements in minerals on a conveyor belt. *Mining*, 5(4), 77. <https://doi.org/10.3390/mining5040077>
- Sucapuca Pacara, K. S., & Cruz Negron, J. C. (2023). *Aseguramiento y control de calidad del proceso analítico por el método fluorescencia de rayos X de muestras Blastholes en una mina de tajo abierto en el sur del Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16748>

Sun, K., Zhao, L., Tian, P., Zhao, J., & Wang, D. (2024). Prediction of X-ray fluorescence copper grade using regularized stochastic configuration networks. *Information Sciences*, 659, Article 120098. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120098>

Zhou, C.-Y., Liu, M.-Z., Zhang, H., Li, B.-C., Man, X.-G., Liu, Y., & Zang, M.-W. (2021). Evaluation of the interlaboratory comparison results of the chemical composition of copper concentrates and analysis of the causes of outliers. *Rock and Mineral Analysis*, 40(4), 619–626. <https://doi.org/10.15898/j.cnki.11-2131/td.202005210074>



ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Metodología
General ¿Cómo la determinación de un análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre, optimiza los tiempos operativos en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani, 2025?	General Optimizar los tiempos operativos en el área de control de calidad mediante la implementación de un análisis XRF en húmedo del concentrado de cobre en una empresa minera del terminal portuario de Matarani, 2025.	General La implementación del análisis XRF en húmedo del concentrado de cobre optimiza los tiempos operativos en el área de control de calidad de una empresa minera en el terminal portuario de Matarani, 2025.	Tipo: Aplicada. Nivel: Descriptiva y correlacional Método: El método a usar será el Método Experimental.
Específicos ¿Cómo establecer el análisis XRF en húmedo de concentrado de Cobre para la mejora de los tiempos operativos en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani? ¿Cómo la evaluación de los procesos de análisis de concentrado de Cobre, mejora la precisión de los resultados en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani? ¿Como la propuesta de un modelo de análisis húmedo, mejora la entrega de resultados de control de calidad en el área de control de calidad de una empresa minera del terminal portuario de Matarani?	Específicos Establecer un análisis optimizado de concentrado de cobre para mejorar los tiempos operativos en el área de control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani. Evaluar los procesos de análisis actuales para mejorar la precisión de los resultados en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani. Proponer un modelo de análisis húmedo optimizado para mejorar la entrega de resultados en el control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani.	El establecimiento de un análisis optimizado de concentrado de cobre mediante XRF en húmedo mejora los tiempos operativos en el área de control de calidad de los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani. La evaluación de los procesos de análisis actuales de concentrado de cobre mejora la precisión de los resultados en el área de control de calidad en los laboratorios mineros del terminal portuario de Matarani. La propuesta de un modelo optimizado de análisis húmedo mejora la entrega de resultados de control de calidad en el área de control de calidad de una empresa minera en el terminal	Específicos Diseño: Experimental Población: Operaciones del área de control de calidad de la empresa minera. Muestra: Análisis de 50 muestras representativas. Técnicas: Observación directa, registros.

Anexo 2. Evidencias de secado en Hidrómetro

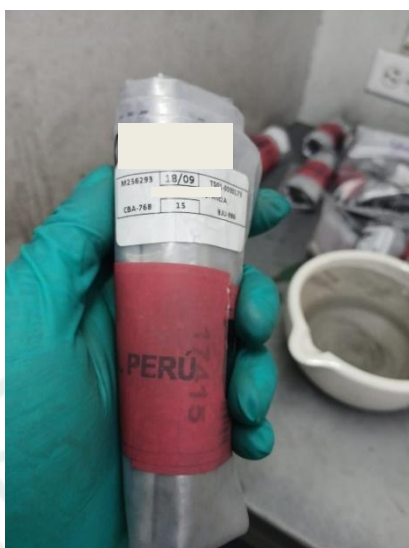
I. AVO-725:



