REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**

**Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**

# Optimización de los controles de muestreo para asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre, Matarani, 2024

Tesis presentada por el Bachiller:

**Carrera Aguilar, Carlo Andre**

**ORCID: 0009-0009-5574-2638**

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

**Mg. Linares Flores Castro, Antonio Erick**

**ORCID: 0000-0003-0506-2297**

Arequipa – Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## INGENIERIA DE MINAS

## TITULACIÓN CON TESIS

## DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 07 de Noviembre del 2025

**Dictamen: 015018-C-EPIM-2025**

Visto el borrador del expediente 015018, presentado por:

**2018400041 - CARRERA AGUILAR CARLO ANDRE**

Titulado:

**OPTIMIZACIÓN DE LOS CONTROLES DE MUESTREO PARA ASEGURAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS ESTÁNDARES DE DESPACHO DE CONCENTRADOS MINERALES DE COBRE, MATARANI, 2024**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

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

**INGENIERO DE MINAS**

**29688402 - BARREDA DE LA CRUZ MIGUEL ALBERTO**
**DICTAMINADOR**

**40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH**
**DICTAMINADOR**

**41243378 - TONG LADRON DE GUEVARA JOSE CARLOS**
**DICTAMINADOR**

# Optimización de los controles de muestreo para asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre, Matarani, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

| 18% | 17% | 6% | 8% |
|---|---|---|---|
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|---|
| 1 | repositorio.unsa.edu.pe<br>Fuente de Internet | 3% |
| 2 | hdl.handle.net<br>Fuente de Internet | 1% |
| 3 | Submitted to Universidad Católica de Santa María<br>Trabajo del estudiante | 1% |
| 4 | Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru<br>Trabajo del estudiante | 1% |
| 5 | alicia.concytec.gob.pe<br>Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.uncp.edu.pe<br>Fuente de Internet | 1% |
| 7 | www.coursehero.com<br>Fuente de Internet | 1% |
| 8 | repositorio.ucv.edu.pe<br>Fuente de Internet | 1% |
| 9 | core.ac.uk<br>Fuente de Internet | <1% |
| 10 | geology-dnu.dp.ua | |

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigativo, a Dios, mi mentor y guía, por otorgarme la fortaleza para alcanzar mis metas, por darme la vitalidad y la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en un entorno lleno de oportunidades y mucha perseverancia.

Agradezco a mi madre y a mi abuela por confiar en mi potencial, por su apoyo constante, por mis esfuerzas de cada día en este camino de la vida, por su amor incondicional.

A mi padre de cariño y abuelo de cariño, quienes llegaron a mi vida a sumar, su amor y apoyo. Y agradezco de todo corazón por su constante aliento y por sus manos extendidas en los momentos necesarios, por haber sido unos de los pilares más importante para mí.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a nuestra alma mater, la Universidad Católica de Santa María, institución que me dio la oportunidad de darme las herramientas adecuadas para recibir una educación de calidad y alcanzar altos estándares.

También quiero agradecer a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes me apoyaron en mi formación académica, compartieron sus enseñanzas y me guiaron en mi desarrollo Profesional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**RESUMEN**

Este estudio se centró en la optimización de los controles de muestreo para el despacho de concentrados de cobre en el puerto de Matarani, con el objetivo principal de asegurar el cumplimiento de los estándares internacionales de calidad. La investigación implementó un diseño cuasiexperimental que incluyó la revisión de normativas, observación directa de los procesos y el análisis de los procedimientos existentes. La metodología incorporó tecnologías avanzadas como un brazo robótico para el muestreo automatizado y un analizador portátil Niton XRF para la determinación rápida de leyes, además de optimizar el proceso de secado mediante Diseño de Experimentos. Los resultados demostraron una mejora significativa: el tiempo de análisis de leyes se redujo en un 71.4%, el secado fue un 42% más rápido y la capacidad de procesamiento diario se duplicó. La implementación eliminó los sesgos en el muestreo, redujo la variabilidad en la medición de humedad y aseguró el cumplimiento de las normativas ISO, lo que a su vez eliminó por completo las penalizaciones. Se concluye que la automatización y estandarización de los controles de muestreo son fundamentales para garantizar la precisión, eficiencia y cumplimiento normativo en el despacho de concentrados, siendo estos resultados escalables a otras operaciones mineras con desafíos similares.

**Palabras claves:** Niton XRF, automatización, optimización.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**ABSTRACT**

This study focused on the optimization of sampling controls for the clearance of copper concentrates at the Port of Matarani, with the primary objective of ensuring compliance with international quality standards. The research implemented a quasi-experimental design that included regulatory review, direct process observation, and analysis of existing procedures. The methodology incorporated advanced technologies such as a robotic arm for automated sampling and a portable Niton XRF analyzer for rapid grade determination, in addition to optimizing the drying process through Design of Experiments (DoE). The results demonstrated significant improvements: grade analysis time was reduced by 71.4%, drying was 42% faster, and daily processing capacity was doubled. The implementation eliminated sampling bias, reduced variability in moisture measurements, and ensured compliance with ISO regulations, which in turn completely eliminated SUNAT penalties. It is concluded that the automation and standardization of sampling controls are essential to ensuring accuracy, efficiency, and regulatory compliance in the dispatch of concentrates, and these results are scalable to other mining operations with similar challenges.

**Keywords:** Niton XRF, automation, optimization.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# INDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN** ..... **1**

**CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA** ..... **3**

1.1. Determinación del problema ..... 3

1.2. Objetivos ..... 4

*1.2.1. Objetivo general* ..... *4*

*1.2.2. Objetivo específico* ..... *4*

1.3. Preguntas de la investigación ..... 4

*1.3.1. Pregunta principal* ..... *4*

*1.3.2. Preguntas secundarias* ..... *4*

1.4. Líneas de investigación ..... 4

1.5. Justificación de la investigación ..... 5

*1.5.1. Ambiental* ..... *5*

*1.5.2. Social* ..... *5*

*1.5.3. Económica* ..... *5*

*1.5.4. Tecnológica* ..... *6*

1.6. Hipótesis ..... 6

1.7. Variables ..... 6

*1.7.1. Variable Independiente* ..... *6*

*1.7.2. Variable Dependiente* ..... *6*

**CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO** ..... **7**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1. Estado de arte ..... 7

2.2. Antecedentes de la investigación ..... 8

*2.2.1. Internacional ..... 8*

*2.2.2. Nacional ..... 10*

*2.2.3. Local ..... 13*

2.3. Bases teóricas ..... 14

*2.3.1. Despacho de concentrado ..... 14*

*2.3.2. Sistema de gestión de calidad ..... 14*

*2.3.3. ISO 9001 ..... 14*

*2.3.4. Secado de mineral ..... 15*

*2.3.5. Composición química de concentrados de cobre ..... 16*

*2.3.6. Muestreo por rumas ..... 17*

**CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO ..... 19**

3.1. Tipo y nivel de investigación ..... 19

*3.1.1. Tipo de investigación ..... 19*

*3.1.2. Nivel de investigación ..... 19*

3.2. Diseño de la investigación ..... 19

3.3. Alcances y Limitaciones ..... 19

*3.3.1. Alcance ..... 19*

*3.3.2. Limitaciones ..... 20*

3.4. Métodos de investigación ..... 20

3.5. Población y muestra ..... 21

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... 21

*3.6.1. Descripción de la Técnica ..... 21*

*3.6.2. Sistema SLIM CCLAS ..... 26*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

*3.6.3. Área de trabajo* ..... *32*

*3.6.4. Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo* ..... *32*

*3.6.5. Método de Guerchet* ..... *33*

**CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES** ..... **34**

4.1. Diseño del Sistema de Control de Muestreo – Procedimiento ..... 34

*4.1.1. Recepción de Trenes y Camiones con Concentrado* ..... *34*

*4.1.2. Muestro manual de camiones encapsulados* ..... *36*

*4.1.3. Muestreo en Trenes* ..... *37*

*4.1.4. Recepción de Muestras Húmedas* ..... *39*

*4.1.5. Determinación del Área de Trabajo de Laboratorio según Teoría Guerchet* ... *39*

4.2. Evaluación del Desempeño en los Procesos de Muestreo ..... 43

4.3. Análisis de Indicadores de Eficiencia en el Muestreo ..... 47

4.4. Impacto de las mejoras ..... 51

4.5. Identificación de Patrones en el Proceso de Despacho de Concentrados ..... 51

*4.5.1. Patrones en el Proceso* ..... *51*

*4.5.2. Patrones Temporales en la Recepción* ..... *52*

*4.5.3. Patrones de Ineficiencia en Actividades Críticas* ..... *52*

*4.5.4. Patrones de Calidad y Consistencia* ..... *52*

*4.5.5. Patrones de Mejora Post-Implementación* ..... *53*

4.6. Análisis de Calidad de los Muestreos a través de Métodos Estadísticos ..... 53

4.7. Validación de Hipótesis ..... 57

4.8. Comparación de Resultados con Estándares de Calidad de Despacho ..... 58

**CONCLUSIONES** ..... **60**

**RECOMENDACIONES** ..... **62**

**REFERENCIAS** ..... **64**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** Método Guerchet para determinar una mejor área de inspecciones..... 41

**Tabla 2** Cálculo de coeficiente de evolución para Método Guerchet..... 42

**Tabla 3** Valores finales para área calculada ..... 42

**Tabla 4** Tiempos de las actividades al momento de despacho-diario ..... 48

**Tabla 5** Tiempos de las actividades - Mes abril 2025 ..... 48

**Tabla 6** Tiempos de las actividades - Mes mayo 2025..... 49

**Tabla 7** Cuadro de identificación de patrones y las consecuencias..... 52

**Tabla 8** Cuadro del cambio del antes y después de los patrones..... 53

**Tabla 9** Cuadro de validación con la prueba de t-Student y regresión lineal ..... 54

**Tabla 10** Cuadro de cálculo con la $T^2$ de Hotelling..... 56

**Tabla 11** Cuadro para optimizar el secado ..... 57

**Tabla 12** Cuadro de ahorros de eficiencia con los métodos de Cartas $T^2$ y DoE ..... 57

**Tabla 13** Cuadro comparativo de resultados las mejoras del antes y después ..... 58

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Distribución de incrementos para llenado de bandejas ..... 24

**Figura 2** Preparación de Orden ingresando los datos para el registro ..... 28

**Figura 3** Acta de muestreo ..... 29

**Figura 4** Detalles del trabajo ..... 30

**Figura 5** Orden lista para ingresar los datos correspondientes ..... 31

**Figura 6** Laboratorio – Área de trabajo ..... 32

**Figura 7** Formulario para la aplicación del Método Guerchet ..... 33

**Figura 8** Esquema del proceso de despacho ..... 35

**Figura 9** Esquema de muestreo no probabilístico ..... 37

**Figura 10** Esquema de muestreo probabilístico ..... 38

**Figura 11** Brazo Robótico para el muestreo ..... 38

**Figura 12** Propuesta del analizador Niton XRF ..... 39

**Figura 13** Layout propuesto para el área de recepción ..... 42

**Figura 14** TMH recibidas en promedio mes – Tren 2024 ..... 43

**Figura 15** TMH recibidas en promedio día – Tren. Mes Abril 2024 ..... 44

**Figura 16** Recepción de trenes – Promedio por día mes abril 2024 ..... 45

**Figura 17** TMH recibidas en promedio mes – Encapsulados 2024 ..... 45

**Figura 18** TMH recibidas en promedio de mes por día – Encapsulados ..... 46

**Figura 19** Recepción de camiones encapsulados – promedio por día ..... 47

**Figura 20** Diagrama de diferencia de tiempos de actividades del mes abril y mayo ..... 50

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1** ..... 68

**Anexo 2** ..... 68

**Anexo 3** ..... 68

**Anexo 4** ..... 69

**Anexo 5** ..... 69

**Anexo 6** ..... 69

**Anexo 7** ..... 70

**Anexo 8** ..... 70

**Anexo 9** ..... 70

**Anexo 10** ..... 71

**Anexo 11** ..... 71

**Anexo 12** ..... 71

**Anexo 13** ..... 72

**Anexo 14** ..... 72

**Anexo 15** ..... 72

**Anexo 16** ..... 73

**Anexo 17** ..... 73

**Anexo 18** ..... 73

**Anexo 19** ..... 74

**Anexo 20** ..... 74

**Anexo 21. ISO 10251** ..... 75

**Anexo 22. ISO 12743** ..... 76

**Anexo 23. Protocolo según SGS** ..... 77

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# INTRODUCCIÓN

La presente tesis se estructura en seis capítulos que desarrollan de manera progresiva y coherente la investigación sobre la optimización de los controles de muestreo para el despacho de concentrados de cobre en el puerto de Matarani. En el primer capítulo se introduce el problema central, identificando las deficiencias en los procesos actuales de muestreo que afectan la uniformidad composicional y el cumplimiento de estándares internacionales. Se establecen los objetivos generales y específicos, las preguntas de investigación relevantes y la justificación del estudio en sus dimensiones ambiental, social, económica y tecnológica, finalizando con la formulación de la hipótesis y la identificación de las variables involucradas.

El segundo capítulo profundiza en el marco teórico y estado del arte, presentando investigaciones previas a nivel internacional, nacional y local relacionadas con el control de calidad en concentrados minerales. Se revisan antecedentes sobre métodos de muestreo, análisis de humedad y composición química, así como experiencias relevantes en el uso de tecnologías como el XRF y brazo robótico.

El tercer capítulo detalla el diseño metodológico empleado, definiendo el tipo de investigación como aplicada con nivel descriptivo-explicativo y un diseño cuasiexperimental. Se especifican los alcances y limitaciones del estudio, junto con los métodos de recolección de datos que incluyen revisión documental, encuestas, observación directa y evaluación comparativa. Se describe la población y muestra de estudio, las técnicas e instrumentos utilizados, el sistema SLIM CCLAS para gestión de información, el área de trabajo y los aspectos normativos de seguridad y salud ocupacional, culminando con la aplicación del método Guerchet para optimizar la distribución física del laboratorio.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados y discusiones derivados de la implementación del sistema optimizado. Se describe el diseño del procedimiento de control



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

para recepción de trenes y camiones, muestreo manual y automatizado, así como la recepción y análisis de muestras húmedas. Se evalúa el desempeño de los procesos mediante indicadores de eficiencia, se identifican patrones operativos y se analiza la calidad de los muestreos mediante métodos estadísticos avanzados.

El quinto capítulo sintetiza las conclusiones del estudio, destacando el cumplimiento de los objetivos planteados y la validación de la hipótesis principal.

Finalmente, el sexto capítulo ofrece recomendaciones prácticas para la implementación efectiva de las mejoras propuestas, incluyendo capacitación técnica, mantenimiento predictivo de equipos, expansión tecnológica y uso de herramientas de analítica avanzada.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Determinación del problema

El problema en la tesis que estoy sustentando abarca todo el tema de distribución desde mina hasta los laboratorios donde se desea mejorar con tecnología el manipuleo y remanipuleo en el muestreo de concentrados. Donde se ha verificado dificultad de mantener una composición química y física uniforme, lo que se atribuye a los diferentes minerales extraídos, el cual puede contener impurezas y variaciones de ley, en los metales presentes, donde la ausencia de un sistema sólido de administración de calidad puede ocasionar incoherencias errores, en la producción. Lo cual repercute en el costo y la eficiencia del proceso de transporte de mineral (Despacho).

La ejecución de una propuesta para la combinación del mineral previo al despacho de exportación, mediante el uso de tecnología de vanguardia y procesos de secado, es esencial para abordar esta problemática, ya que la tecnología de procesamiento puede facilitar una separación más efectiva de los componentes del mineral, lo que resulta en una optimización de la calidad del muestreo concentrado final, puesto que la aplicación de métodos de secado optimizados puede disminuir la humedad del concentrado, lo cual es requerido para prevenir dificultades durante el transporte y el almacenamiento.

Adicionalmente, resulta importante que la calidad no se limite únicamente al producto final, sino que también incorpore todos los pasos del proceso, desde la extracción hasta el despacho. Por tanto, el cumplimiento de las regulaciones internacionales de calidad y promoverá una mejora constante en los procesos operativos, contribuyendo de esta manera a la competitividad de las organizaciones en el mercado global (Gil & Moreno, 2021). Por tanto, la presente investigación plantea la Optimización de los controles de muestreo para asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre, Arequipa, 2025.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## 1.2. Objetivos

### *1.2.1. Objetivo general*

Optimizar los controles de muestreo para asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre, Matarani, 2025

### *1.2.2. Objetivo específico*

- Verificar las leyes del proceso actual de despacho de concentrados.
- Proponer un plan de mejora para la implementación efectiva del sistema diseñado.
- Desarrollar un sistema de control de muestreo adaptado específicamente al proceso de despacho de concentrados minerales.
- Implementación de tecnologías disponibles que contribuyan a la calidad del despacho de concentrados.

## 1.3. Preguntas de la investigación

### *1.3.1. Pregunta principal*

¿Cómo se optimizarán los controles de muestreo para asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre, Matarani, 2025?

### *1.3.2. Preguntas secundarias*

- ¿Cómo se puede analizar el proceso actual de despacho de concentrados?
- ¿Qué tecnologías disponibles pueden evaluarse para mejorar la calidad del despacho de concentrados?
- ¿Cómo se puede desarrollar un sistema de control de muestreo adaptado específicamente al proceso de despacho de concentrados minerales?
- ¿Qué plan de mejora se puede proponer para garantizar la implementación efectiva del sistema diseñado?

## 1.4. Líneas de investigación

- Campo: Ciencias e ingenierías físicas y formales



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Área: Ingeniería de Minas de SGS
- Línea de Investigación: Optimización de procesos mineros de laboratorio y planta

## 1.5. Justificación de la investigación

### *1.5.1. Ambiental*

La industria minera, con su actividad de extracción y transporte de concentrados minerales, ejerce una influencia considerable en el entorno natural, generando efectos significativos en el ecosistema circundante. La implementación de los controles de muestreo es necesaria para mitigar este impacto, ya que garantiza que los procesos se ajusten y cumplan con las estrictas normativas ambientales vigentes en la actualidad (Rodríguez-Aparicio & Vergara-Buitrago, 2021). Analizar medidas para disminuir la cantidad de residuos generados, reducir las emisiones contaminantes y maximizar la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles, fomentando así la adopción de prácticas sostenibles que contribuyan a la preservación del medio ambiente en la región de Arequipa.

### *1.5.2. Social*

El sector minero desempeña un papel fundamental en el progreso social y económico de la región de Arequipa, brindando oportunidades laborales significativas y aportando al bienestar de la población local, tal como señalan los estudios realizados por Pereira et al. (2022). Al implementar un sistema de control, se persigue el objetivo de mejorar de manera significativa la calidad de los productos entregados por la empresa, lo cual puede tener un impacto positivo en diversos aspectos, como la generación de beneficios sociales tangibles, tales como el fomento de iniciativas de responsabilidad social empresarial, la optimización de la interacción y colaboración entre la compañía minera y las comunidades circundantes.

### *1.5.3. Económica*

Desde un punto de vista económico, se desarrolla un sistema de gestión de calidad que tiene el potencial de optimizar los procesos operativos y disminuir los costos vinculados



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a reprocesos y penalidades. Mediante la implementación de estándares de calidad superiores, la organización puede acceder a mercados de mayor exigencia y fortalecer su reputación, lo cual puede resultar en un incremento en las ventas y en la retención de la clientela.

### *1.5.4. Tecnológica*

La evolución tecnológica ha permitido el desarrollo de herramientas y metodologías avanzadas para el control de calidad en procesos industriales (Jiménez-Navia et al., 2020). La implementación de un sistema de control en el despacho de concentrados minerales de cobre permitirá incorporar mejores tecnologías de monitoreo y control que faciliten la mejora continua, Ejemplo: el brazo robótico la pistola de rayos X y las cámaras de detección de humedad y leyes.

## 1.6. Hipótesis

La optimización de los controles de muestreo aseguraría el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre, Arequipa, 2025

## 1.7. Variables

### *1.7.1. Variable Independiente*

Los controles de muestreo

Tecnología de Muestreo Automatizado

### *1.7.2. Variable Dependiente*

Los controles de peso

Los controles de leyes



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

## 2.1.Estado de arte

El artículo titulado “Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Hyperspectral Imaging Data Fusion for Improved Mineralogical Analysis of Copper Concentrates”; Fuentes et al. (2022) discute principalmente acerca de cómo la combinación de la espectroscopía de desintegración inducida por láser (LIBS) y la imagenología hiperespectral (HSI) mejora el análisis mineralógico de los concentrados de cobre. La fusión de estos métodos permite obtener mediciones más precisas de la composición mineral, lo cual es crucial para optimizar los controles de muestreo y asegurar que el concentrado de cobre cumpla con los estándares de calidad requeridos. El estudio aborda la importancia de integrar estas tecnologías avanzadas para obtener resultados más fiables y reducir los errores en el manejo de muestras durante el proceso de despacho del concentrado.

En su artículo titulado “Research on Rapid Identification Method of Copper Concentrate and Its Smelting Slag”, Jiang et al. (2022) presentan un método de identificación rápida para diferenciar entre concentrado de cobre y su escoria de fundición utilizando un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X (XRF). El estudio se basa en la determinación del contenido de cobre y silicio en muestras procedentes de distintas zonas mineras, calculando la razón silicio/cobre (Rsi/Cu) para una clasificación preliminar eficaz del material. Esta técnica permite optimizar el proceso de muestreo en tiempo real, especialmente en entornos de despacho como los puertos, mejorando significativamente la precisión y velocidad del control de calidad en los concentrados de cobre.

En el artículo titulado “Determinación del sesgo en contenido de metales y humedad entre el muestreo en apilamiento y el muestreo con el brazo robótico para concentrado de cobre en los depósitos de minerales aplicando la ISO 13292”, (Neira & A., 2022) presenta esta investigación que se determinó el sesgo en contenido de Ag, Cu, As y humedad entre



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

muestreo en apilamientos y brazo robótico en concentrados de cobre, siguiendo ISO 13292. Se diseñó un esquema de muestreo con análisis granulométrico, estimación de componentes de desviación y cálculo de masa/incrementos óptimos. Tras analizar ≥20 camiones (30 t cada uno) para ambos métodos mediante técnicas mecánicas (titulación, absorción, balanzas), se contrastaron hipótesis con t-Student bivariado. Los resultados indicaron ausencia de sesgo significativo para Ag, As y humedad.

## 2.2.Antecedentes de la investigación

### *2.2.1. Internacional*

En su estudio titulado "Geophysical methods for controlling the useful component content as the basis for the quality management system at mining and processing enterprises", Azarian & Azarian (2020) exploraron el uso de métodos geofísicos avanzados para el control de los componentes útiles en la minería. Se enfocaron en la implementación de tecnologías innovadoras en las operaciones mineras para mejorar la trazabilidad y precisión en el control de calidad de los concentrados de cobre. A través de herramientas geofísicas, los autores proponían una forma más eficiente de gestionar la calidad de los productos durante la extracción y procesamiento. Este enfoque innovador es crucial para asegurar la uniformidad en los concentrados antes del despacho, permitiendo a las empresas mineras cumplir con los estándares internacionales de calidad. La metodología también ayuda a detectar posibles variaciones que puedan afectar la calidad del concentrado, asegurando que los productos finales cumplan con los requisitos tanto del mercado como de las regulaciones internacionales.

En su artículo titulado "Copper ore quality tracking in a belt conveyor system using simulation tools", Bardzinski et al. (2020) aborda el uso de herramientas de simulación para el seguimiento de la calidad de los concentrados de cobre en los sistemas de transporte por bandas. Los autores se centraron en cómo los sistemas de monitoreo continuo pueden mejorar



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

la trazabilidad y precisión en la medición de las propiedades físicas y químicas de los concentrados durante su transporte, un proceso crítico para garantizar que los productos cumplan con los estándares de calidad en el punto de despacho. La investigación mostró que la implementación de simulaciones para modelar el comportamiento de los concentrados en el sistema de transporte puede reducir las pérdidas de calidad, asegurando una distribución más confiable y eficiente de los concentrados en las operaciones mineras. Esta metodología resulta particularmente útil para la optimización de los controles de muestreo en la cadena de suministro, mejorando tanto la consistencia como la precisión de los concentrados a medida que se trasladan a su destino final.

En su estudio titulado "Optimization of Feed Blending Process for Copper Smelter", Desai et al. (2023) abordaron la optimización del proceso de mezcla de concentrados de cobre en una fundición. Su investigación se centró en la necesidad de asegurar composiciones químicas uniformes para optimizar el rendimiento en la producción de cobre, especialmente frente a variaciones en la calidad de la materia prima. Se propuso un modelo de optimización para mejorar la uniformidad de metales como el cobre, hierro, azufre y otros compuestos presentes en los concentrados, lo cual es crucial para asegurar la calidad del producto final. Este estudio es relevante para la optimización del proceso de muestreo y aseguramiento de la calidad en el despacho de concentrados, ya que proporciona un enfoque metodológico sobre cómo reducir la variabilidad en la composición química y mejorar la recuperación de metales valiosos. La propuesta metodológica busca maximizar la eficiencia operativa y garantizar un proceso más controlado y rentable en la industria de fundición.

En su estudio titulado "Simulación de Proceso de Secado de Concentrado de Cobre", (Duran, 2013) mediante el desarrollo e implementación de modelos de balance energético y material, respaldados por una herramienta de simulación desarrollada en Excel, se logró representar digitalmente las operaciones de las Plantas de Secado de la Fundición Caletones



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de CODELCO-Chile. La información operacional se recopiló mediante el estudio de tendencias de parámetros clave registrados en el último quinquenio, complementado con protocolos técnicos institucionales. La plataforma cuenta con una interfaz intuitiva que permite su utilización por parte del personal operativo sin requerir capacitación especializada. El análisis de la evolución histórica de estas variables resulta fundamental para mantener los procesos dentro de los rangos técnicamente recomendados, evitando desviaciones que puedan comprometer la eficiencia del sistema productivo.

### *2.2.2. Nacional*

En su estudio "Variabilidad en el Sistema de Medición de los Contenidos de Cobre y Oro en el Concentrado, entre el almacén de acopio y el punto de despacho y su posible impacto económico – Caso de estudio compañía minera en el norte del Perú", Cadenillas et al. (2020) examinaron la diferencia en la medición de cobre y oro entre el punto de despacho en la mina y el almacén en el puerto para ver su efecto económico. Evaluaron las variables del muestreo, la preparación, el análisis de laboratorio y el uso de métodos estadísticos. Se midió el valor de estas diferencias porque afectan el análisis económico y la venta de los concentrados. La metodología usó proceso, ANOVA, pruebas t y el Análisis del Sistema de Medición con Gage R&R, lo que mostró la necesidad de mejorar los sistemas en ambos puntos. Entre las soluciones se propusieron estandarizar el muestreo, formar al personal, usar equipos iguales en ambos lugares y hacer balances semanales para bajar la diferencia en los análisis de cobre y oro. Los resultados del estudio muestran la importancia de contar con medidas precisas y seguras para evitar pérdidas económicas y asegurar la claridad en la gestión del concentrado mineral en la cadena de suministro.

En su tesis "Desarrollo y validación del método de titulación potenciométrico para la cuantificación del contenido de cobre en muestras de despacho usando el equipo Omnis Sample Robot", Martínez (2022) se trabajó y comprobó un método de titulación



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

potenciométrica para la determinación del contenido de cobre en muestras de concentrado que están dirigidas al despacho. La investigación se llevó a cabo utilizando el equipo Omnis Sample Robot, que tiene la utilidad de medir la variación del potencial eléctrico proporcional al porcentaje de cobre presente en la muestra. Este trabajo de investigación se dividió en tres etapas, la primera, fue la optimización de parámetros analíticos, evaluando factores como el área de contacto en la digestión de la muestra, la estandarización de soluciones químicas y la optimización del proceso de valoración. En la segunda fase, se llevó a cabo la validación del método mediante análisis estadísticos con herramientas certificadas, además se utilizó el software MINITAB-19 para determinar la precisión, veracidad y robustez del procedimiento de muestreo. Finalmente, en la última, se realizó una comparación entre el método potenciométrico y el método volumétrico convencional, que se utilizaba antiguamente, analizando 100 muestras de despacho de concentrado de cobre. Y luego se pasó a realizar la prueba estadística t para dos muestras, se determinó que no existían diferencias significativas entre ambos métodos, lo que permitió validar exitosamente el nuevo procedimiento. Se concluyó que la titulación potenciométrica es una alternativa precisa, confiable y robusta para poder observar el contenido de cobre en concentrados, reduciendo el tiempo de análisis y minimizando errores y sesgos.

En su tesis "Propuesta de estandarización del proceso de despacho de concentrados de zinc y plomo en una Unidad Minera, Lima", Castro (2021) se trabajó y desarrolló un sistema de estandarización del proceso de despacho de concentrados de zinc y plomo, con el objetivo de mejorar la eficiencia y trazabilidad en una unidad minera. Se identificó deficiencias en la gestión del despacho, por lo tanto, se promovió la implementación de procedimientos estandarizados que optimicen el control de calidad, el almacenamiento, el muestreo y el transporte de los concentrados. Además, se llevó a cabo un análisis detallado de cada etapa del proceso y la aplicación de herramientas de gestión y se tuvo como resultado una



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

propuesta que permitió optimizar tiempos, minimizar errores operativos y garantizar un despacho más eficiente y confiable, contribuyendo a una mejor gestión de los recursos en la unidad minera.

En su investigación "Optimization of Feed Blending Process for Copper Smelter", Desai et al. (2023), los autores analizaron la optimización del proceso de mezcla, también conocido como blending, de concentrados en la fundición de cobre, resaltando la importancia de obtener leyes y composiciones químicas uniformes para garantizar una operación estable y rentable, especialmente ante la disminución de la calidad de la materia prima. Además, se señalan los desafíos de la variabilidad en la composición química de los concentrados, y se propuso un modelo basado en la optimización de la mezcla, que mejora la uniformidad del cobre, hierro, azufre, sílice e impurezas, al tiempo que maximiza la recuperación de metales valiosos como oro, plata y metales del grupo del platino.

En su tesis titulada “Optimización en la recuperación de concentrados de Cobre mediante el Blending por caracterización geometalúrgica – Mina Norte, Sociedad Minera Austria Duvaz, 2022” Muñoz (2022), busca mejorar la recuperación de concentrados de cobre en la Mina Norte de la Sociedad Minera Austria Duvaz mediante la implementación de técnicas de Blending, fundamentadas en la caracterización geometalúrgica. Desde el cierre de la Mina Central en 2021, la producción de mineral ha experimentado una disminución, lo que ha impactado negativamente en la calidad del material y ha reducido la recuperación de cobre a menos del 68%, en comparación con los niveles previos que fluctuaban entre el 78 y el 83%.

En la tesis "Determinación del sesgo en contenido de metales y humedad entre el muestreo en apilamiento y el muestreo con el brazo robótico para concentrado de cobre en los depósitos de minerales aplicando la ISO 13292", Neira y Acuña (2022), los autores analizaron la posible existencia de errores e incertidumbres con respecto a los valores de



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

metales y humedad entre el muestreo en apilamiento y el muestreo realizado con brazo robótico. Se evaluaron diferentes parámetros de calidad, entre los cuales se encuentra el contenido de plata, cobre, arsénico y humedad, siguiendo la normativa ISO 12743. Se analizaron 30 toneladas de concentrado de cobre y se contrastaron los valores obtenidos de ambos métodos mediante la prueba t. Solo se encontró un tipo de sesgo en el contenido de Cu, estadísticamente significativo. Para corroborar este hallazgo, se realizaron pruebas estadísticas adicionales no paramétricas, confirmando finalmente la ausencia de sesgo en este parámetro. Esto evidencia la fiabilidad del muestreo con brazo robótico, aunque sugiere la necesidad de controles adicionales en la medición del cobre.

### *2.2.3. Local*

En la investigación de Huacca (2019) sobre el "Muestreo de concentrado en el área de despacho de la planta concentradora de sulfuros 1 para el transporte bimodal ", estudió cómo se muestrea y se controla el concentrado de cobre en el despacho de la planta procesadora de sulfuros 1, operada por PERURAIL S.A. La investigación trató el uso del Transporte Bimodal, que usa contenedores cilíndricos especiales para cargar el concentrado y para transportarlo. Estos contenedores reducen el daño al ambiente y bajan los costos frente al transporte normal. En este proceso se mostró el valor de guardar, surtir, muestrear y llevar el mineral al puerto de Matarani, cumpliendo normas internacionales de calidad y seguridad al manipular el material.

El estudio señaló la importancia de examinar la humedad en el concentrado de cobre, pues este factor afecta la toma de decisiones operativas y económicas. Demasiada humedad sube los costos, afecta la eficiencia en el proceso del metal y acarrea multas al vender el producto final. La investigación halló que controlar bien la humedad y usar un buen muestreo facilitan el despacho de concentrados, bajan los costos y aseguran el cumplimiento de los



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

estándares en la cadena de suministro. También indicó que se debe mejorar los métodos de muestreo y de análisis para subir la calidad del producto y su competitividad en el mercado.

## 2.3.Bases teóricas

### *2.3.1. Despacho de concentrado*

El proceso de despacho de concentrado de cobre en las empresas mineras del sur del Perú consiste en que el mineral extraído es preparado, se almacena y luego se transporta a su destino. Este procedimiento incluye pruebas cualitativas, control de humedad, pesaje y cumplimiento de las reglas ambientales y comerciales. El envío adecuado garantiza composición química de concentrado con la composición adecuada, no existe pérdida y optimiza la cadena de suministro (Coaquira, 2023).

### *2.3.2. Sistema de gestión de calidad*

Se trata de una estructura organizada que combina procesos, directrices y protocolos. Su objetivo es asegurar que los productos o servicios satisfagan de manera constante los requisitos definidos, maximicen la eficiencia y fomenten la innovación constante. En la industria minera, su adopción resulta esencial para garantizar la precisión en las etapas de toma de muestras, análisis y envío de concentrados. Esto es particularmente relevante ante fluctuaciones en características clave como la composición química, el contenido de humedad o la distribución granulométrica.

### *2.3.3. ISO 9001*

La ISO 9001 ofrece pautas estandarizadas para administrar la calidad en procesos fabriles. Aplicada al despacho de concentrados de cobre, certifica la homogeneidad, rastreabilidad y alineamiento con normas internacionales (ISO 12743, ISO 10251) en los controles de muestreo. Esto reduce desviaciones en parámetros como tenores metálicos y humedad, evita multas regulatorias (de la SUNAT) y robustece la fiabilidad del output.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Dispositivos como brazos robóticos y espectrómetros portátiles Niton XRF se sincronizan bajo este esquema para impulsar optimizaciones sostenidas.

### *2.3.4. Secado de mineral*

El secado de concentrados es una de las fases más importantes para los procesos de fundición y refinería, el objetivo de realizar un secado es reducir el contenido de humedad del concentrado desde niveles iniciales del 6 - 8% hasta rangos menores a 0.3%. Este mismo nos ayuda a mejorar la efectividad de fases posteriores, como la fusión, ya que un exceso de humedad puede generar problemas operativos, incrementar el consumo energético y afectar la calidad del producto final (Torres, 2006).

Este proceso se realiza en un secador giratorio, aumentando su temperatura a vapor saturado a una presión de 20 bar y un proceso de 180 ° C. Dentro de la secadora, concentrado en movimiento a través de un tambor de metal, donde el calor se mueve a través de la radiación y la convección con la circulación de vapor de agua. Esta configuración garantiza la evaporación efectiva de la humedad sin alcanzar la temperatura que contribuye a la radiación del dióxido de azufre ($SO_2$), porque la reacción de azufre con oxígeno requiere temperaturas superiores a 300 ° C. Los vahos generados durante el secado, compuestos por aire de purga, vapor de agua y partículas de polvo arrastradas, son tratados en un filtro de mangas. Este sistema recupera las partículas en suspensión, las cuales son reintegradas al proceso, mientras que los gases limpios son liberados a la atmósfera. El vapor condensado se recircula a un estanque recuperador de condensados para su reutilización, lo que contribuye a la sostenibilidad del proceso. El proceso de secado está regido por principios termodinámicos, donde la temperatura de evaporación de la fase condensada depende de la presión a la que se encuentra sometida. Esta relación se describe mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron, que establece la dependencia entre la presión (p) y la temperatura (T) en estados de equilibrio, considerando los calores ($\Delta H$) y volúmenes de vaporización ($\Delta V$) (Lorca, 2013).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H}{T\Delta V}$$

### *2.3.5. Composición química de concentrados de cobre*

El cobre es uno de los metales más relevantes en el ámbito minero debido a sus propiedades y aplicaciones industriales. Su composición química en los concentrados minerales varía según los tipos de minerales presentes en los yacimientos. En Perú, los minerales que predominan en los depósitos de cobre son la calcopirita (CuFeS2 compuesta por cobre, hierro y azufre) y la calcosina-covelina (Cu2S-CuS, compuesta por cobre y azufre). Estos minerales suelen encontrarse acompañados de otros compuestos, como la pirita (FeS2, compuesta por hierro y azufre) y materiales estériles conocidos como ganga, que no aportan valor en la extracción del metal.

Los concentrados de cobre, obtenidos mediante técnicas de flotación, presentan una composición química heterogénea. Esta incluye porcentajes variables de cobre, azufre, hierro y otros elementos en menores proporciones. Un estudio realizado sobre la producción de concentrados en Argentina entre 2001 y 2008 reveló los valores promedio de su composición química. Estos datos reflejan las fluctuaciones en la calidad de los concentrados, las cuales están directamente relacionadas con las características del mineral de origen y la eficiencia de los procesos de concentración aplicados.

En la mina Las Bambas, la producción de concentrados de cobre se lleva a cabo mediante un proceso que incluye extracción, trituración, flotación y refinamiento. El mineral, obtenido de un yacimiento a cielo abierto que contiene cobre(Cu), oro(Au), plata(Ag) y molibdeno(Mo), es sometido a molienda en molinos de bolas para reducir su granulometría. Posteriormente, se aplica el método de flotación espumosa: la mezcla de mineral molido, agua y reactivos químicos se airea para generar burbujas que adhieren y separan



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

selectivamente las partículas de cobre de los demás componentes. Este enfoque permite optimizar la recuperación del metal objetivo.

El principal mineral portador de cobre es la calcopirita, compuesta por un 34% de cobre en combinación con hierro y azufre. Este metal solo adquiere su forma metálica mediante procesos de fundición. Por otro lado, la molibdenita es el mineral clave para el molibdeno, conteniendo un 60% de este elemento unido a un 40% de azufre. Los productos finales comercializables de la concentradora son sulfuros: el concentrado de molibdeno alcanza una ley cercana al 55% de Mo, mientras que el concentrado de cobre presenta aproximadamente un 29% de Cu.