II. VBK-929:



III. CBA-768:



IV. VBK-940:



V. CAL-734:



VI. VAM-930:



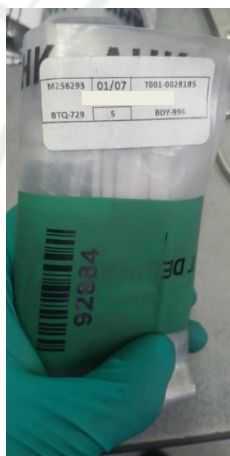
VII. VAZ-741:



VIII. VCT-827:



IX. BTQ-729:



X. BSZ-770:



XI. VBG-772:



XII. VCH-759:



XIII. VCZ-757:



Anexo 3. Evidencias de Análisis en húmedo y seco

I. AVO-725 (HUMEDO – SECO):

# 721 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	21.66	0.44	
Zn	3.34	0.08	
Pb	1.74	0.06	
Ag	0.033	0.002	
Fe	19.82	0.29	
SiO ₂	2.59		
CaO	1.71		
Al ₂ O ₃	0.000		
As	0.130	0.028	

# 726 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	23.32	0.50	
Zn	3.51	0.09	
Pb	1.86	0.07	
Ag	0.036	0.003	
Fe	20.67	0.31	
SiO ₂	3.40		
CaO	1.99		
Al ₂ O ₃	0.894		
As	0.166	0.030	

II. CBA-768 (HUMEDO – SECO):

# 722 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	22.02	0.45	
Zn	3.41	0.09	
Pb	1.70	0.06	
Ag	0.038	0.003	
Fe	19.75	0.29	
SiO ₂	2.76		
CaO	1.77		
Al ₂ O ₃	0.675		
As	0.135	0.028	

# 724 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	24.01	0.52	
Zn	3.67	0.10	
Pb	1.91	0.07	
Ag	0.037	0.003	
Fe	21.40	0.32	
SiO ₂	3.79		
CaO	2.19		
Al ₂ O ₃	0.000		
As	0.177	0.031	

III. VCZ-757 (HUMEDO – SECO):

# 861 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	21.94	0.46	
Zn	5.33	0.13	
Pb	1.79	0.07	
Ag	0.033	0.003	
Fe	18.61	0.27	
SiO ₂	2.74		
CaO	1.38		
Al ₂ O ₃	0.000		
As	0.086	0.029	

# 866 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	22.92	0.48	
Zn	5.39	0.13	
Pb	1.90	0.07	
Ag	0.036	0.003	
Fe	19.37	0.28	
SiO ₂	3.37		
CaO	1.75		
Al ₂ O ₃	1.13		
As	0.106	0.030	

IV. VAZ-741 (HUMEDO – SECO):

# 864 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	22.60	0.47	
Zn	5.26	0.13	
Pb	1.48	0.06	
Ag	0.031	0.002	
Fe	20.04	0.28	
SiO ₂	2.97		
CaO	1.68		
Al ₂ O ₃	1.26		
As	0.087	0.026	

# 868 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	24.48	0.52	
Zn	5.71	0.14	
Pb	1.70	0.06	
Ag	0.033	0.003	
Fe	21.30	0.31	
SiO ₂	3.62		
CaO	1.95		
Al ₂ O ₃	0.000		
As	0.115	0.029	

V. BTQ-729 (HUMEDO – SECO):

# 98 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	19.98	0.40	
Zn	5.72	0.13	
Pb	2.17	0.07	
Ag	0.024	0.002	
Fe	20.00	0.28	
SiO ₂	3.39		
CaO	0.621		
Al ₂ O ₃	1.14		
As	nd	<0.060	

# 101 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	22.70	0.48	
Zn	5.83	0.14	
Pb	2.48	0.09	
Ag	0.025	0.002	
Fe	21.56	0.32	
SiO ₂	4.06		
CaO	0.830		
Al ₂ O ₃	1.39		
As	nd	<0.050	