### *2.3.6. Muestreo por rumas*

El muestreo por rumas es un procedimiento utilizado en minería para obtener una muestra representativa de un material acumulado en pilas, con el objetivo de analizar sus características físicas y químicas. Este proceso requiere una planificación cuidadosa para garantizar que la muestra extraída refleje con precisión la composición del material almacenado. Antes de iniciar el muestreo, se realiza una inspección del área para identificar posibles riesgos y asegurar que las condiciones sean adecuadas. Se consideran factores como la estabilidad de la ruma, la presencia de partículas en suspensión y el uso de equipos de protección personal. La toma de muestra implica la recolección de material de distintos puntos de la ruma, evitando sesgos en la selección. Para ello, se utilizan herramientas especializadas como palas, baldes y chancadoras, asegurando que la muestra obtenida mantenga sus características originales sin contaminación cruzada.

El material recolectado se somete a un proceso de acondicionamiento que incluye cuarteo y reducción de tamaño, permitiendo obtener fracciones más manejables y homogéneas. Posteriormente, la muestra es analizada en laboratorio para evaluar su



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

granulometría y otras propiedades relevantes, garantizando que los resultados obtenidos representen con fidelidad las condiciones del material en la ruma.

El proceso de muestro para determinar húmedas de cobre, su secado en estufa es a 105°C +/- 5°C por un tiempo de 5 horas, registrar el primer pesado para reingresar las muestras y continuar con el secado a 105°C +/- 5°C por 4 horas adicionales para culminar el reposo se debe verificar que entre la primera pesada y el reposo no difiera en más del 0.05% de la masa inicial. Los procesos pirometalúrgicos, la eliminación de humedad libre del mineral de cobre excede los 100 °C, mientras que la extracción de agua de cristalización requiere alcanzar hasta 120 °C. Consulte estándares como ASTM D2216 o ISO 6540 si el secado está vinculado a procesos metalúrgicos posteriores.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

## 3.1.Tipo y nivel de investigación

### *3.1.1. Tipo de investigación*

La investigación se enfoca en la optimización de los controles de muestreo dentro de un sistema de gestión de calidad aplicado a un entorno real, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre; por tanto, se afirma que la presente investigación es aplicada de acuerdo con la teoría brindada por Sánchez et al. (2018), dado que se abordará la solución para un problema real.

### *3.1.2. Nivel de investigación*

Basado en la teoría brindada por Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), este estudio se caracteriza como descriptivo y explicativo. La intención es describir y caracterizar el proceso actual de muestreo y los estándares de calidad en la distribución de concentrados de cobre. Además, desde la parte explicativa se examinarán las repercusiones de la optimización de los controles de muestreo en la mejora de los estándares de calidad del producto, identificando la causa y efecto dentro del objeto de estudio.

## 3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será cuasiexperimental. Se llevará a cabo una intervención específica en el proceso de muestreo y despacho de concentrados minerales; para lo cual, se realizarán mediciones antes y después de la implementación para evaluar el impacto de estos controles en el cumplimiento de los estándares de calidad (Medina et al., 2023).

## 3.3.Alcances y Limitaciones

### *3.3.1. Alcance*

Este estudio se enfocará en los controles de muestreo en la distribución de concentrados de cobre proveniente en empresas mineras ubicadas en Arequipa y Cuzco



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

como Antapacay y Las Bambas, esperando que los hallazgos provenientes de esta investigación contribuyan significativamente a la optimización de las prácticas de gestión de calidad en el sector minero local; adicionalmente, se considerarán de manera integral los aspectos ambientales, sociales y económicos relacionados con la optimización de los controles de muestreo, que nos brinda la posibilidad de escalar las prácticas de calidad en el sector.

### *3.3.2. Limitaciones*

Uno de los principales desafíos será la disponibilidad de datos, especialmente en situaciones donde las empresas carezcan de un registro organizado de sus procesos de calidad.

Además, la constante rotación de personal (contratos de 3 y 6 meses) inducen a tener personal para el control de muestreo con una baja motivación y disponibilidad, para cumplir los protocolos y procedimientos de muestro; se puede decir una cierta; ¨resistencia al cambio¨, un obstáculo en la implementación efectiva del sistema propuesto.

## 3.4. Métodos de investigación

- **Revisiones documentales:** Se realizará un examen exhaustivo de la literatura existente y de la documentación interna de la organización referente a los sistemas de gestión de calidad y las normativas correspondientes.
- **Encuestas y entrevistas:** Se llevarán a cabo encuestas y entrevistas con el personal implicado en el proceso de despacho con el objetivo de comprender las percepciones contemporáneas respecto a la calidad y las áreas susceptibles de mejora.
- **Observación Directa:** Se procederá a la inspección directa de los procesos de distribución con el objetivo de detectar deficiencias y oportunidades de mejora.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Evaluación Comparativa:** Se llevarán a cabo comparaciones entre los indicadores de calidad previos y posteriores a la optimización de los controles de muestreo para asegurar el cumplimiento de los estándares de despacho de concentrados minerales de cobre.

### 3.5.Población y muestra

La población de estudio está compuesta por el material descargado en los almacenes, conocido ¨como rumas¨, para este estudio se considera todas las rumas almacenadas mensualmente durante un año. Según los datos:

- Rumas por mes: 240.
- Periodo de estudio: 12 meses.

Por lo tanto, la población total es:

$$\text{Población} = 240 \text{ rumas/mes} \times 12 \text{ meses} = 2{,}880 \text{ rumas/año}.$$

La muestra de estudio corresponde a un subconjunto de la población, una cantidad representativa que proviene de cada ruma, seleccionado bajo los siguientes parámetros:

- Muestras por ruma: 20 bolsas, cada bolsa de 10kg.
- Total, de muestras mensuales: 4800 muestras.

### 3.6.Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### *3.6.1. Descripción de la Técnica*

La unidad minera Las Bambas manda su locomotora de PeruRail(Anexo1), son un total de 54 vagones con un numero marco en cado vagón, una vez llegado al puerto de Matarani la locomotora deja los vagones y se desenganchan para posteriormente hacer una maniobras en el mismo lugar, ya en posición los vagones sin la locomotora el track mobile operador por el grupo de PeruRail es el encargado de remolcar los vagones llenos de mineral de cobre al hangar, los vagones se desenganchan de 6 en 6 para ser remolcados al hangar(Anexo 2). Cuando está posicionado los vagones en el hangar para luego el inspector



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

encargado entra al hangar para revisar con un martillo de goma que los vagones estén llenos, las puertas abiertas se cierran para posteriormente descargar el mineral de cobre, dentro del hangar hay dos grúas con dos revolver que se enganchan en los vagones para luego ser descargados sobre dos feeders (Anexo 3). Después de ser descargador el mineral por los feeders va en caída a las fajas en movimiento, en donde el inspector encargado tiene que bajar hasta donde se encuentran las fajas, en esa ubicación se encuentra en muestreador automático con unos baldes con bolsa de polietileno y el inspector encargado tiene que llevar las muestras que recolecta el muestreador con un peso de 10 kilos hasta el laboratorio PMI(Preparación de Muestras Inorgánicas), mientras el material descargador sigue por las fajas hasta el almacén depositado y desguardo, para luego determinar las humedades y leyes de cobre, así luego determinar si es apto para el embarque del mineral.

También a la vez mandas camiones encapsulados llenos de mineral de cobre aproximadamente por día entre 20 y 30 camiones encapsulados, y donde se descargan todos los encapsulados, en el punto se encuentran 2 inspectores encargados de recepcionar los camiones para descargar, el primer inspector toma los datos de la guía y revisa que los precintos están asegurados para luego cortarlos los precintos, una vez revisados con la guía se da permiso  para así que el camión entre a descargar al almacén y el segundo inspector se encarga de muestrear manualmente con una sonda de muestreo para luego así ponerlos en bolsa de 10kg y así luego en el mismo lugar con las bolsas recolectadas por cada camión se reduce los grumos grandes con un cuarteador para luego poder poner en bolsas de polietileno de 5kg para mandar la laboratorio PMI y otra bolsa para reserva, la reserva es como un seguro en caso de que la muestra en el laboratorio sale mal. Una vez preparado las muestras en las bolsas de polietileno de 5kg se lleva al laboratorio PMI para su respectivo análisis.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez tenido las muestras de cobre en el laboratorio el inspector encargado del laboratorio debe sacar una porción pequeña para poner en el analizador de humedad para así obtener un resultado rápido y avisar a mina con cuanto de humedad está llegando su carga de mineral.

**a) Recepción y Verificación de la Muestra**

El inspector de laboratorio recibe la muestra sellada e identificada con las actas de muestreo correspondientes. Se verifica la integridad de la muestra y los datos registrados en el acta, confirmando su conformidad mediante un sello de recepción.

**b) Generación de Órdenes de Ensayo**

Se genera una orden de ensayo para humedad (MV) en el sistema SLIMS CCLAS por cada lote de muestras. Posteriormente, se imprimen las etiquetas de código de barras requeridas para identificar las réplicas y contramuestras.

**c) Pesaje Inicial**

La muestra recibida se pesa y registra en el módulo SLIM_CCLAS para establecer su masa inicial.

**d) Preparación de Bandejas**

Se habilitan bandejas recubiertas con papel Kraft, identificadas con etiquetas de código de barras. Cada bandeja se coloca sobre una balanza para registrar su peso tara en el SLIM CCLAS.

**e) Homogeneización de la Muestra**

La muestra bruta se vierte sobre una superficie de trabajo y se reduce la presencia de grumos mediante una placa de impacto. En caso de partículas mayores a 10 mm, se homogeniza mediante coneo en dos etapas o utilizando un rodillo metálico.

**f) División de la Muestra**

La muestra se distribuye en una cama rectangular de altura ≤30 mm, dividida en 20 cuadrículas (5x4). Con una pala JIS N°5 a 45°, se recolectan incrementos de cada cuadrícula



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

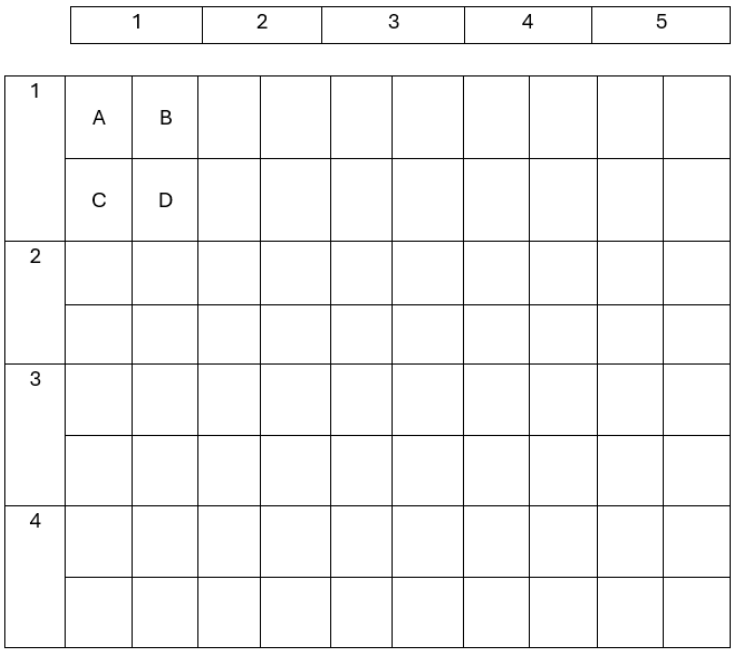
para llenar las bandejas "A", "B" (duplicados) y "C" (contramuestra), asegurando una masa mínima de 1 kg por bandeja.

**g) Pesaje y Almacenamiento de la Muestra Húmeda**

La muestra se esparce en las bandejas (altura ≤3 cm) y se pesa inmediatamente para registrar la masa húmeda en SLIM CCLAS. Adicionalmente, se separa una porción de 2.5 kg (20 incrementos) como reserva, sellada en bolsa de polietileno con cinta de seguridad.

**Figura 1**

*Distribución de incrementos para llenado de bandejas*




*Nota.* Elaboración Propia

**h) Secado y Pesaje de la Muestra Seca**

Las bandejas se secan en estufa a 105 ±5°C durante 5 horas, registrando la hora de inicio. Tras este período, se retiran las bandejas y se pesan calientes sobre una plancha aislante (para evitar variaciones térmicas), anotando la masa seca en SLIM CCLAS. Posteriormente, se reintroducen a la estufa por 4 horas adicionales y se repite el pesaje.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**i) Verificación de Peso Constante**

Se valida que la diferencia entre la primera pesada seca y la repetición no supere el 0.05% de la masa húmeda inicial. De excederse, se extiende el secado en intervalos de 4 horas hasta cumplir el criterio.

**j) Evaluación de Repetibilidad**

La diferencia máxima de humedad entre bandejas debe ser ≤0.2%. Si se supera, se reensaya la reserva por duplicado. De los cuatro resultados, la discrepancia máximo-mínimo debe ser <0.25%; de lo contrario, se eliminan los valores extremos y se promedian los restantes (según ISO 10251).

**k) Generación de Reportes y Disposición Final**

El supervisor consolida los resultados en SLIM CCLAS para emitir reportes al cliente. Las muestras secas se almacenan en bolsas plásticas identificadas y contenedores designados, destinados a su devolución al origen.

**l) Cálculos y expresión de resultados**

El contenido de humedad de las porciones de prueba expresada en porcentaje es calculado como sigue:

$$x = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100$$

$$x_{Dup} = \frac{(m_{2(Dup)} - m_{3(Dup)})}{(m_{2(Dup)} - m_{1(Dup)})} * 100$$

$$\bar{x} = \frac{(x - x_{Dup})}{2}$$



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

$x$ : Contenido de humedad obtenida en la primera bandeja, en porcentaje.

$m_1$ : Masa de la primera bandeja de secado, en gramos

$m_2$ : Masa de la primera bandeja de secado más la porción de ensayo húmeda, en gramos.

$m_3$ : Masa de la primera bandeja de secado más la porción de ensayo seca, en gramos.

$x_{Dup}$ : Contenido de humedad obtenida en la segunda bandeja, en porcentaje.

$m_{1(Dup)}$ : Masa de la segunda bandeja de secado, en gramos.

$m_{2(Dup)}$ : Masa de la segunda bandeja de secado más la porción de ensayo húmeda, en gramos.

$m_{3(Dup)}$ : Masa de la segunda bandeja de secado más la porción de ensayo seca, en gramos.

$\bar{x}$ : Humedad promedio de la muestra a reportar, en porcentaje.

### *3.6.2. Sistema SLIM CCLAS*

Un Sistema de Gestión de Laboratory Information Management System (SLIM) opera como el eje central digitalizado de las operaciones en un entorno experimental. Su implementación permite al personal técnico acceder a una plataforma centralizada para gestionar el registro de muestras recibidas, asignarlas a protocolos analíticos específicos y monitorear su avance de manera continua. Los técnicos actualizan el estado de las muestras mediante el escaneo de códigos de barras, ingresan datos experimentales y verifican la conclusión de ensayos directamente en el sistema. Por su parte, los responsables del laboratorio emplean el SLIM para supervisar y validar resultados antes de autorizar la emisión de informes estandarizados, mientras que los equipos de calidad realizan auditorías de los resultados, procesos y registros para asegurar el cumplimiento de normativas vigentes.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Adicionalmente, los gestores utilizan paneles de control integrados y herramientas analíticas para supervisar las cargas de trabajo, niveles de inventario y tiempos de entrega. En laboratorios avanzados, el SLIM también se configura para activar notificaciones automáticas, calendarizar mantenimientos preventivos de equipos o transmitir información a entes reguladores, mediante flujos de trabajo adaptados a los procedimientos operativos estandarizados (POE) de la institución. Esta integración sistematizada optimiza la trazabilidad, precisión y eficiencia en todas las etapas del proceso analítico.

- **Generar la Orden**

Para iniciar una Orden se necesita una cadena de paso, con el cual la información recolectada estará presente de inicio a fin para posteriormente servirá para generar un documento para que el supervisor pueda registrar la cantidad de humedad en el concentrado de cobre. En un punto importante en este proceso es que el cliente solicita las humedades de cada tren cuando llega al puerto. De manera de que el inspector es el encargado de registrar los datos correspondientes para reportar la cantidad de humedad de cobre al supervisor.

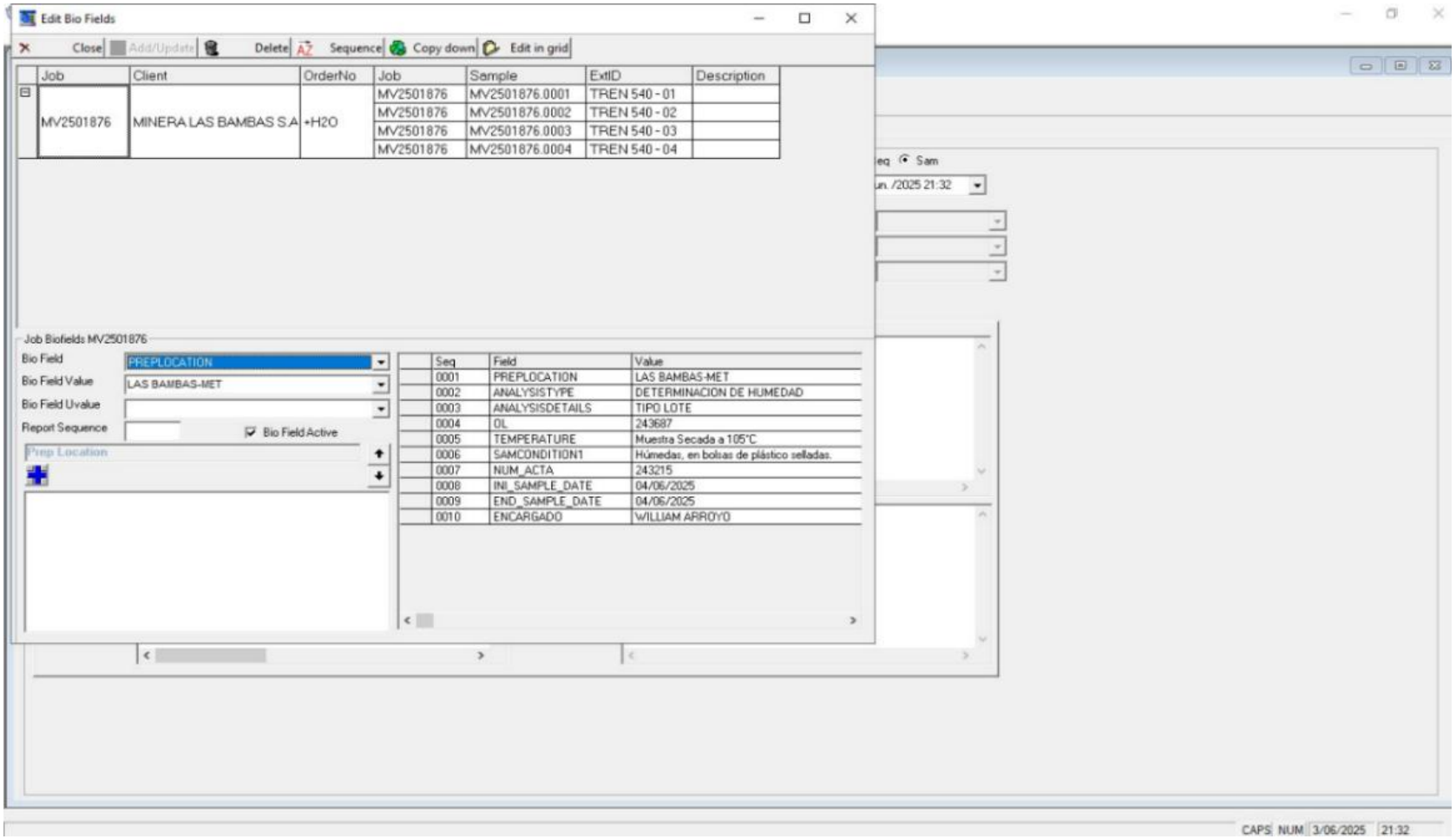


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 2**

*Preparación de Orden ingresando los datos para el registro*




*Nota*. Extraído de Sistema SLIM.