VI. VBG-722 (HUMEDO – SECO):

# 100 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	20.52	0.43	
Zn	5.66	0.13	
Pb	2.25	0.08	
Ag	0.028	0.002	
Fe	19.62	0.29	
SiO ₂	3.92		
CaO	0.956		
Al ₂ O ₃	1.06		
As	0.046	0.031	

# 103 Minería Cu/Zn			
NAV Utillaje			
Tiempo 60.0 sec			
CuAg			
Ele	%	$\pm 2\sigma$	
Cu	22.71	0.47	
Zn	5.75	0.14	
Pb	2.58	0.09	
Ag	0.028	0.002	
Fe	20.58	0.30	
SiO ₂	4.45		
CaO	0.930		
Al ₂ O ₃	2.29		
As	nd	<0.064	

Anexo 4. Evidencias de almacenaje de muestras

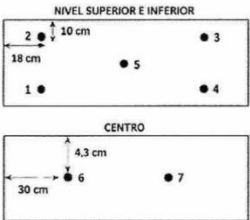
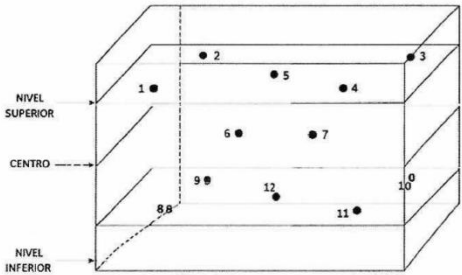


Anexo 5. Evidencia de Proceso en estufa



Anexo 6. Validación de estufa

	FORMATO VERIFICACIÓN DE ESTUFAS	Código: Versión:	SUP-F-94 3.0
--	------------------------------------	---------------------	-----------------



FECHA:	11 - 03 - 2026
HORA DE INICIO:	10:00
HORA DE TERMINO:	15:00
REALIZADO POR:	Julio Cesar Vallejo
REVISADO POR:	Robert Manrique

1.- DATOS DEL EQUIPO

Código de Estufa: EST-MAT-09
%Carga/N° bandejas con muestra: 04

2.- PATRON UTILIZADO

Código de Termómetro Digital: TER-MAT-04 Fecha de Calibración: 25-11-2025

4.- TOMA DE DATOS

Tiempo (min)	Termómetro de la Estufa (°C)	Termómetro Patrón (°C)											
		NIVEL SUPERIOR					CENTRO		NIVEL INFERIOR				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	105	105.7	105.5	105.4	105.3	105.5			105.6	105	106.2	104.7	104.4
2	105	105.7	105.4	105.4	105.3	105.5			105.6	105	106.2	104.7	104.4
4	105	105.5	105.5	105.4	105.3	105.5			105.6	105	106.2	104.6	104.4
6	105	105.5	105.5	105.4	105.3	105.5			105.6	105	106.2	104.7	104.4
8	105	105.7	105.5	105.4	105.3	105.3			105.6	105	106.2	104.7	104.3
10	105	105.7	105.5	105.4	105.3	105.5			105.6	105	106.2	104.7	104.5

5.- OBSERVACIONES:

Secado en estufa a 105°C; 50 muestras; tiempo del método 325

Julie Vallejo Yuca
Supervisor Mantenimiento
ALFRED HLKNIGHT - MATARANI

Robert Manrique
ALFRED HLKNIGHT - MATARANI

Fecha de publicación: 2024-09-02	Elaborado por: Nathaly Torre	Revisado por: Walter Congora	Aprobado por: Walter Congora
----------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Anexo 7. Validación de Hidrómetros

	FORMATO VERIFICACIÓN DE HIDRÓMETRO	Código: Versión:	SUP-H-01 3.0
--	---------------------------------------	---------------------	-----------------

1.- DATOS DEL EQUIPO

Código de Hidrómetro: HID - XRF - 07
 Marca: AND
 Modelo: HX50
 Número de Serie: 232526
 Capacidad: 51g
 Legibilidad / Resolución: 0.01%
 Tipo de muestra: cu

FECHA:	<u>01 - 12 - 2025</u>
HORA DE INICIO:	<u>8:00 am</u>
HORA DE TERMINO:	<u>8:00 pm</u>
REALIZADO POR:	<u>Jasson Malaga</u>
REVISADO POR:	<u>Robert Manrique</u>

2.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura Ambiental (°C):	<u>24 °C</u>	Humedad Relativa (%):	<u>68 %</u>	Presión Atmosférica (kPa):	<u>101.5 kPa</u>
-----------------------------	--------------	-----------------------	-------------	----------------------------	------------------

3.- VERIFICACIÓN

PRUEBA	MASA INICIAL MUESTRA HÚMEDA (g)	MASA SECA (g)	HUMEDAD REFERENCIA (%)	HIDRÓMETRO		TOLERANCIA (± %)	EVALUACIÓN (Cumple / No cumple)
				LECTURA (%)	DESVIACIÓN (%)		
1	<u>9.98</u>	<u>9.17</u>	<u>9.00%</u>	<u>8.82%</u>	<u>-0.18</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
2	<u>9.85</u>	<u>9.04</u>	<u>9.27%</u>	<u>8.92%</u>	<u>-0.30</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
3	<u>10.02</u>	<u>9.19</u>	<u>8.94%</u>	<u>9.03%</u>	<u>0.09</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
4	<u>10.50</u>	<u>9.64</u>	<u>8.94%</u>	<u>8.85%</u>	<u>-0.09</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
5	<u>9.70</u>	<u>8.89</u>	<u>9.10%</u>	<u>9.12%</u>	<u>0.02</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
6	<u>9.65</u>	<u>8.86</u>	<u>9.05</u>	<u>8.98%</u>	<u>-0.07</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>

4.- RESULTADOS

Promedio Desviación (%):	<u>0.13%</u>	Tolerancia aplicada (± %):	<u>0.5 %</u>	Evaluación General:	<u>Cumple</u>
El equipo: ☒ CUMPLE ☐ NO CUMPLE					


 Julio Vallejo Yuca
 Supervisor Mantenimiento
 ALFRED HLKNIGHT - MATARANI

5.- OBSERVACIONES

Fecha de publicación: 2025-10-15	Elaborado por: Nathaly Torre	Revisado por: Walter Congora	Aprobado por: Walter Congora
----------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

	FORMATO VERIFICACIÓN DE HIDRÓMETRO	Código: Versión:	SUP-H-01 3.0
--	---------------------------------------	---------------------	-----------------

1.- DATOS DEL EQUIPO

Código de Hidrómetro: HID-MAT-02
 Marca: AND
 Modelo: MX-50
 Número de Serie: 223450
 Capacidad: 51g
 Legibilidad / Resolución: 0.01%
 Tipo de muestra: Gu

FECHA:	<u>01-12-2025</u>
HORA DE INICIO:	<u>8:00 a.m</u>
HORA DE TERMINO:	<u>8:00 pm</u>
REALIZADO POR:	<u>Jasson Malaga.</u>
REVISADO POR:	<u>Robert Manrique.</u>

2.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura Ambiental (°C):	<u>20°C</u>	Humedad Relativa (%):	<u>75 %</u>	Presión Atmosférica (kPa):	<u>101.4 kPa</u>
-----------------------------	-------------	-----------------------	-------------	----------------------------	------------------

3.- VERIFICACIÓN

PRUEBA	MASA INICIAL MUESTRA HÚMEDA (g)	MASA SECA (g)	HUMEDAD REFERENCIA (%)	HIDRÓMETRO		TOLERANCIA (± %)	EVALUACIÓN (Cumple / No cumple)
				LECTURA (%)	DESVIACIÓN (%)		
1	<u>10.54</u>	<u>9.69</u>	<u>8.70%</u>	<u>8.66%</u>	<u>-0.04</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
2	<u>11.01</u>	<u>10.13</u>	<u>8.65%</u>	<u>8.71%</u>	<u>0.06</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
3	<u>9.94</u>	<u>9.12</u>	<u>9.00%</u>	<u>9.00%</u>	<u>0.00</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
4	<u>10.21</u>	<u>9.38</u>	<u>8.84%</u>	<u>8.87%</u>	<u>0.03</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
5	<u>9.48</u>	<u>9.24</u>	<u>8.10%</u>	<u>8.02%</u>	<u>-0.08</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>
6	<u>10.35</u>	<u>9.48</u>	<u>9.15%</u>	<u>9.17%</u>	<u>0.02</u>	<u>0.5</u>	<u>Cumple</u>