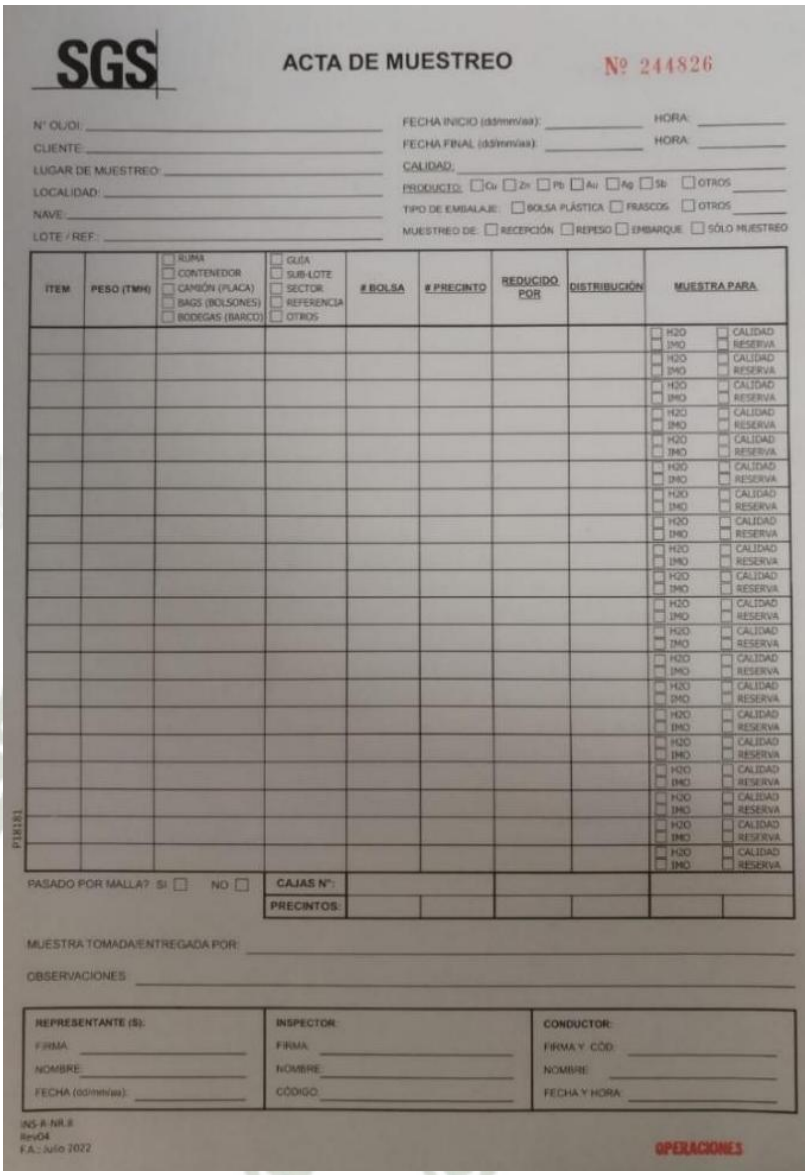


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 3**

*Acta de muestreo*



SGS

ACTA DE MUESTREO Nº 244826

N° OL/OI:
CLIENTE:
LUGAR DE MUESTREO:
LOCALIDAD:
NAVE:
LOTE / REF.:

FECHA INICIO (dd/mm/aa): HORA:
FECHA FINAL (dd/mm/aa): HORA:
CALIDAD:
PRODUCTO: Cu Zn Pb As Ag Sb OTROS
TIPO DE EMBALAJE: BOLSA PLÁSTICA FRASCOS OTROS
MUESTREO DE: RECEPCIÓN REPESO EMBARQUE SÓLO MUESTREO

| ITEM | PESO (TMH) | RUMA / CONTENEDOR / CAMIÓN (PLACA) / BAGS (BOLSONES) / BODEGAS (BARCO) | GUÍA / SUB-LOTE / SECTOR / REFERENCIA / OTROS | # BOLSA | # PRECINTO | REDUCIDO POR | DISTRIBUCIÓN | MUESTRA PARA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | H2O IMO / CALIDAD RESERVA |

PASADO POR MALLA? SI NO

CAJAS N°:
PRECINTOS:

MUESTRA TOMADA/ENTREGADA POR:
OBSERVACIONES

| REPRESENTANTE (S): | INSPECTOR: | CONDUCTOR: |
|---|---|---|
| FIRMA: | FIRMA: | FIRMA Y CÓD: |
| NOMBRE: | NOMBRE: | NOMBRE: |
| FECHA (dd/mm/aa): | CÓDIGO: | FECHA Y HORA: |

INS-P-NR.II
Rev04
F.A.: Julio 2022

OPERACIONES

*Nota.* Elaboración Propia

Como se mira en la foto anterior, existe una opción para generar un código y ser identificado con una serie de número que va asociado con una guía asignada que se le da el inspector, y en donde se ingresa la fecha de inicio de la descarga del mineral y el fin de la descarga del mineral. Al generar la orden la guía asignada viene siendo el código que se muestra en la parte superior y siempre comenzando con “MV” y sus números correspondiente.

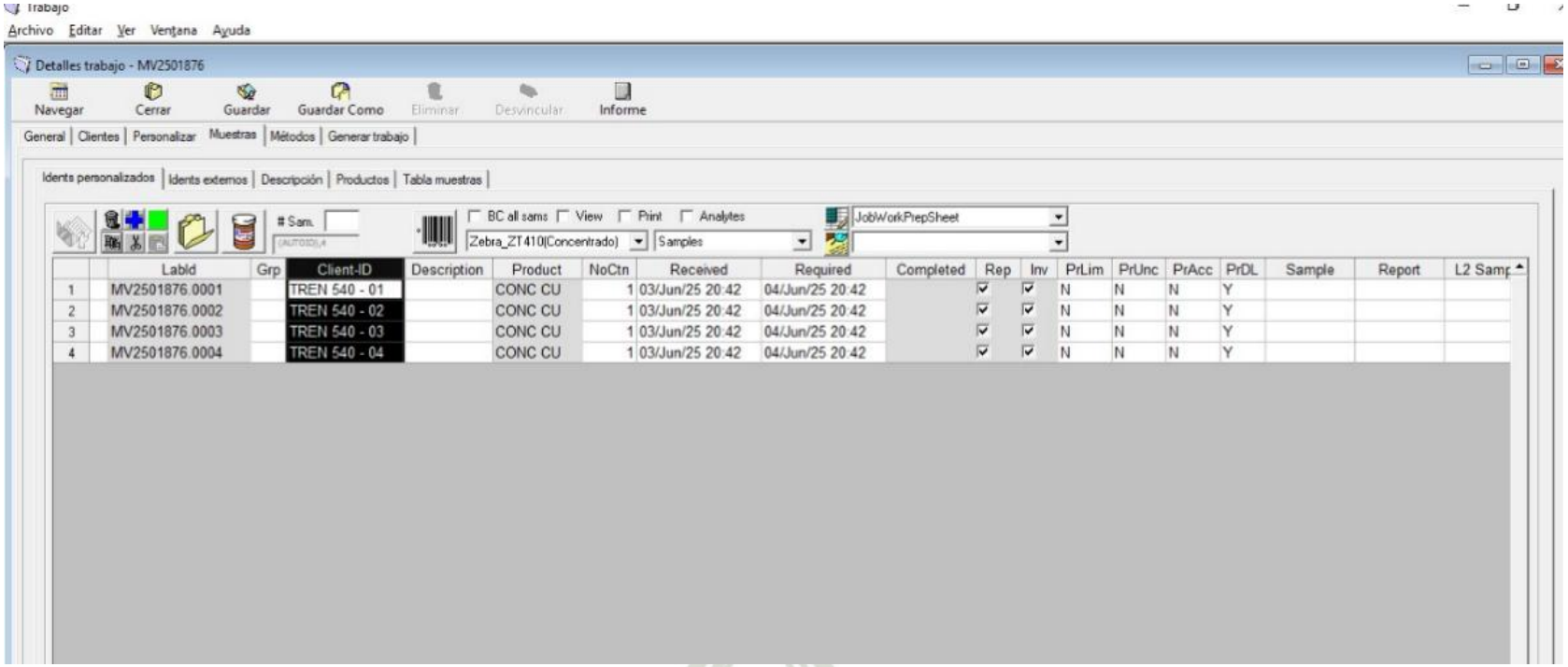


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 4**

*Detalles del trabajo*




*Nota.* Sistema SLIM

Para la siguiente pestaña se tiene que poner el número del tren que se está recepcionando para guiarse y el inspector encargado tiene que verificar y luego aprobar para generar la plantilla en donde se va poner los datos de la humedad, ya que el sistema está ya integrado la formula dicha anteriormente para sacar el resultado de la humedad del tren.

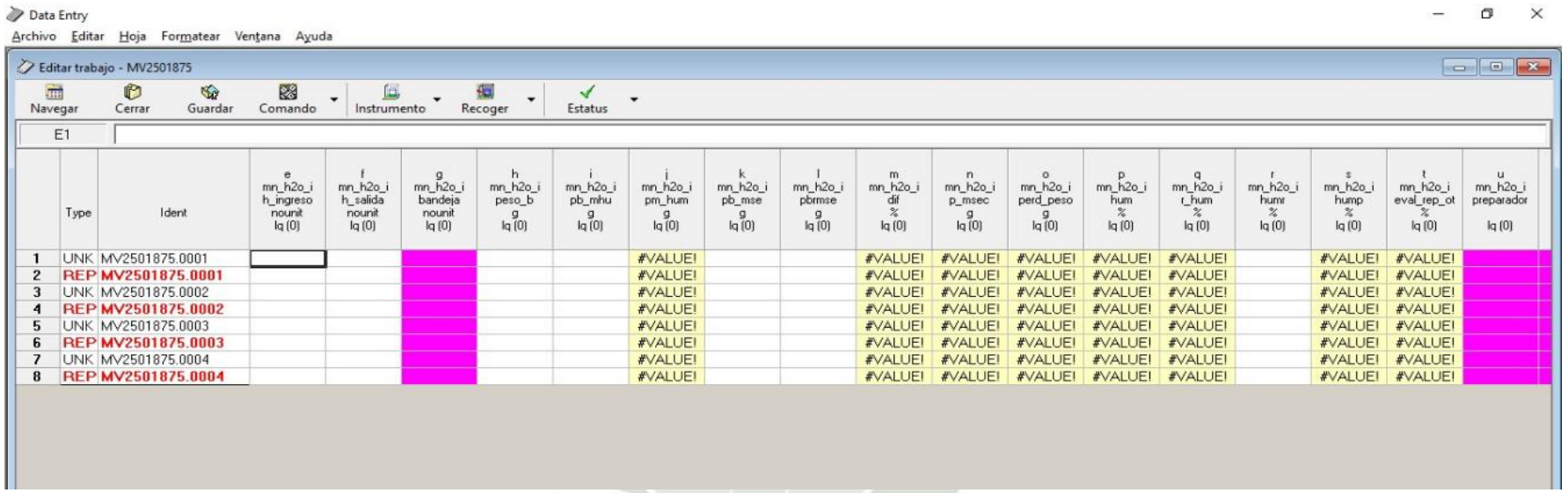


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 5**

*Orden lista para ingresar los datos correspondientes*




| | Type | Ident | e mn_h2o_i h_ingreso nounit lq (0) | f mn_h2o_i h_salida nounit lq (0) | g mn_h2o_i bandeja nounit lq (0) | h mn_h2o_i peso_b g lq (0) | i mn_h2o_i pb_mhu g lq (0) | j mn_h2o_i pm_hum g lq (0) | k mn_h2o_i pb_mse g lq (0) | l mn_h2o_i pbrmse g lq (0) | m mn_h2o_i dif % lq (0) | n mn_h2o_i p_msec g lq (0) | o mn_h2o_i perd_peso g lq (0) | p mn_h2o_i hum % lq (0) | q mn_h2o_i r_hum % lq (0) | r mn_h2o_i humr % lq (0) | s mn_h2o_i hump % lq (0) | t mn_h2o_i eval_rep_ot % lq (0) | u mn_h2o_i preparador lq (0) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | UNK | MV2501875.0001 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 2 | REP | MV2501875.0001 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 3 | UNK | MV2501875.0002 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 4 | REP | MV2501875.0002 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 5 | UNK | MV2501875.0003 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 6 | REP | MV2501875.0003 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 7 | UNK | MV2501875.0004 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |
| 8 | REP | MV2501875.0004 | | | | | | #VALUE! | | | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | #VALUE! | | #VALUE! | #VALUE! | |

*Nota*. Sistema Slim

Ya teniendo el formato creado se ingresa los datos correspondientes en cada casilla como hora de inicio de secado del mineral y el fin. Terminando de ingresar se verificar que no tenga ningún fallo con la diferencia de humedades de ingreso de estufa hasta la salida. Ya estando verificado y guardado en formato PDF se procede a reportar al supervisor para mandar el mensaje correspondiente a la empresa minera encargada.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *3.6.3. Área de trabajo*

En el área del laboratorio se debe tener en cuenta un tener un orden para todo, así como las señalizaciones en el área para así prevenir accidente, la limpieza también es importante en el laboratorio, donde se debe tener en cuenta por los remanentes de cobre que se apila en cuanto van llegando y tener en la misma área la estufa que sirve para secar el material húmedo, teniendo en el mismo lugar las mesas para poder manipular el cobre y teniendo los estantes para guardar las bandejas.

**Figura 6**

*Laboratorio – Área de trabajo*



*Nota.* Elaboración Propia

### *3.6.4. Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo*

La Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo define los requisitos mínimos legales en el Perú para garantizar entornos laborales seguros, aunque promueve que empleadores y trabajadores adopten medidas de protección incluso más rigurosas. Su enfoque principal es fomentar una cultura preventiva mediante la colaboración activa entre trabajadores, empleadores, el Estado y las organizaciones sindicales. Esta normativa busca implementar una gestión proactiva que priorice la identificación y evaluación de riesgos laborales, el diseño ergonómico de espacios de trabajo, la eliminación de contaminantes



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ambientales, el mantenimiento de equipos, el uso adecuado de protección personal, y la capacitación continua en primeros auxilios y manejo de emergencias. Además, establece cronogramas para formación en salud ocupacional, asegurando que la seguridad no sea un mero cumplimiento, sino un eje transversal en las operaciones diarias.

### *3.6.5. Método de Guerchet*

Por otro lado, el Método Guerchet ofrece un marco técnico para diseñar la distribución física de plantas industriales o áreas de procesos, considerando tanto elementos estáticos (como máquinas fijas) como móviles (operarios y materiales en movimiento). Este método calcula el espacio necesario sumando tres componentes: la superficie estática (ocupada por equipos), la superficie de gravitación (para operaciones alrededor de los equipos) y la superficie de evolución (destinada al movimiento de personas y recursos).

El método según la teoría de Guerchet se ve aplicado en la Tabla 1, para poder realizar los cálculos y poder determinar una mejor área de trabajo laboral.

**Figura 7**

*Formulario para la aplicación del Método Guerchet*

| | |
|---|---|
| $S_T = S_s + S_g + S_e$ | Donde:<br>l=largo<br>a=ancho<br>N=número de lados por donde un equipo puede ser utilizado<br>h=altura elementos móviles o estáticos (r o t)<br>r=variedad de elementos móviles<br>t=variedad de elementos estáticos<br>n=números de elementos móviles y estáticos<br>Ss=superficie estática de cada elemento necesaria para su funcionamiento<br>Sg= Superficie de gravitación se refiere a la superficie y material de acopio utilizado por el operario<br>Se= Superficie de evolución contempla los desplazamientos |
| $S_S = (lxa)$ | |
| $S_g = S_s + N$ | |
| $S_e = (S_s + S_g)x \frac{\frac{\Sigma_{i=1}^{r} S_s xnxh}{\Sigma_{i=1}^{r} S_s xn}}{2(\frac{\Sigma_{j=1}^{r} S_s xnxh}{\Sigma_{j=1}^{r} S_s xn})}$ | |

*Nota.* Elaboración Propia



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 4.1.Diseño del Sistema de Control de Muestreo – Procedimiento

El proceso de muestreo y despacho de concentrados de cobre era intensamente manual y fragmentado. En la recepción de trenes y camiones para este diseño de sistema de control se necesita que, en algunos controles, desde que sale de mina hasta que llegue al puerto de Matarani, se va a recepcionar el concentrado de cobre así cuando llegue por tren y por camión.

### *4.1.1. Recepción de Trenes y Camiones con Concentrado*

Una vez llegado al puerto los trenes se van a descargar en el hangar, donde se encuentran unas grúas con una revolver para así poder descargar los vagones de los trenes, en cambio en la recepción de los camiones se van directo al almacén donde se va muestrear manualmente uno por uno de los camiones y luego se va a resguardar el concentrado de cobre en el mismo almacén. En laboratorio, una única estufa limitaba el secado a 540 minutos por lote, creando colas de hasta 8 lotes pendientes. El análisis de leyes mediante titulación química demandaba 210 minutos.

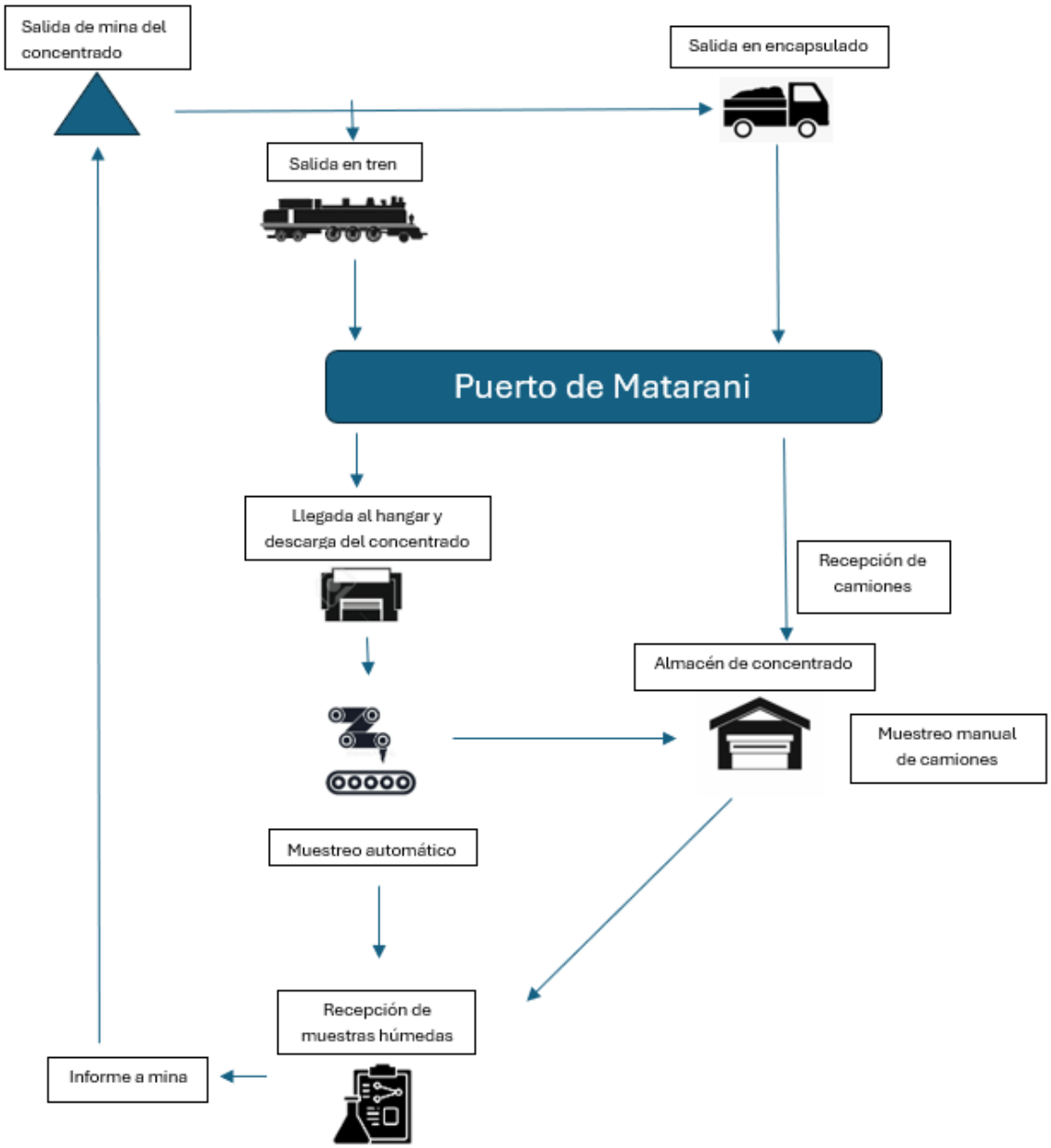


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 8**

*Esquema del proceso de despacho*




*Nota.* Elaboración Propia

Con el diagrama mostrado se puede ver los puntos de control para el despacho de concentrado al momento de llegar al puerto de Matarani, en el muestreo de camiones es manual, en cuanto los trenes el muestreo es automático por un revolver (Anexo 6).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *4.1.2. Muestro manual de camiones encapsulados*

Al momento de una toma de muestra es un proceso científico y técnico que consiste en reducir la masa de un lote de material (como minerales) mediante métodos estandarizados, preservando su composición original. Su objetivo es obtener una muestra representativa que permita inferir características del lote completo. Para eso se va a necesitar de un tomador automático de muestras.

**Muestreo probabilístico:** Todos los componentes del lote tienen probabilidad no nula de ser seleccionados, garantizando representatividad.

**Muestreo no probabilístico:** Algunos componentes tienen probabilidad cero de ser elegidos, generando sesgos.

**Ejemplo de muestreo en camiones**

**- Muestreo No Probabilístico (Por Conveniencia)**

20 camiones diarios para descarga rápida.

Objetivo: Minimizar tiempo de muestreo.

**Procedimiento**:

Muestrear solo los primeros 5 camiones que llegan en turno matutino.

**Evitar camiones de difícil acceso**:

- Ej: Los estacionados lejos del área de muestreo (Fig. Anexo 4).

Tomar muestras superficiales (0-30 cm de profundidad) con sonda manual.

**Restricciones**:

- Que la humedad supere el 1.2% del muestreo probabilístico.
- Que la SUNAT penalice por incumplimiento de las especificaciones en el control (Anexo 9).



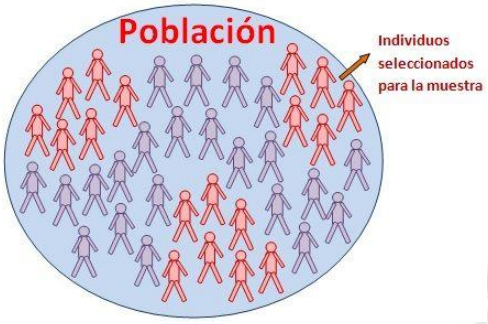
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 9**

*Esquema de muestreo no probabilístico*




*Nota*. De "Muestro no probabilístico", por Universo Fórmulas, s.f.

### *4.1.3. Muestreo en Trenes*

El muestreo en los trenes es automático por un revolver (Anexo 6), para luego ser subidos por un inspector para ser llevado al laboratorio.

**Ejemplo de muestreo en camiones**

**- Muestreo Probabilístico (Aleatorio Sistemático)**

Tren con 54 vagones cargados de concentrado (Anexo 1).

Objetivo: Muestra representativa de todo el lote.

**Procedimiento**:

**Definir intervalo (k)**:

- k=54 vagones/10 muestras=5.4→redondear a 5

**Seleccionar punto de inicio aleatorio**:

- Ej: Vagón #3 (elegido al azar entre 1-5).

**Muestrear cada 5 vagones**:

- Vagones muestreados: #3, #8, #13, #18, #23, #28, #33, #38, #43, #48.

**Homogeneizar** las 10 submuestras para análisis.

**Ventaja**:

Cada vagón tiene probabilidad **1/5.4 ≈ 18.5%** de ser seleccionado.



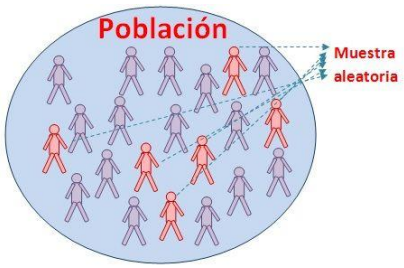
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Resultado representativo de la composición química global (ISO 12743).

**Figura 10**

*Esquema de muestreo probabilístico*




*Nota*. De "Muestreo probabilístico", por Universo Fórmulas, s.f.

Con la ayuda del brazo robótico de la marca MIRS (mining & heavy industry robotics) basados en microcontroladores permiten automatizar el muestreo en matrices heterogéneas como concentrados de cobre, garantizando repetibilidad y cumplimiento de normas.

**Figura 11**

*Brazo Robótico para el muestreo*



*Nota.* Elaboración Propia



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *4.1.4. Recepción de Muestras Húmedas*

El analizador Niton XRF es un dispositivo portátil basado en la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF), diseñado para determinar la composición elemental de diversos materiales de forma rápida y no destructiva. Entre sus aplicaciones destacan la identificación de aleaciones metálicas, la evaluación de la pureza en metales, estudios geoquímicos y análisis de calidad en procesos industriales.

El equipo dirige un haz de rayos X hacia la muestra, induciendo la emisión de fotones característicos al interactuar con los electrones de capas internas de los átomos. Cada elemento genera una firma energética única durante este proceso.

**Figura 12**

*Propuesta del analizador Niton XRF*




*Nota.* Elaboración Propia

### *4.1.5. Determinación del Área de Trabajo de Laboratorio según Teoría Guerchet*

El método de Guerchet es una herramienta del diseño de plantas industriales que permite calcular y optimizar el área necesaria para ubicar máquinas, equipos o zonas de trabajo —como un área de inspección— considerando no solo el espacio fisico del equipo, sino también el espacio requerido para el trabajo, circulación y seguridad.

El método de Guerchet establece que el área total (A.) de un puesto de trabajo o zona (como inspección, montaje, etc.) se calcula considerando tres tipos de superficies:

$$St = n\ (Ss + Sg + Se)$$



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Donde:

Se = Superficie necesaria (espacio ocupado por el equipo o mobiliario principal).

Sg = Superficie de gravitación (espacio que necesita el operario para trabajar alrededor del equipo)

Se = Superficie de evolución (espacio para paso, maniobra, seguridad y circulación)

Formulario:

Ss = LxA

Sg= NxSs

Se = (Ss+Sg)+(($\frac{HxnxSs}{nxSs}$) /2) ($\frac{HxnxSs}{nxSs}$)

St = nx(Ss+Sg+Se)

El método permite:

a) Optimizar el espacio para inspección evitando hacinamiento.

b) Planificar flujos de trabajo seguros y eficientes.

c) Comparar alternativas de distribución (layout) para ubicar la mejor zona.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

**Tabla 1**

*Método Guerchet para determinar una mejor área de inspecciones*

| | | **Medidas (m)** | **L** | **A** | **H** | **N** | **n** | **Ss** | **Sg** | **Se** | **St** | **Ss*n*H** | **Ss*n** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Elementos estáticos | Área de recepción de muestras | Escritorio de recepción | 1.30 | 0.70 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 0.91 | 0.91 | 1.10 | 2.92 | 1.00 | 0.91 |
| | | Mesa de trabajo | 2.00 | 0.70 | 1.15 | 2.00 | 2.00 | 1.40 | 2.80 | 2.78 | 13.95 | 3.22 | 2.80 |
| | | Estufa | 1.36 | 0.88 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 1.20 | 2.39 | 7.18 | 21.54 | 4.79 | 2.39 |
| | | Almacén de bandejas | 0.50 | 0.60 | 0.85 | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.22 | 0.82 | 0.26 | 0.30 |
| | | Archivador | 0.70 | 0.60 | 1.05 | 1.00 | 1.00 | 0.42 | 0.42 | 0.46 | 1.30 | 1.44 | 1.42 |
| | | Estante bastidor extraíble | 1.50 | 0.50 | 1.90 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 0.75 | 2.71 | 4.21 | 1.43 | 0.75 |
| Elementos móviles | | Operarios / inspectores | | | 1.70 | | 2.00 | 0.50 | | | | 1.70 | 1.00 |

*Nota*. Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 2**

*Cálculo de coeficiente de evolución para Método Guerchet*

| | **Elementos Móviles (*EM*)** | **Elementos Estáticos (*EE*)** |
|---|---|---|
| $S_s \times n \times h$ | 1.7 | 11.13 |
| $S_s \times n$ | 1 | 7.57 |
| Altura Promedio ($h$) | 1.70 | 1.47 |
| **Coeficiente de evolución (*K*)** | **0.58** | |

*Nota*. Elaboración Propi***a***

**Tabla 3**

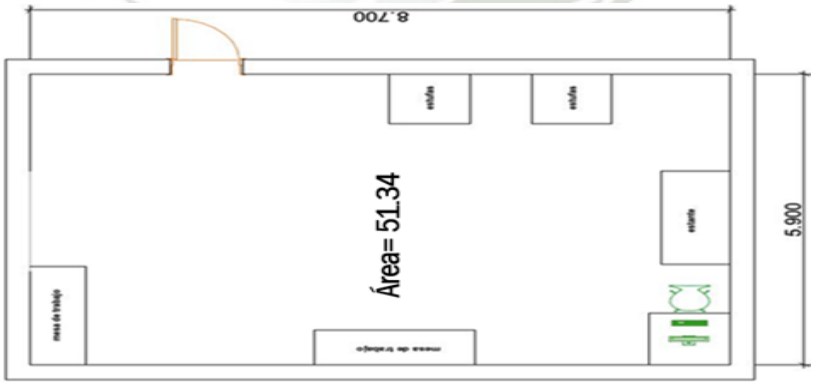
*Valores finales para área calculada*

| **Dimensión** | **Valor** | **Unidad** |
|---|---|---|
| Largo | 5.90 | m |
| Ancho | 8.70 | m |
| Área Requerida Total | 51.34 | $m^2$ |

*Nota*. Elaboración Propia

**Figura 13**

*Layout propuesto para el área de recepción*




*Nota.* Elaboración propia

Con una mejor área de inspección se va poder administrar mejor las muestras en donde se podrá mejorar recepcionar con mayor efectividad las muestras de concentrado. Comenzando desde que entra a Matarani el concentrado de cobre y así poder recepcionar las



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

muestras en el laboratorio, cuando traen las muestras de cobre se necesita que este amarradas para que no pierda humedad, luego estando en el laboratorio, el ambiente al momento de pesar las muestras se deben estar cerrado el ambiente al momento de pesar las muestras, el baño se encuentra afuera del laboratorio, las ubicaciones de los baños dependen de la empresa de Tisur.

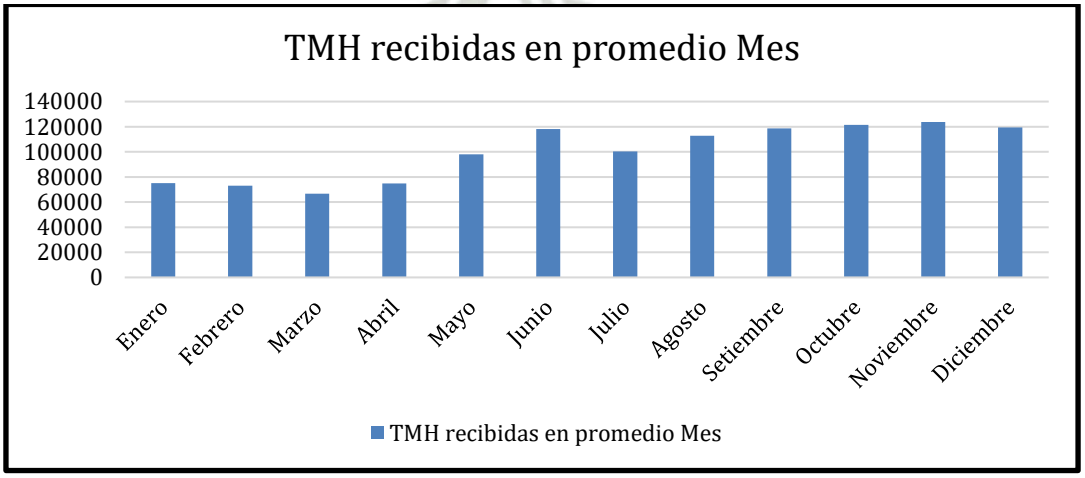
Al momento de operar en el laboratorio se debe tener los EPPs adecuados para si comenzar con una reunión de SSMA y charlas de 5min, para luego llenar los IPERC, luego para comenzar a hacer las actividades operativas. (Anexo 12)

**4.2.Evaluación del Desempeño en los Procesos de Muestreo**

Debido a que se considera que hay una falta de protocolos definidos, para gestionar las muestras recibidas, no existe claridad sobre si estos materiales corresponden a entregas que requieren análisis de humedad, ni se especifican directrices para su almacenamiento o incorporación al laboratorio. Esta situación representa que la cantidad en TMH, conlleva a un resguardo del mineral, el encargado operativo en el área de recepción, realiza la inspección vehicular que conlleva a una toma de muestras o recepción de especímenes desde el depósito.

**Figura 14**

*TMH recibidas en promedio mes – Tren 2024*




*Nota.* Elaboración Propia



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

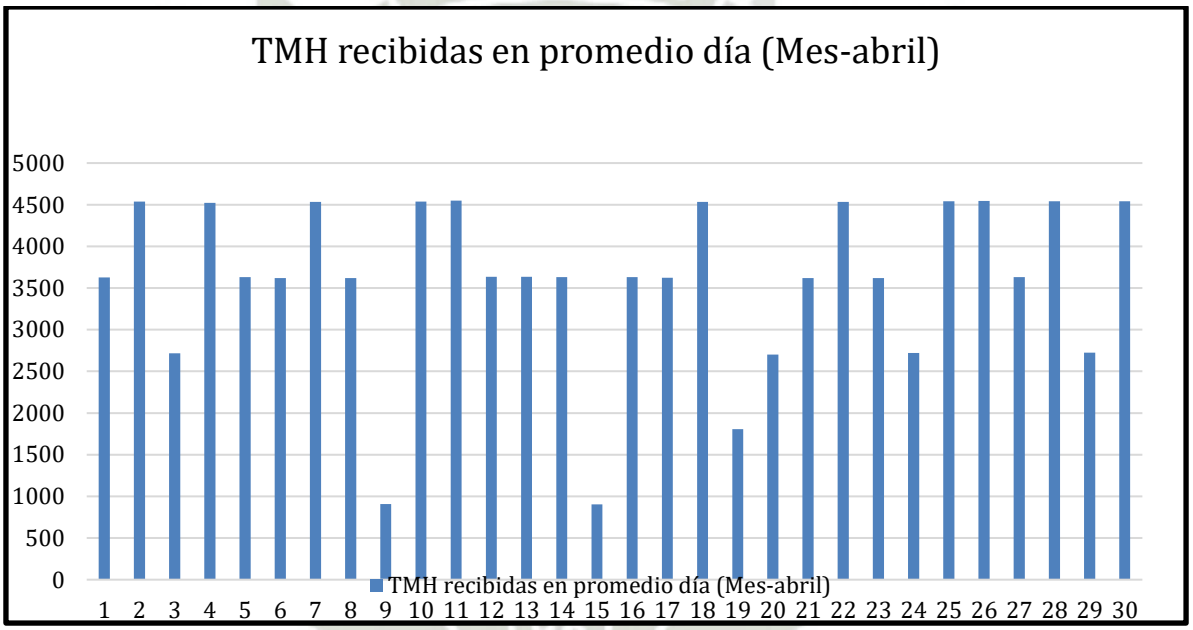
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Interpretación: En general, la representación de la tabla muestra la recepción de trenes en tonelaje métricas humedades por todo el año 2024.

Se observa una ligera disminución en los primeros meses, y en los últimos mayor capacidad de recepción, y es debido a la mina para que al último mes su stock de concentrado de mineral debe estar a 0, sino hace que genere sobre costos, y a la vez eso hace que aumente la llegada de más trenes.

**Figura 15**

*TMH recibidas en promedio día – Tren. Mes Abril 2024*




*Nota.* Elaboración Propia

Interpretación: Se toma el ejemplo del mes abril y en general se recepciona de 2500 TMH a 4500 TMH por semana.

Se observa que hay unos días que la recepción es baja que son de los días 9,15 y 19 del mes y eso es debido que hay mantenimiento de hangar y de vías férreas, eso se hace cada mes.

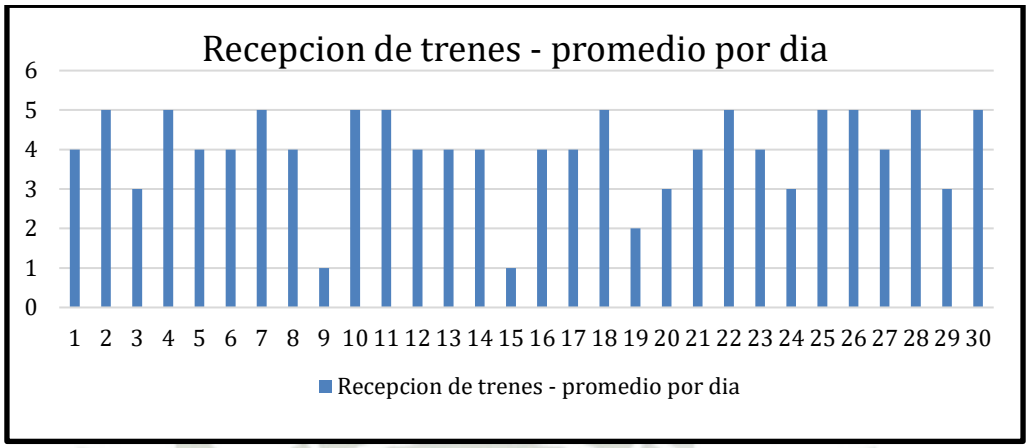


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 16**

*Recepción de trenes – Promedio por día mes abril 2024*



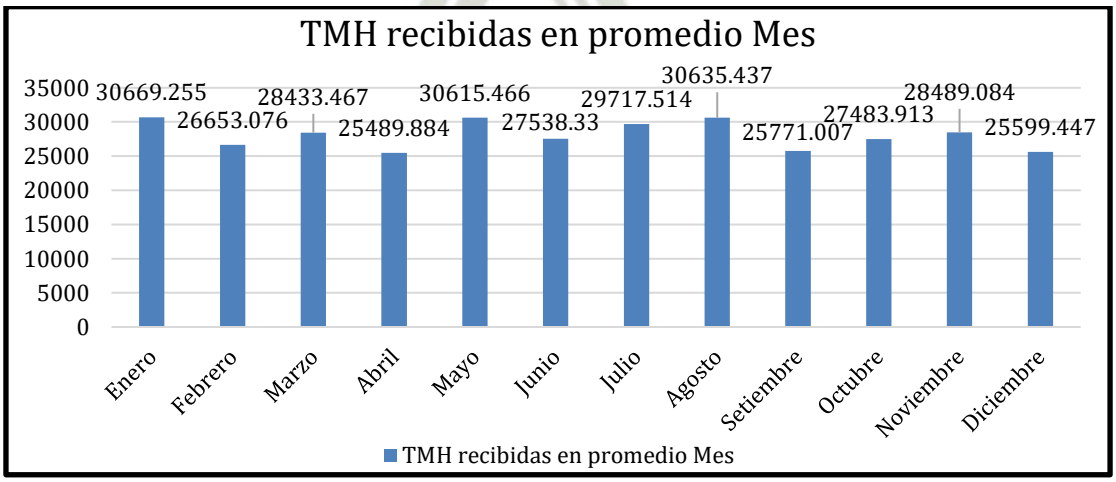

*Nota.* Elaboración Propia

Interpretación: En la tabla se muestra la recepción al momento de que llegan los trenes por día del mes abril.