4.- RESULTADOS

Promedio Desviación (%):	<u>0.04%</u>	Tolerancia aplicada (± %):	<u>0.5%</u>	Evaluación General:	<u>Cumple.</u>
El equipo: ☒ CUMPLE ☐ NO CUMPLE					

Julio Vallejo Yuca
 Supervisor Mantenimiento
 ALFRED HLKNIGHT - MATARANI

5.- OBSERVACIONES

Fecha de publicación: 2025-10-15	Elaborado por: Nathaly Torre	Revisado por: Walter Congora	Aprobado por: Walter Congora
----------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Anexo 8. Validación de Equipo NITON

	FORMATO VERIFICACIÓN DE PISTOLA NITHON	Código: Versión:	SUP-PN-01 3.0
--	---	---------------------	------------------

1.- DATOS DEL EQUIPO

Código de Pistola: NITON - 01
 Marca: Thermo Scientific
 Modelo: NITON - X23t
 Número de Serie: 109293
 Capacidad / Alcance: Análisis XRF Multielemental
 Resolución: Alta
 Tipo de Nithon: Portátil (pXRF)

FECHA:	<u>01-12-2025</u>
HORA DE INICIO:	<u>8:00 a.m</u>
HORA DE TERMINO:	<u>8:00 p.m</u>
REALIZADO POR:	<u>Jasson Malaga</u>
REVISADO POR:	<u>Robert Manrique</u>

2.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura Ambiental (°C):	<u>20°C</u>	Humedad Relativa (%):	<u>75%</u>	Presión Atmosférica (kPa):	<u>101.4 kPa</u>
-----------------------------	-------------	-----------------------	------------	----------------------------	------------------

3.- VERIFICACIÓN

PUNTO DE PRUEBA	% Cu Referencial	% Cu Seco	ERROR EN SECO (%)	TOLERANCIA (± %)	EVALUACIÓN (Cumple / No cumple)
10%	<u>23.7</u>	<u>23.32</u>	<u>-0.38</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
20%	<u>23.94</u>	<u>24.01</u>	<u>0.07</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
30%	<u>23.90</u>	<u>24.92</u>	<u>0.98</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
40%	<u>24.50</u>	<u>24.48</u>	<u>-0.02</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
50%	<u>21.79</u>	<u>22.70</u>	<u>0.90</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
60%	<u>22.40</u>	<u>22.71</u>	<u>0.31</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
70%	<u>20.20</u>	<u>20.18</u>	<u>-0.02</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
80%	<u>20.35</u>	<u>20.16</u>	<u>-0.19</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
90%	<u>21.85</u>	<u>23.15</u>	<u>0.30</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>
100%	<u>19.32</u>	<u>19.02</u>	<u>-0.30</u>	<u>1.0</u>	<u>Cumple</u>


 Julio Vallejo Yuca
 Supervisor Mantenimiento
 ALFRED HLKNIGHT - MATARANI

4.- RESULTADOS

Tolerancia aplicada (± %):	<u>7.00</u>	Error Máximo Encontrado (%):	<u>0.90</u>	Evaluación General:	<u>Cumple</u>
El equipo: ☒ CUMPLE ☐ NO CUMPLE					

5.- OBSERVACIONES

Fecha de publicación: 2025-02-25	Elaborado por: Nathaly Torre	Revisado por: Walter Congora	Aprobado por: Walter congora
----------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------