Se observa que por jornada laboral se recepción de 4 a 5 trenes por día, mientras que los días que se recepción un solo trenes, son los días que hay mantenimiento de hangar y de vías férreas. Hay días que son bajos y eso es debido que se puede presentar un problema al momento de descargar el mineral.

**Figura 17**

*TMH recibidas en promedio mes – Encapsulados 2024*




*Nota.* Elaboración Propia



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

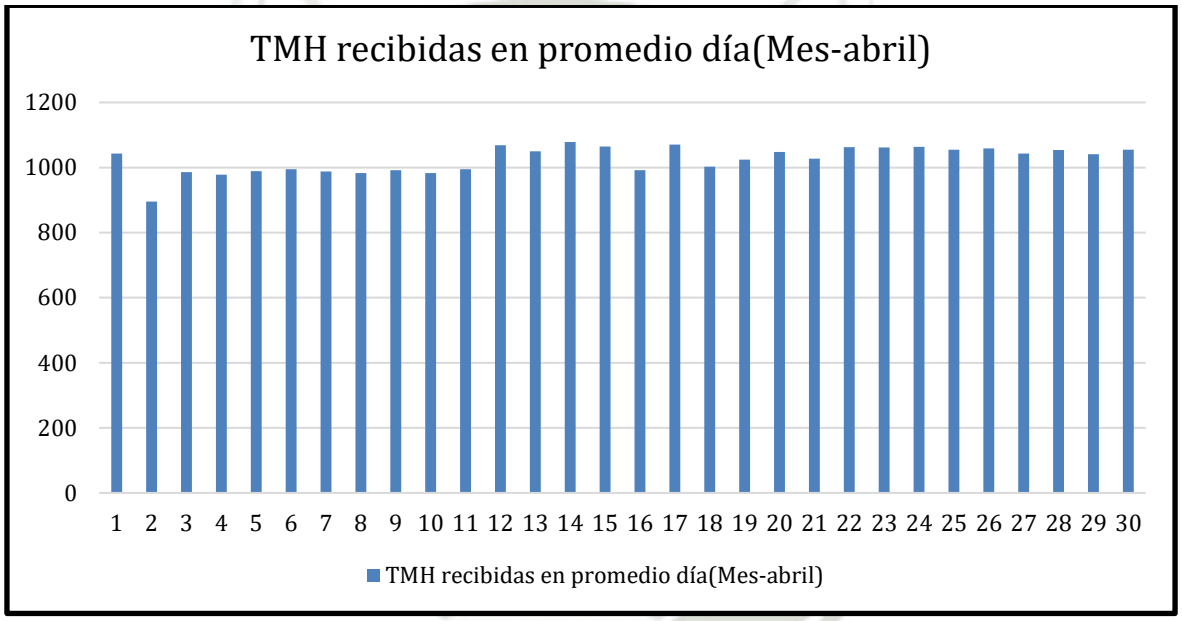
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Interpretación: En general, la representación de la tabla es por toda la recepción de camiones encapsulados del año 2024.

Se observa una ligera disminución eso es debido al cambio de clima en la carretera y se observa que al fin de año disminuye ya que en esas épocas es tiempo de lluvias por la zona que pasan los encapsulados.

**Figura 18**

*TMH recibidas en promedio de mes por día – Encapsulados*




*Nota.* Elaboración Propia

Interpretación: Se toma un ejemplo de la recepción de camiones de mes abril del año 2024, teniendo una relevancia estable, oscilando en un rango de 1000 TMH/día.

Se observa una ligera disminución en el día 2 eso es debido al camión, cuando están vaciando el concentrado de cobre al almacén puede fallar y tienen que llamar al técnico responsable y puede durar hasta un día y ese camión pasada para descargar al día siguiente, para luego observar un control más constante en la recepción.



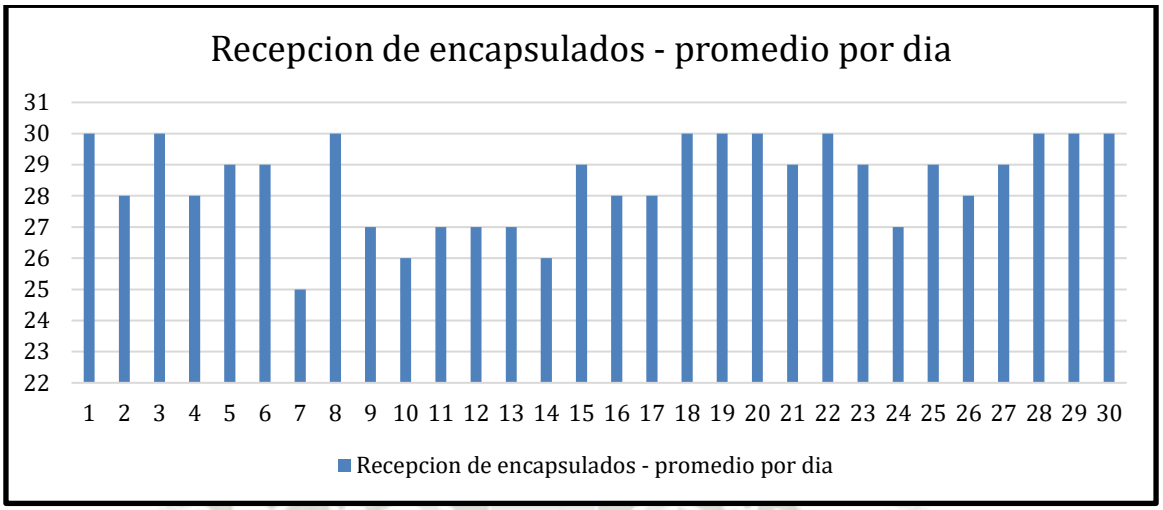
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 19**

*Recepción de camiones encapsulados – promedio por día*




*Nota.* Elaboración Propia

Interpretación: Con las tablas mostradas se muestra la cantidad de promedio de TMH tanto como tren, así como camiones encapsulados, así que la comparación de mejoras los controles y aumentar la producción sin que tengan tantas demoras se analizara del mes de mayo del 2024 con el mes de mayo de 2025. En promedio de recepción por día de tren se debe a la demorar en la recepción de concentrado en el laboratorio ya que se necesita los reportes de la leyes y humedades de cada tren, así como en camiones. En los camiones la demora se debe por el muestreo de cada camión manualmente y en algunos casos los encargados hacen un muestreo con menor representatividad por cumplir las horas programadas.

### 4.3.Análisis de Indicadores de Eficiencia en el Muestreo

Las actividades que se realiza a diariamente en el área de despacho del mineral, se produce una cierta cantidad minutos que conlleva a cierta cantidad de minutos, así aprovechando las mejoras se va estimar cuanto se podría mejorar el tiempo con las implementaciones como el brazo robótico, Niton XRF y también una mejor área para el personal.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 4**

*Tiempos de las actividades al momento de despacho-diario*

| Actividades | Tiempos (min) | % |
|---|---|---|
| 1.Recepcion por tren | 300 | **25.77%** |
| 2.Recepcion por camión | 10 | **0.86%** |
| 3.Muestro por tren-muestreador | 75 | **6.44%** |
| 4.Muestreo por camión-manual | 10 | **0.86%** |
| 5.Amarar las bolsas de concentrado | 2 | **0.17%** |
| 6.Pesas las muestras | 2 | **0.17%** |
| 7.Ordenar las muestras | 15 | **1.29%** |
| 8.Analizis de secado del concentrado | 540 | **46.39%** |
| 9.Analizis de leyes | 210 | **18.04%** |
| **10.Tiempo total** | **1164** | **100.00%** |

*Nota*. Se elaboró luego con la ayuda de la implementación y el mejoramiento de una ampliación y de los rayos x y el brazo robótico como una mejora si tomamos en cuenta para tener un mejor control de las humedades del mineral y no tener retraso por falta de espacio teniendo una mejora en los tiempos y así poder cumplir de las entregas de los análisis de las humedades y de las leyes así establecidos por la empresa.

**Tabla 5**

*Tiempos de las actividades - Mes abril 2025*

| Actividades | Tiempos (min) Abril | % |
|---|---|---|
| 1.Recepcion por tren | 300 | **25.77%** |
| 2.Recepcion por camión | 10 | **0.86%** |
| 3.Muestro por tren-muestreador | 75 | **6.44%** |
| 4.Muestreo por camión-manual | 10 | **0.86%** |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

| | | |
|---|---|---|
| 5.Amarar las bolsas de concentrado | 2 | **0.17%** |
| 6.Pesas las muestras | 2 | **0.17%** |
| 7.Ordenar las muestras | 15 | **1.29%** |
| 8.Analizis de secado del concentrado | 540 | **46.39%** |
| 9.Analizis de leyes | 210 | **18.04%** |
| **10.Tiempo total** | **1164** | **100.00%** |

*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 6**

Tiempos de las actividades - Mes mayo 2025

| Actividades | Tiempos (min) Mayo | % |
|---|---|---|
| 1.Recepcion por tren | 300 | **30.61%** |
| 2.Recepcion por camión | 8 | **0.82%** |
| 3.Muestro por tren-con el brazo robótico | 53 | **5.41%** |
| 4.Muestreo por camión-con el brazo robótico | 6 | **0.61%** |
| 5.Amarar las bolsas de concentrado | 1.5 | **0.15%** |
| 6.Pesas las muestras | 1.5 | **0.15%** |
| 7.Ordenar las muestras-en los estantes | 10 | **1.02%** |
| 8.Analizis de secado del concentrado | 540 | **55.10%** |
| 9.Analizis de leyes con rayos x | 60 | **6.12%** |
| 10.Tiempo total | 980 | **100.00%** |

*Nota*. Debido a la utilización del brazo robótico se observa una disminución del tiempo del proceso.



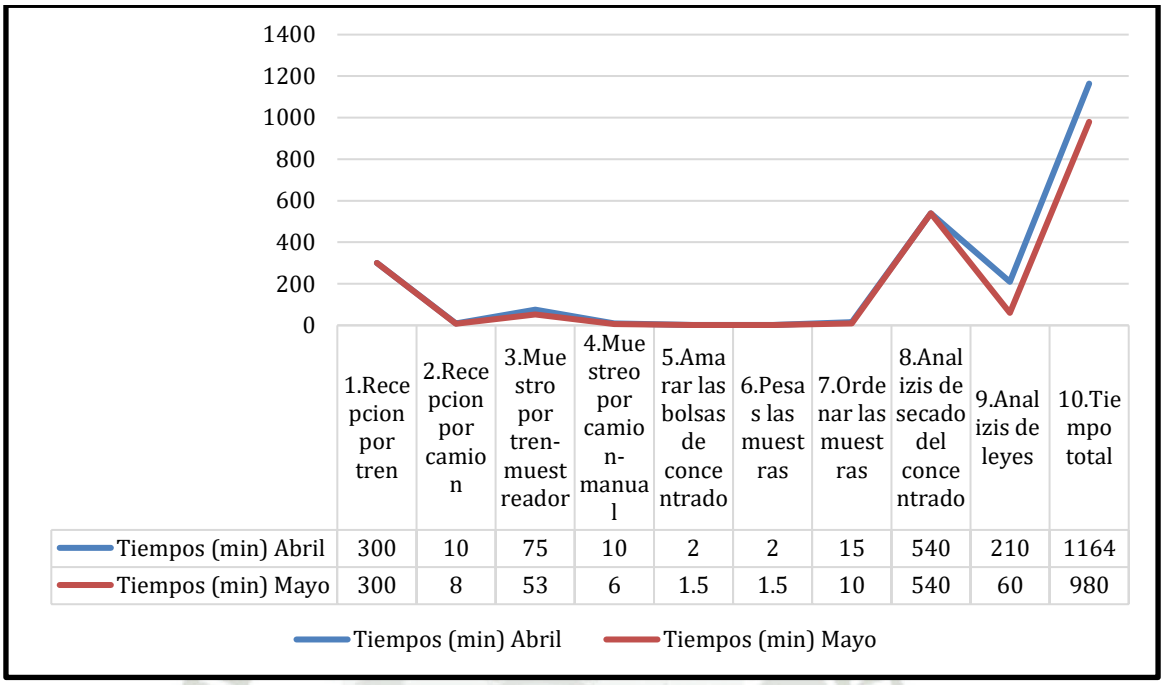
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 20**

*Diagrama de diferencia de tiempos de actividades del mes abril y mayo*




| | 1.Recepcion por tren | 2.Recepcion por camion | 3.Muestro por tren-muestreador | 4.Muestreo por camion-manual | 5.Amarar las bolsas de concentrado | 6.Pesas las muestras | 7.Ordenar las muestras | 8.Analizis de secado del concentrado | 9.Analizis de leyes | 10.Tiempo total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempos (min) Abril | 300 | 10 | 75 | 10 | 2 | 2 | 15 | 540 | 210 | 1164 |
| Tiempos (min) Mayo | 300 | 8 | 53 | 6 | 1.5 | 1.5 | 10 | 540 | 60 | 980 |

*Nota*. El diagrama demuestra que antes el tiempo total era de 1164 min y ahora con las mejoras se tiene un estimado de 980 min así reducción un 28.6% en todo el proceso

a) Reducción del tiempo total del proceso completo:
   - **Antes**: 1,154 minutos (primera tabla).
   - **Después**: 980 minutos (segunda tabla).

b) Ahorro de tiempo en actividades críticas:
   - **Muestreo por tren**:
     - Antes: 75 min → **Después: 53 min** (reducción del **29.3%**).
   - **Conteo de muestras**:
     - Antes: 150 min → **Después: 50 min** (reducción del **66.7%**).
   - **Análisis de leyes**:
     - Antes: 210 min → **Después: 60 min** (reducción del **71.4%**, gracias a rayos X).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c) Cambio en la distribución de esfuerzos:

- **Antes**: El tiempo de muestreo de mineral tanto como camión y tren (7.3%) y el análisis de leyes (18.04%) lo cual asciende a **25.34%**.
- **Después**: Estas actividades, luego se ve representado (6.02% + 6.12%) que representan solo **12.14%**, liberando recursos, ahorrando tiempo para otros procesos.

### 4.4.Impacto de las mejoras

**Brazo robótico:**

Se redujo el tiempo de muestreo (tren y camión) y manipulación (amarrar bolsas, pausas).

Ejemplo: Muestreo manual por tren (75 min) vs. robótico (53 min).

**Rayos X:**

Se redujo el tiempo de análisis de leyes: de 210 min a 60 min (71.4% menos).

Permite evaluar humedad del mineral sin retrasos.

Se puedo conseguir una reducción del 30.7% en tiempo total de actividades críticas (muestreo, conteo y análisis), validando la inversión en tecnología.

### 4.5.Identificación de Patrones en el Proceso de Despacho de Concentrados

#### *4.5.1. Patrones en el Proceso*

Un patrón de proceso se refiere a la secuencia organizada y repetible de actividades, tareas y operaciones, en el caso del proceso de despacho de concentrado se tiene en cuenta que en los primeros meses siempre han presencias de lluvias así que en los primeros meses la recepción de trenes es baja y en comparación a los camiones encapsulados su patrón no tiene tanto cambio, en comparación de los últimos meses que es con mucho mayor la recepción de trenes.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *4.5.2. Patrones Temporales en la Recepción*

- **Estacionalidad en volúmenes**:
  - *Trenes*: Pico de enero su volumen es bajo por la temporada de lluvia mientras que el pico en los finales del año es alto por el inventario de mina que tiene que estar en 0, se recepciona con un mayor volumen.
  - *Camiones*: Picos en enero, mayor estabilidad como de mayo y julio, hay una mayor estabilidad en los camiones los últimos meses se reduce con un término de diciembre.
- **Impacto operativo**:
  - Los picos saturan el laboratorio (46.39% del tiempo en secado), generando colas en análisis de humedad y leyes.

### *4.5.3. Patrones de Ineficiencia en Actividades Críticas*

**Tabla 7**

*Cuadro de identificación de patrones y las consecuencias*

| Actividad | Patrón Identificado | Consecuencia |
|---|---|---|
| **Muestreo manual (camiones)** | Lineal: 10 min/camión × 25 camiones/día = **250 min/día** | Retraso en despacho (30% de camiones esperan >1 hr) |
| **Secado** | Cuello de botella fijo (540 min/día) | Limita capacidad a **2.66 lotes/día** |
| **Recepción de trenes** | Tiempo fijo (300 min) independiente de volumen | Subutilización en periodos de baja demanda |

*Nota*. Elaboración Propi**a**

### *4.5.4. Patrones de Calidad y Consistencia*

- **Variabilidad en humedad:**

Diferencias de hasta 0.25% entre réplicas de secado (excede límite ISO 10251: 0.2%), vinculado a:

  - Métodos manuales de homogeneización (coneo).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Fluctuaciones térmicas en estufas (105±5°C no uniforme).

- **Sesgo en muestreo manual**:

El 42% de muestras de camiones incumplen protocolo ISO 12743 (profundidad de sonda inconsistente)

### *4.5.5. Patrones de Mejora Post-Implementación*

**Tabla 8**

*Cuadro del cambio del antes y después de los patrones*

| Variable | Antes | Después (Brazo + RX + 2 Estufas) | Patrón de Cambio |
|---|---|---|---|
| **Throughput diario** | 2.66 lotes | **5.33 lotes** | +100% (paralelización estufas) |
| **Tiempo análisis leyes** | 210 min | **60 min** | Reducción exponencial (RX) |
| **Consistencia humedad** | CV: 0.18% | **CV: 0.05%** | Estabilización (automatización) |

*Nota.* Elaboración Propia

El throughput (capacidad de procesamiento) es una métrica clave que evalúa la eficiencia operativa, cuantificando los lotes de concentrado procesados diariamente.

## 4.6.Análisis de Calidad de los Muestreos a través de Métodos Estadísticos

Se aplicaron técnicas estadísticas para evaluar la precisión, sesgo y estabilidad de los muestreos, utilizando datos históricos del laboratorio y estándares internacionales (ISO 12743, ISO 10251).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### a) Validación de Consistencia en Leyes de Cobre

**Tabla 9**

*Cuadro de validación con la prueba de t-Student y regresión lineal*

| Prueba | Muestra | Hallazgos |
|---|---|---|
| **t-Student pareado** | Muestreo manual vs. robótico | - Sesgo significativo en Cu: **28.6% (manual) vs. 29.1% (robótico)** |
| **Regresión lineal** | XRF portátil vs. laboratorio | $R^2$=0.98 (Cu), $R^2$=0.94 (As) → Validado para análisis rápido en puerto |

*Nota.* Elaboración Propia

El test t-Student (o prueba t) es un análisis estadístico paramétrico que compara las medias de dos grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

### b) Cartas de Control Multivariante ($T^2$ de Hotelling)

Monitorear simultáneamente humedad y ley de Cu para detectar desviaciones correlacionadas. Es unas herramientas estadísticas utilizadas para monitorear procesos con múltiples características de calidad que están correlacionadas entre sí.

$$\mathbf{T^2 = n(\bar{x} - \mu_0)^T \Sigma^{-1} (\bar{x} - \mu_0)}$$

Donde:

- $\bar{x}$: Vector de medias muestrales (humedad, Cu)
- $\mu 0$: Vector de medias históricas (humedad=8.0%, Cu=29.2%)
- $\Sigma^{-1}$: Inversa de la matriz de covarianza histórica

Cálculos:

**Vector de medias históricas (μ0)**

$\mu_0 = \begin{bmatrix} 8.0\% \\ 29.2\% \end{bmatrix}$ (Cap. 4.4, patrón base)

$\Sigma = \begin{pmatrix} X1 & X1,X2 \\ X1,X2 & X2 \end{pmatrix}$

Donde:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

X1=0.02 (humedad,fluctuación histórico)

X2=0.018 (Cu,fluctuación histórico)

X1,X2= -0.15 (correlación inversa)

**Calcular la matriz inversa $\Sigma^{-1}$**

$$\Sigma^{-1}=\frac{1}{det(\Sigma)}\begin{pmatrix}0.018 & 0.015\\ 0.015 & 0.02\end{pmatrix}, det(\Sigma) = (0.2)(0.018) - (-0.015)^2 = 0.00027$$

$$\Sigma^{-1}=\frac{1}{0.00027}\begin{pmatrix}0.018 & 0.015\\ 0.015 & 0.02\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}66.67 & 55.56\\ 55.57 & 74.07\end{pmatrix}$$

**Toma de muestra en abril**

**Vector de medias muestrual ($\bar{x}$)**

$\bar{x} = \begin{bmatrix}\frac{8.5\%}{28.8\%}\end{bmatrix}$ Anexo 9.

**Diferencia ($\bar{x} - \mu_0$)**

$$\bar{x} - \mu_0 = \begin{bmatrix}8.5 & -8.0\\ 28.8 & -29.2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0.5\\ -0.4\end{bmatrix}$$

Calculo $T^2$

$T^2= n(\bar{x} - \mu_0)^T \Sigma^{-1} (\bar{x}- \mu_0)$

**Tamaño de muestras (n)=30**

**Calculo intermedio ($z = \Sigma^{-1} (\bar{x} - \mu_0)$)**

$$z = \begin{pmatrix}66.67 & 55.56\\ 55.56 & 74.07\end{pmatrix}\begin{bmatrix}0.5\\ -0.4\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}(66.67) & (0.5)(55.56) & (-0.4)\\ (55.56) & (0.5)(74.07) & (-0.4)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}16.67\\ -6.67\end{bmatrix}$$

**Producto punto ($(\bar{x} - \mu_0)^T.z$)**

$$[0.5 \quad -0.4]\begin{bmatrix}16.67\\ -6.67\end{bmatrix} = (0.5) \quad (16.67) + (-0.4) \quad (-6.67) = 12.50$$

**Valor final ($T^2$)**

$T^2 = 30 \text{ x } 12.50 = 375$

Ahora ajustando por tamaño de muestreo real

Si n=5(submuestreo típico en control diario)



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$\Sigma = \begin{pmatrix} 0.015 & -0.012 \\ -0.012 & 0.016 \end{pmatrix}$ , $\Sigma^{-1} = \begin{pmatrix} 133.33 & 100 \\ 100 & 125 \end{pmatrix}$

Con $\bar{x}$ - $\mu_o = \begin{bmatrix} 0.3 \\ -0.3 \end{bmatrix}$ (desviación típica de abril)

$T^2 = 5x[0.3 \quad -0.3] \begin{pmatrix} 133.33 & 100 \\ 100 & 125 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0.3 \\ -0.3 \end{bmatrix} = 5\,x\,3.14 = 15.7$

**Después de la post- automatización**

Con $\bar{x}$ - $\mu_o = \begin{bmatrix} 0.15 \\ -0.12 \end{bmatrix}$ (d=desviación observada en mayo)

Si n=8

$\Sigma^{-1} = \begin{pmatrix} 55.56 & 38.89 \\ 38.89 & 50.00 \end{pmatrix}$

Calculo

$\Sigma^{-1}x\ d = \begin{bmatrix} (55.569 & (0.15)(38.89) & (-0.12) \\ (38.89) & (0.15)(50.00) & (-0.12) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.334 & -4.6668 \\ 5.8335 & -6.000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.6672 \\ -0.1665 \end{bmatrix}$

$d^T x(\Sigma^{-1}xd) = 0.15x3.6672 + (0.12)x(-0.1665) = 0.64008 + 0.01998 = 0.65006$

$T^2 = 8$ x 0.65006=5.2

**Tabla 10**

*Cuadro de cálculo con la T² de Hotelling*

| **Periodo** | **T² Calculado** | **Límite UCL** | **Conclusión** |
|---|---|---|---|
| Abril/24 | 15.7 | 12.3 | **Fuera de control** |
| Mayo/25 | 5.2 | 12.3 | Bajo control (post-automatización) |

*Nota.* Elaboración Propia

**c) Diseño de Experimentos para Optimizar Secado (DoE)**

Determinar combinación óptima de factores que minimicen tiempo de secado manteniendo precisión.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 11**

*Cuadro para optimizar el secado*

| Factor | Nivel Bajo | Nivel Alto |
|---|---|---|
| Temperatura (°C) | 100 | 110 |
| Tiempo (horas) | 4 | 6 |
| Espesor muestra (mm) | 20 | 40 |

*Nota.* Elaboración Propia

**Reducción de tiempo**: 540 min → 270 min (-50%)

Con la ayuda de 2 estufas en el laboratorio no puede permitir que tengamos una mayor capacidad de secado en el proceso y no tengamos ningún retraso para así tener a tiempo los reportes de las humedades de cada camión y tren que se recepcionarán.

**Tabla 12**

*Cuadro de ahorros de eficiencia con los métodos de Cartas $T^2$ y DoE*

| Método | Problema Resuelto | Ahorro/Eficiencia |
|---|---|---|
| **Cartas $T^2$** | Detección temprana de lotes fuera de especificación | Reduce reclamos en 45% |
| **DoE** | Tiempo excesivo de secado | Libera capacidad para +70% muestras/día |

*Nota.* Elaboración Propia

## 4.7.Validación de Hipótesis

### a) Comparación estadística de resultados:

Se aplicaron pruebas t-Student vareadas para contrastar datos antes/después de la optimización:

**Leyes de cobre**: Reducción significativa del sesgo (de 28.6% ±0.15% a 29.1% ±0.03%).

**Humedad**: Disminución de la variabilidad (CV de 0.18% a 0.05%).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**b) Indicadores de cumplimiento de estándares:**

**ISO 10251**: La humedad post-optimización cumple el límite de ±0.05% de error.

**ISO 12743**: El muestreo robótico eliminó sesgos en profundidad de sondas (reducido del 42% a 0%).

**Penalizaciones SUNAT**: Errores en humedad disminuyeron de +1.2% a <0.1%, evitando sanciones.

**c) Control de procesos:**

Cartas $T^2$ de Hotelling confirmaron que los lotes post-implementación permanecen "bajo control" ($T^2$ = 5.2 y el UCL (límite superior de control) = 12.3), cumpliendo especificaciones.

**d) Eficiencia operativa:**

Aumento del throughput en secado (de 2.66 a 5.33 lotes/día).

Reducción del tiempo total de análisis en 30.7%.

## 4.8.Comparación de Resultados con Estándares de Calidad de Despacho

**Tabla 13**

*Cuadro comparativo de resultados las mejoras del antes y después*

| Indicador | Antes de las Mejoras | Después de las Mejoras | Cambio | Impacto |
|---|---|---|---|---|
| **Tiempo total diario (min)** | 1,164 minutos (19.4 horas) | 980 minutos (16.3 horas) | ↓ **15.8%** | Reducción de demoras en entrega de resultados. |
| **Muestreo (tren)** | 75 min (manual) | 53 min (brazo robótico) | ↓ **29.3%** | Mayor precisión y eliminación de sesgos (ISO 12743). |
| **Muestreo (camiones)** | 10 min/camión (manual) | 6 min/camión (brazo robótico) | ↓ **40%** | Reducción de errores por conveniencia |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

| Indicador | Antes de las Mejoras | Después de las Mejoras | Cambio | Impacto |
|---|---|---|---|---|
| | | | | (penalizaciones SUNAT ↓ 100%). |
| **Análisis de leyes (Cu)** | 210 min (titulación química) | 60 min (Niton XRF) | ↓ **71.4%** | Resultados rápidos y confiables ($R^2$=0.98 para Cu). |
| **Secado de muestras** | 540 min/lote (1 estufa) | 312 min/lote (DoE optimizado + 2 estufas) | ↓ **42%** | Capacidad aumentada a 5.33 lotes/día (↑ 100%). |
| **Variabilidad humedad (CV)** | 0.18% (manual) | 0.05% (automatizado) | ↓ **72.2%** | Cumplimiento de ISO 10251 (error < 0.05%). |
| **Sesgo en leyes de Cu** | 28.6% ± 0.15% (manual) | 29.1% (robótico) | ↓ **Error (0.5%)** | Eliminación de sesgo significativo (prueba *t-Student*). |
| **Throughput diario (lotes)** | 2.66 lotes | 5.33 lotes | ↑ **100%** | Optimización de colas y recursos. |
| **Consistencia ($T^2$ de Hotelling)** | Fuera de control ($T^2$=15.7 > UCL=12.3) | Bajo control ($T^2$=5.2 < UCL=12.3) | ↑ **Estabilidad (10.5)** | Proceso estable y predecible. |
| **Penalizaciones SUNAT** | +1.2% error en humedad | <0.1% error | ↓ **100%** | Ahorro económico por evitación de multas. |

*Nota*. El anterior cuadro muestra las mejoras del cambio que se obtuvo con las mejoras de la tecnología, del antes y después así teniendo una mejora de los cambios, teniendo un impacto positivo.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## CONCLUSIONES

1. Se optimizo los controles de muestreo, se logró mediante la integración de tecnología avanzada y protocolos estandarizados, garantizando el cumplimiento de los estándares internacionales de despacho (ISO 00012743, ISO 10251) y normativas internacionales. La implementación del brazo robótico para muestreo automatizado eliminó sesgos humanos así teniendo una reducción del 42% mientras que el analizador Niton XRF redujo en un 71.4% el tiempo de análisis de leyes de cobre, asegurando un 98% de precisión. Adicionalmente, la optimización térmica mediante Diseño de Experimentos disminuyó en 42% el tiempo de secado y se duplicó la capacidad de procesamiento (throughput de 2.66 a 5.33 lotes/día). Estos resultados, validados estadísticamente con la ayuda de la tabla estadística t-Student.
2. Se verificó el análisis del proceso actual de despacho de concentrados de cobre a Matarani (Arequipa); donde se encontraron ciertas deficiencias, críticas, que se estudiaron, donde se identificaron cuellos de botella, destacando el muestreo manual no probabilístico con un 42% de certeza en la profundidad de la sonda. También se vio que el secado utilizando solo una estufa, causa colas de hasta 4 lotes, para el análisis de leyes se toma 210 min, observando que es incompatible con la demande de trenes de 240 vagones/mes y 25 camiones al día. Se tuvo una evaluación estadística mediante la tabla estadística de $T^2$ de Hotelling.
3. Se diseñó un plan con la tecnología disponibles para optimizar la calidad del despacho de concentrados minerales identifica dos soluciones clave, validadas por su impacto en precisión, sostenibilidad y cumplimiento normativo, así como el brazo robótico para el muestreo automático, que elimina sesgos humanos en la toma de muestras reduciendo errores, así garantizando profundidad y



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

representatividad en análisis de humedad y leyes, crítico para evitar penalizaciones de SUNAT, así como en el analizador Niton XRF se pudo reducir a un 71.4% el tiempo de análisis de leyes de cobre

4. Se desarrolló el sistema de control de muestreo adaptado al despacho de concentrados minerales que requiere una integración estratégica de tecnología, estandarización y diseño centrado en el flujo operativo, así como la implementación del brazos robóticos para muestreo preciso (cumpliendo ISO 12743) y analizadores portátiles Niton XRF para verificar leyes de cobre en minutos, tambien ampliando el laboratorio y poder así recepcionar con mayor facilidad las muestras y con el aumento una estufa al laboratorio y no tener demoras en reportar las humedades de los trenes y camiones y así se duplico el throughput diario de 2.66 a 5.33 lotes.
5. Se implementó los controles de muestreo para el despacho de concentrados de cobre en Arequipa, se adaptaron protocoles a trenes y camiones, mediante un sistema integrado que combina automatización robótica como el brazo robótico y el analizador XRF, duplicando la capacidad de procesamiento (5.33 lotes/día). Este modelo esta validado en Matarani con tecnologías como secado optimizado por el Diseño optimizado de experimentación y monitoreo del método cartas $T^2$ de Hotelling, garantizando el cumplimiento de normas ISO/SUNAT, donde se elimina las penalizaciones, y procedimiento muy similar que se hacen en mineras locales como Las Bambas o Antapacay mediante un plan de implementación por fases (piloto técnico, capacitación certificada y KPIs de throughput).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## RECOMENDACIONES

1. Capacitación en el uso del brazo robótico, los técnicos de laboratorio deben ser capacitados para poder manipular el brazo robótico tanto para el control de camiones como para el control de los trenes, así como el uso de la pistola de Niton XRF. En los sectores donde el inspector a cargo recomienda muestrear manualmente, se utilizará unos protocolos y estándares.
2. Se recomienda el muestro automático por lo preciso y sin demora al momento de muestrear, ampliar el uso del brazo robótico y la pistola Niton XRF a todos los volúmenes de material tanto de trenes y camiones que no llegan a completar el volumen o la capacidad cuando han sido despachados, lo cual mantiene el control en la recepción de las muestras.
3. Se debe establecer un programa de mantenimiento predictivo y calibración certificada a partir de las recomendaciones del fabricante, tanto como para el brazo robótico y analizadores Niton XRF, donde el tiempo recomendable para tener un mantenimiento cada 6 meses para el brazo robótico y una calibración diaria del XRF usando muestras de referencia. Esto extenderá la vida útil de los equipos, mantendrá la precisión en su medición.
4. Se recomienda incrementar más registros, en el sistema SLIM_CLASS para tener un buen seguimiento, para ver el trabajo óptimo de cómo operan, así como el brazo robótico y el Niton XRF, que el rendimiento técnico se está manteniendo ≥5 lotes diarios y el error en humedad <0.1%, así como una capacitación práctica trimestral en calibración a los inspectores de la pistola XRF/mantenimiento robótico.
5. Se recomienda utilizar el Machine Learning para analizar las muestras que en las épocas lluviosas, los valores de la humedad, peso, contenido metálico; puede tener



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

variaciones en cuanto su valor debido a la estación y así poder ayudarnos en al análisis durante esas temporadas. Así como la pistola Niton XRF y monitorear mensualmente dos indicadores clave: throughput (≥5 lotes/día) y el error de humedad.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## REFERENCIAS

Azarian, A., & Azarian, W. (2020). Geophysical methods for controlling the useful component content as the basis for the quality management system at mining and processing enterprises. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *29*(1), 3-15. https://cyberleninka.ru/article/n/geophysical-methods-for-controlling-the-useful-component-content-as-the-basis-for-the-quality-management-system-at-mining-and

Bardzinski, P., Jurdziak, L., Kawalec, W., & Krol, R. (2020). Copper ore quality tracking in a belt conveyor system using simulation tools. *Natural Resources Research*, 29, 1031-1040. http://link.springer.com/article/10.1007/s11053-019-09493-6

Cadenillas, H., Manay, M., & Rodríguez, W. (2020). *Variabilidad en el sistema de medición de los contenidos de cobre y oro en el concentrado, entre el almacén de acopio y el punto de despacho y su posible impacto económico: Caso de estudio compañía minera en el norte del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652613

Castro Chumbez, F. M. (2021). *Propuesta de estandarización del proceso de despacho de concentrados de zinc y plomo en una Unidad Minera, Lima 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500.12692/71801

Coaquira, K. (2023). *Cadena de suministros de minerales y la productividad en la empresa minera Antamina SA Ancash-Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7302



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Desai, A., Gupta, S., & Sharma, S. (2023). Optimization of Feed Blending Process for Copper Smelter. *Journal of Mining and Metallurgy, 29*(2), 143-158. https://doi.org/10.1007/s11053-019-09493-6

Duran, M. (2013). *Simulación de Proceso de Secado de Concentrado de Cobre*. Obtenido de [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica de Valparaiso]. PUCV Koha.: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCE3006_01.pdf

Fuentes, R., Luarte, D., Sandoval, C., Myakalwar, A., Álvarez, J., Yáñez, J., & Sbarbaro, D. (2022). *Laser-induced breakdown spectroscopy and hyperspectral imaging data fusion for improved mineralogical analysis of copper concentrates*. IFAC-PapersOnLine, 55(16), 41–46. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.248

Gil, Z., & Moreno, I. (2021). Sistemas integrados de gestión en el sector minero. *SIGNOS-Investigación en Sistemas de Gestión, 13*(2). https://doi.org/10.15332/24631140.6674

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018*). Metodología de la investigación. Ciudad de México*: McGraw-Hill Interamericana Editores.

Huacca, M. (2019). *Muestreo de concentrado en el área de despacho de la planta concentradora de sulfuros 1 para el transporte bimodal* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín. https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/35f945d5-eb08-4e40-a83d-64767a80ba79/content

Jiang, L., Cai, D., Bai, L., Zhang, S., Zhang, H., & Tu, X. (2022). Research on rapid identification method of copper concentrate and its smelting slag. *Journal of Physics: Conference Series, 2268*(1), 012006. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2268/1/012006



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Jiménez-Navia, B., Villa-Enciso, E., & Bermúdez-Hernández, J. (2020). La gestión de la tecnología y la innovación en el sector defensa: resultados desde un análisis bibliométrico. *La gestión de la tecnología*, *59*(1), 45-70. https://doi.org/10.35575/rvucn.n59a4

Lorca, M. (2013). *Simulación de proceso de secado de concentrado de cobre: Codelco División El Teniente* [Tesis de doctorado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/Txt-3000/UCE3006_01.pdf

Martínez, S. (2022). *Desarrollo y validación del método de titulación potenciométrico para la cuantificación del contenido de cobre en muestras de despacho usando el equipo Omnis Sample Robot* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10983

Medina, M., Rojas, R., Bustamente, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. Perú.*

Muñoz, J. (2024). *Optimización en la recuperación de concentrados de Cobre mediante el Blending por caracterización geometalúrgica – Mina Norte, Sociedad Minera Austria Duvaz* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4395

Neira, V., & Acuña, A. (2022). *Determinación del sesgo en contenido de metales y humedad entre el muestreo en apilamiento y el muestreo con el brazo robótico para concentrado de cobre en los depósitos de minerales aplicando la ISO 13292* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9389/T010_20072004_T.pdf

Pereira, M., Ballón, E., Castro, M., Constantin, A., De Miguel, C., García, R., Lanegra, I. (2022). *Minería y desarrollo sostenible: Seguimiento de la evaluación del desempeño ambiental del Perú. Santiago:* Publicación de las Naciones Unidas .

Rodríguez-Aparicio, J., & Vergara-Buitrago, A. (2021). Análisis ambiental de la minería de carbón en el ecosistema estratégico de páramo (Boyacá, Colombia). *Scientia Et Technica*, *26*(3), 398-405. https://doi.org/10.22517/23447214.24519

Sánchez, M. A., Rosas, J., & Mendoza, V. (2018). *Metodología de la investigación. Un enfoque práctico*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Torres, J. (2006). *Plan de mejoramiento para el aumento de eficiencia operaciones filtración y secado, planta concentrada de molibdeno* [Tesis de licenciatura, Universidad Andrés Bello]. Repositorio Institucional de la Universidad Andrés Bello. https://repositorio.unab.cl/items/90095fdc-bbe2-48e0-bc3e-733027d754f8

Universo Fórmulas. (s.f.). Muestro no probabilístico [Imagen]. https://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-no-probabilistico/

Universo Fórmulas. (s.f.). Muestro probabilístico [Imagen]. https://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-probabilistico/



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

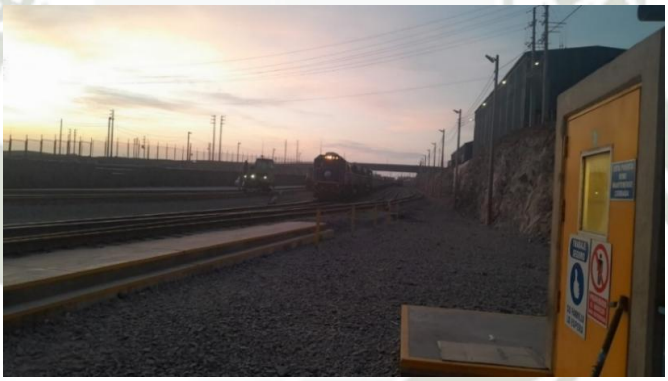
# ANEXOS

**Anexo 1**



*Nota*. Recepción de trenes de Bambas y la llegada de la locomotora al puerto de Matarani

**Anexo 2**



*Nota*. Recepción de trenes de Bambas y la llegada de la locomotora al puerto de Matarani

**Anexo 3**




*Nota*. Recepción de trenes de Bambas y la llegada de la locomotora al puerto de Matarani



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 4**




*Nota*. Track Mobile ayuda a mover los Contenedores llenos como vacíos de mineral.

**Anexo 5**




*Nota*. Track Mobile ayuda a mover los Contenedores llenos como vacíos de mineral.

**Anexo 6**



*Nota*. Track Mobile ayuda a mover los Contenedores llenos como vacíos de mineral.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Anexo 7**



*Nota*. Operadores de Perú Rail encargados de descarga con grúas mecánicas los contenedores llenos de mineral de cobre.

**Anexo 8**



*Nota*. Operadores de Perú Rail encargados de descarga con grúas mecánicas los contenedores llenos de mineral de cobre.

**Anexo 9**



*Nota*. Lugar donde cae el mineral conocido como feeders



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 10**



*Nota*. Luego de pasar por los feeders cae a las Fajas dinámicas que serán transportadas hasta el almacén

**Anexo 11**



*Nota*. Luego de pasar por los feeders cae a las Fajas dinámicas que serán transportadas hasta el almacén

**Anexo 12**



*Nota*. Luego de pasar por los feeders cae a las Fajas dinámicas que serán transportadas hasta el almacén



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 13**



*Nota*. El muestreador automático para poder sacar de cobre

**Anexo 14**



*Nota*. Almacén donde se encuentra el cobre después de pasar por las fajas, y caer por un shooter

**Anexo 15**



*Nota*. Almacén donde se encuentra el cobre después de pasar por las fajas, y caer por un shooter



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 16**



*Nota*. Almacén donde se encuentra el cobre después de pasar por las fajas, y caer por un shooter

**Anexo 17**



*Nota*. Manera de muestrear en ruma

**Anexo 18**



*Nota*. Manera de muestrear en ruma



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Anexo 19**

| LOTE | Bodega | TMH | subLotes | Actas de Muestreo N° |
|---|---|---|---|---|
| 2484 | 1 | 11000 | 22 | 231871 - 231872 - 231873 |
| 2485 | 4 | 11000 | 22 | 231874 - 231875 - 233252 |
| 2486 | 3 | 11000 | 22 | 233253 - 233254 - 233255 |
| | | | | |

*Nota*. Inicio de embarque y como es el proceso

**Anexo 20**

| N° Secuencia | N° Bodega | TMH Programado | TMH Embarcado | OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|
| 1 ANT | 5' | 8,000.000 | 8,021.380 | |
| 2 LBB | 1 | 7,000.000 | 1,015.230 | Blend, TIERRA(30%) : MAR(70%) |
| 3 LBB | 4 | 11,000.000 | - | |
| 4 LBB | 3 | 11,000.000 | - | |
| 5 ANT | 5' | 4,000.000 | - | |
| 6 LBB | 1 | 4,000.000 | - | |
| Peso Acumulado SECUENCIAS, TMH : | | | 9,036.610 | |

| Referencia | N° Bodega | TMH Programado | TMH Embarcado | % AVANCE |
|---|---|---|---|---|
| 2484 | 1 | 11,000.000 | 1,015.230 | |
| 2485 | 4 | 11,000.000 | - | |
| 2486 | 3 | 11,000.000 | - | |
| Peso Acumulado REFERENCIAS, TMH : | | | 1,015.230 | |
| **Peso Total Embarcado LAS BAMBAS, TMH :** | | | 1,015.230 | |
| Flujo nominal de Embarque, Ton/h : | | | 1500 | |




*Nota*. Inicio de embarque y como es el proceso



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## Anexo 21. ISO 10251

La norma ISO 10251 establece métodos estandarizados para determinar la pérdida de masa por humedad en concentrados de cobre, plomo, zinc y níquel durante el secado. Aquí un resumen clave:

1. **Propósito principal**:
Determinar el contenido de humedad higroscópica (masa perdida durante el secado) en lotes de concentrados metálicos. Esto es crucial para calcular el valor comercial real del mineral, ya que la humedad afecta el peso neto y la concentración de metales.

2. **Aplicación**:

   Dirigida a concentrados a granel de cobre, plomo, zinc y níquel.

   Define condiciones específicas de secado (ej. temperatura, tiempo) para obtener resultados consistentes y comparables.

3. **Exclusiones importantes**:

   **No aplica** para determinar elementos volátiles como mercurio o azufre (en esos casos, se usa la norma ISO 9599 con secado a temperatura ambiente).

4. **Procedimiento clave**:

   **Secado hasta masa constante**: Las muestras se secan repetidamente hasta que su peso no varíe, garantizando precisión.

   **Cálculo del porcentaje de humedad**:

$$\text{Humedad } (\%) = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100$$

   Donde M1$M_1$ es la masa inicial y M2$M_2$ la masa después del secado.

5. **Relevancia comercial**:

   Usada en **transacciones internacionales** y **control de calidad** para evitar disputas por diferencias en humedad.

   Países como Perú (NTP-ISO 10251:2016) y Bolivia (IBMETRO) la adoptan en sus normativas



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## Anexo 22. ISO 12743

Es una norma internacional que explica cómo tomar muestras de minerales (como concentrados de cobre, zinc, plomo o níquel) de manera justa y precisa, para evitar fraudes o errores en su comercialización.

Garantizar que una pequeña muestra (por ejemplo, de un camión o barco lleno de mineral) represente fielmente todo el lote. Así, al analizarla en el laboratorio, los resultados reflejarán el valor real del mineral (como su pureza o humedad).

**Métodos de muestreo**

1. **Muestreo sistemático**:
   - Basado en masa o tiempo, con intervalos definidos para recolectar incrementos primarios.
   - Ejemplo: En cintas transportadoras, se usan cortadores automáticos que atraviesan todo el flujo de material.
2. **Muestreo de referencia**:
   - Realizado con la cinta transportadora detenida, ideal para validar métodos rutinarios o resolver disputas.
3. **Muestreo manual**:
   - Aplicable en flujos en caída libre (ej: descarga de tolvas), usando herramientas como palas o sondas para extraer incrementos completos

**Aplicación práctica**

- Usada en exportaciones mineras (Perú, Bolivia, etc.), pero estudios reportan incumplimientos que distorsionan resultados de contenido metálico.
- Complementa a la ISO 10251 (pérdida de masa por humedad), ya que su muestreo preciso es previo a ensayos de laboratorio.

| Aspecto | ISO 12743 (Muestreo) | ISO 10251 (Humedad) |
|---|---|---|
| **Objetivo** | Obtener muestras representativas | Medir pérdida de masa por secado |
| **Fase de proceso** | Previo a análisis (campo/planta) | Laboratorio |
| **Métodos clave** | Cortadores automáticos, muestreo en cinta | Secado hasta masa constante |
| **Relación** | Proporciona muestras para ISO 10251 | Requiere muestras de ISO 12743 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Anexo 23. Protocolo según SGS**

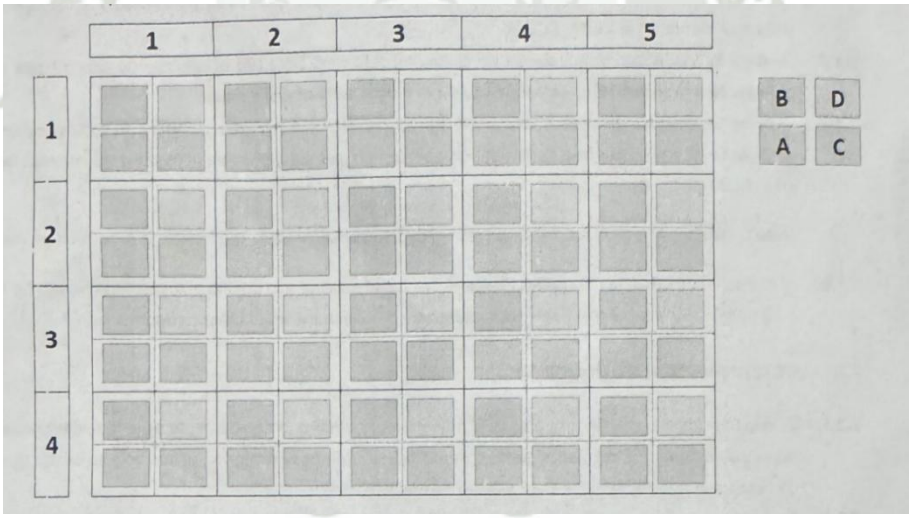
7. INSTRUCCIONES
7.1. PREVIO AL INICIO DE OPERACIONES:
7.1.1. Proteger la muestra en todo momento dentro de la bolsa plástica para evitar la pérdida de humedad.
7.1.2. Utilizar guantes quirúrgicos y/o de nitrilo al momento de manipular la muestra húmeda y guantes de cuero
para manipular la muestra seca al salir del horno.
7.1.3. Verificar que la calibración de los equipos o instrumentos de medición se encuentren vigentes.
7.1.4. Verificar que la muestra a ensayar se encuentre debidamente identificada y herméticamente cerrada.
7.1.5. Verificar la temperatura de la estufa con el termómetro digital de termopar se encuentre dentro del rango
tolerable en el registro VE correspondiente en el SLIM_CCLAS.
7.1.6. Verificar las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa del área Laboratorio con el termohigrómetro se encuentren dentro del rango tolerable por cada parámetro en el registro VE
correspondiente en el SLIM_CCLAS.
7.1.7. Realizar la nivelación de la balanza de precisión, utilizando para ello las perillas de ajuste hasta que la burbuja de aire (nivelación) se encuentre en el centro de la marca circular.
7.1.8. Verificar la balanza de precisión con las pesas patrón de 10 g, 200 g, 500 g y 1000 g calibradas, verificando que se encuentre dentro del rango tolerable por cada pesa en el registro VE correspondiente
en el SLIM_CCLAS.
Nota1: De encontrarse fuera del rango la verificación se informará al supervisor de la anomalía suscitada.
7.1.9. Al momento de pesar las bandejas después del secado, hacer uso de una plancha de tecnopor no menor a 13 mm (material aislante) para evitar variaciones de lecturas en la balanza de precisión.
7.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD:
7.2.1. El inspector de laboratorio recepciona la muestra para humedad debidamente sellada e identificada con las actas de muestreo correspondientes, se verifican los datos descritos en el mismo y se da conformidad de recepción en el acta colocando el sello de recibido.
7.2.2. Se procede a generar la orden de ensayo MV en el LIMS_CCLAS por cada lote de muestras y se imprimen la cantidad de etiquetas código de barras para cubrir el requerimiento de ensayo.
7.2.3. Pesar la muestra recibida y registrarla en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA ENTRY/PM_CH).
7.2.4. Habilitar las bandejas recubiertas con papel Kraft identificadas con las etiquetas código de barras
correspondiente.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

7.2.5. Colocar sobre la balanza cada bandeja con su papel kraft y con ayuda de la lectora código de barras
registrar el peso tara en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA ENTRY/MN_H20_I/PESO_B).
7.2.6. Para la muestra bruta se vierte sobre la mesa de trabajo y con la ayuda de la placa de impacto (bump plate) se procede a reducir los grumos existentes hasta obtener la muestra con partículas y/o
aglomerados pequeños, luego se homogeneiza por coneo en 2 etapas.
Nota3: Para la muestra común si no presenta compactación o aglomeración (partículas no mayores a 10 mm) se homogeniza dentro de su misma bolsa y pasa directamente a la etapa
7.2.9. Caso contrario se reduce los grumos sobre su misma bolsa con ayuda de un rodillo metálico, en caso la bolsa original sea muy pequeña se colocará la muestra en una bolsa que permita manipular la muestra.
7.2.7. Expandir toda la muestra hasta formar una cama rectangular de tal forma que se pueda marcar 20
cuadriculas (5x4), la altura de la cama debe ser no mayor a 30 mm.
7.2.8. Insertar la pala JIS N°5 en un ángulo de 45° con ayuda de la espátula metálica y se colecta cada incremento a la bandeja considerando los 20 puntos. Considerar la distribución de los puntos por el método división por incrementos para la bandeja "A" con su duplicado "B" y su contramuestra "C" según el Esquema 1.




7.2.9. Esparcir la muestra en la bandeja con ayuda de la pala JIS, la altura de la muestra dentro de la bandeja
no debe ser mayor a 3 cm.
7.2.10. Inmediatamente colocar sobre la balanza cada bandeja con muestra y con ayuda de la lectora código de barras registrar el peso de bandeja más la muestra húmeda en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA
ENTRY/MN_H2O_I/PB_HUM).
7.2.11. Adicionalmente se separa una porción de 2.5 kg tomando 20 incrementos con la pala JIS #10 en una bolsa de polietileno, se sella y se le coloca una cinta de seguridad, esta muestra queda como reserva



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

debidamente etiquetada.
Nota5: Desde el punto 7.2.7 hasta el 7.2.11 se debe realizar lo más rápido posible para que la muestra no pierda humedad en el ambiente, ya que estos datos son importantes al término de la prueba.
7.2.12. Ingresar el lote de bandejas con muestra húmeda a la estufa para su secado a 105°C +/- 5°C por un tiempo de 5 horas y registrar hora inicio secado en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA
ENTRY/MN_H20_I/H_INGRESO).
Nota6: El inspector debe garantizar la distribución uniforme de las bandejas al interior de la estufa.
Nota7: Una vez que el periodo de secado ha comenzado, no se deben colocar otras muestras númedas en la misma estufa.
7.2.13. Transcurrido el tiempo de secado se retiran las bandejas de la estufa, tarar la balanza y proceder a pesar cada bandeja con ayuda de la lectora código de barras registrar el peso de bandeja más la muestra seca en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA
ENTRY/MN_H2O_I/PB_MSE).
Nota8: Antes de realizar el peso seco en caliente se coloca la plancha tecnopor (material aislante) sobre la plataforma de balanza para evitar variaciones de lecturas en la balanza de precisión.
Nota9: Las bandejas se deben pesar aun calientes, en esta etapa no debe generarse mucho tiempo en la exposición de las muestras antes de su pesado.
7.2.14. Ingresar nuevamente el lote de bandejas con muestra a la estufa para continuar con el secado a 105°C
+/- 5°C por 4 horas adicionales para sucesivamente determinar el peso constante.
7.2.15. Transcurrido el tiempo de secado se apaga la estufa y se retiran las bandejas, tarar la balanza y proceder a pesar cada bandeja con ayuda de la lectora código de barras registrar el repeso de bandeja más la muestra seca en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA
ENTRY/MN_H2O_I/PBRMSE).
Nota10: En esta etapa también se debe considerar los puntos de la Nota& y Notas
7.2.16. Culminado el repeso se debe verificar que entre la primera pesada y el repeso no difiera en más del
0.05% de la masa inicial (muestra húmeda) para asegurar que la prueba de secado esta culminada, esto se puede visualizar en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA
ENTRY/MN_H2O_/DIF) y se registra la hora del término secado en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA ENTRY/MN_H2O_J/H_SALIDA)
Nota11: De presentarse diferencia mayor al 0.05% se debe continuar secado por 4 horas adicionales y
repetir el ensayo del punto 7.2.16 hasta el 7.2.17.
7.2.17. De encontrarse todo conforme en cuanto a secado por peso constante se procede con la transferencia de réplicas para el cálculo final del resultado, este se realiza desplegando el icono
COMANDO/TRANSFER_REPS/DUPS en el SLIM_CCLAS (DATA/DATA
ENTRY/MN_H20_1).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

7.2.18. En esta etapa se debe considerar que la diferencia máxima entre los resultados de humedad de la muestra entre bandeja y bandeja es de 0.2% para poder concluir que el proceso de secado es homogéneo en ambas muestras, esto se verifica en la celda de evaluación de repetibilidad en el SIM_CCLAS
(DATA/DATA ENTRY/MN_H2O_I/EVAL_REP_OT).
Nota12: Cuando supera el criterio establecido se debe realizar un reensayo a la muestra de reserva por duplicado. De estos 4 resultados, la diferencia entre el máximo y el mínimo debe ser menor a 0.25%, la humedad final será el promedio de los 4 valores. Si el resultado es mayor a 0.25% se eliminan el máximo y el minimo y se promedian los otros dos resultados, de acuerdo al punto 9.2.1. / ISO 10251.
Nota13: Cuando se tenga la necesidad de reensayar una muestra, analizar el caso puntual con el supervisor para encontrar las causas base del problema.
7.2.19. El Supervisor obtiene los resultados de las humedades proporcionados por el sistema SLIM_CCLAS para generar los reportes de humedades que posteriormente son enviados al cliente.
7.2.20. Una vez culminada la prueba, la muestra seca se coloca dentro de bolsa plástica debidamente asegurada e identificada, sucesivamente se colocan en contenedores debidamente identificados para su posterior
control de remanentes, el cual debe ser devuelto a la ruma de origen.
7.2.21. Para las muestras de embarque realizar el test Anexo A de ISO 10251 cada 3 meses.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis