



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**Optimización de la recuperación de cobre a partir de
minerales sulfurados con contenido de arcillas mediante
el proceso de flotación en la zona de Espinar – Cuzco**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

AUTORES

Edinson JARA SOLORZANO

Renato Carlos CARRANZA LÉVANO

ASESOR

Dr. Vidal Sixto ARAMBURÚ ROJAS

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Jara, E. & Carranza, R. (2024). *Optimización de la recuperación de cobre a partir de minerales sulfurados con contenido de arcillas mediante el proceso de flotación en la zona de Espinar – Cuzco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Renato Carlos Carranza Lévano
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47987414
URL de ORCID	NO APLICA
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Edinson Jara Solorzano
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44206941
URL de ORCID	NO APLICA
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Vidal Sixto Aramburú Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08608364
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7411-3866
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Daniel Florencio Lovera Dávila
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06450640

Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Luis Alfredo Orihuela Salazar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08004136
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	José Luis Vidarte Merizalde
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07397539
Datos de investigación	
Línea de investigación	NO APLICA
Grupo de investigación	NO APLICA
Agencia de financiamiento	SIN FINANCIAMIENTO
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Cusco Provincia: Espinar Distrito: Espinar Latitud: 14°56'45''S, Longitud: 71°18'41''W
Año o rango de años en que se realizó la investigación	DICIEMBRE 2022 – DICIEMBRE 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de Procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02 Minería, Procesamiento de Minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05



«Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho»

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el viernes 13, del mes de diciembre del 2024 siendo las 16:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. DANIEL FLORENCIO, Lovera Dávila
Mg. LUIS ALFREDO, Orihuela Salazar
Ing. JOSÉ LUIS, Vidarte Merizalde

(PRESIDENTE)
(MIEMBRO)
(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS MANCOMUNADA Titulada: «OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE MINERALES SULFURADOS CON CONTENIDO DE ARCILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN EN LA ZONA DE ESPINAR - CUZCO» presentada por Don: EDINSON JARA SOLORZANO, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero: **METALÚRGICO**.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....SATISFACCIÓN.....

Concluida la Sustentación de Tesis Mancomunada, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

.....QUINCE (15) APROBADO.....

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis Mancomunada por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**, a Don: **Edinson Jara Solorzano**.

Siendo las 17:00 horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis Mancomunada.

Lima, 13 de diciembre de 2024

Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
Presidente

Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Miembro

Ing. JOSÉ LUIS VIDARTE MERIZALDE
Miembro

Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS
ASESOR DE TESIS



«Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho»

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el viernes 13, del mes de diciembre del 2024 siendo las 16:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. DANIEL FLORENCIO, Lovera Dávila
Mg. LUIS ALFREDO, Orihuela Salazar
Ing. JOSÉ LUIS, Vidarte Merizalde

(PRESIDENTE)
(MIEMBRO)
(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS MANCOMUNADA Titulada: «OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE MINERALES SULFURADOS CON CONTENIDO DE ARCILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN EN LA ZONA DE ESPINAR - CUZCO» presentada por Don: RENATO CARLOS CARRANZA LÉVANO, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero: **METALÚRGICO**.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....SATISFACCIÓN.....

Concluida la Sustentación de Tesis Mancomunada, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

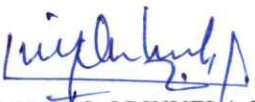
.....QUINCE (15), APROBADO.....

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis Mancomunada por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**, a Don: **Renato Carlos Carranza Lévano**.

Siendo las 17.00 horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis Mancomunada.

Lima, 13 de diciembre de 2024


Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
Presidente


Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Miembro


Ing. JOSÉ LUIS VIDARTE MERIZALDE
Miembro


Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS
ASESOR DE TESIS



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N.º001178-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis mancomunada, cuyo título es “OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE MINERALES SULFURADOS CON CONTENIDO DE ARCILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN EN LA ZONA DE ESPINAR - CUZCO” presentado por el bachiller **EDINSON JARA SOLORZANO** para optar el título profesional de Ingeniero Metalúrgico.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **5%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 4 de junio de 2024

Firma del Asesor 
Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURU ROJAS
DNI: 08608364



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N.º001178-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis mancomunada, cuyo título es “OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE MINERALES SULFURADOS CON CONTENIDO DE ARCILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN EN LA ZONA DE ESPINAR - CUZCO” presentado por el bachiller **RENATO CARLOS CARRANZA LÉVANO** para optar el título profesional de Ingeniero Metalúrgico.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **5%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 4 de junio de 2024

Firma del Asesor

Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS

DNI: 08608364

DEDICATORIA

RENATO CARLOS CARRANZA LÉVANO

Dedico con amor este trabajo a mis padres Carlos, Oriele y mi hermano Alejandro, pues sin ellos el camino hubiera sido más difícil, sus bendiciones a diario me protegen a lo largo de mi vida llevándome por el camino del bien y son parte de mi motivación para seguir adelante en mis proyectos.

EDINSON JARA SOLORZANO

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico este trabajo a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares para seguir adelante. A mis padres Francisco y Falconia, quienes son los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional y personal. A mis hermanos, este logro también es de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Por el presente, agradecemos al Dr. Alfonso Alberto Romero Baylón, Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica y al M.Sc. Victor Augusto Vega Guillén, Director de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, quienes brindaron su apoyo en la gestión para la presente tesis de titulación.

También queremos agradecer al Dr. Vidal Sixto Aramburú Rojas, profesor asesor quien contribuyó en forma acertada con su conocimiento y amplia experiencia en el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, nuestro agradecimiento a todos los docentes de la escuela por sus recomendaciones para hacer más enriquecedor el presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I.....	13
1. INTRODUCCION.....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Planteamiento del problema	15
1.2.1. Definición del problema	15
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificación	18
1.4.1. Teórica	18
1.4.2 Práctica	18
1.4.3. Metodológica	19
CAPÍTULO II.....	20
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Internacionales.....	20
2.1.2. Nacionales	22

2.2. Bases teóricas	23
2.2.1. Geometalurgia	24
2.2.2 . Caracterización Geometalúrgica.....	24
2.2.3 . El cobre.....	31
2.2.4. Caracterización del cobre	36
2.2.5. Proceso de flotación.....	49
2.3. Definición de términos	59
CAPÍTULO III	61
3. HIPÓTESIS Y VARIABLES	61
3.1. Las hipótesis	61
3.1.1. Hipótesis general	61
3.1.2. Hipótesis específicas.....	61
3.2. Las variables	62
3.2.1 Variable dependiente (Y).....	62
3.2.2 Variables Independientes (Xi)	62
3.2.3 Operacionalización de variables	62
CAPÍTULO IV	63
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	63
4.1. Área de estudio	63
4.2. Diseño de investigación.....	63
4.3. Población y Muestra	63
4.3.1. Tamaño de muestra.....	64
4.3.2. Selección de muestra	64
4.4. Procedimiento, Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	64

4.5. Análisis estadístico	66
Resumen de análisis químico	66
Diseño experimental factorial (Software Minitab)	67
Resumen descriptivo de las pruebas	67
Balance metalúrgico de las pruebas.....	68
Estudio del control de la Ley del Cobre	70
Coeficientes codificados	71
CAPÍTULO V	72
5. RESULTADOS	72
5.1. Presentación y análisis de resultados	72
5.1.1. Resultados de Hipótesis Específica N°1:	72
5.1.2. Resultados de Hipótesis Específica N°2:	73
5.1.3. Resultados de Hipótesis Específica N°3:	75
5.2. Resultados de puntos óptimos del modelo predictivo	76
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
7.1. Conclusiones.....	84
7.2. Recomendaciones	85
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
9. ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Valores de gravedad específica en minerales</i>	31
Tabla 2 <i>Análisis químico</i>	66
Tabla 3 <i>Máximo y mínimo de la variable</i>	66
Tabla 4 <i>Diseño experimental factorial</i>	67
Tabla 5 <i>Descripción de las pruebas</i>	67
Tabla 6 <i>Balance metalúrgico</i>	68
Tabla 7 <i>Datos para matriz del control de la Ley del Cobre</i>	70
Tabla 8 <i>Coeficiente codificado</i>	71
Tabla 9 <i>Optimización de respuesta: Y (% Rec Cu) Parámetros</i>	76
Tabla 10 <i>Predicción de respuestas múltiples</i>	77
Tabla 11 <i>Resumen de las pruebas</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Elementos de una caracterización geometalúrgica</i>	25
Figura 2 <i>Tipos de intercrecimientos (texturas) entre minerales.</i>	30
Figura 3 <i>Calcopirita (CuFeS₂).....</i>	38
Figura 4 <i>Bornita (Cu₅FeS₄).....</i>	39
Figura 5 <i>Covelina (CuS).....</i>	40
Figura 6 <i>Arsenopirita</i>	41
Figura 7 <i>Caolinita</i>	42
Figura 8 <i>Montmorillonita</i>	43
Figura 9 <i>Visión infrarroja convertida de Fourier (FTIR), en el procedimiento en la calcopirita de biolixiviación.</i>	45
Figura 10 <i>Caracterización mineralógica del yacimiento de cobre</i>	46
Figura 11 <i>Posibilidad de choque y conjunción de burbuja del aire de acuerdo a la magnitud de la partícula mineral.</i>	50
Figura 12 <i>Impacto de la dimensión de fragmento en la recuperación por alternancia.</i>	54
Figura 13 <i>Dosis de dispersores empleados en la alternancia de zinc de acuerdo a la magnitud de dispersión.....</i>	56
Figura 14 <i>Probabilidad de Leyes de Cu</i>	70
Figura 15 <i>Regresión lineal Hipótesis 01</i>	72
Figura 16 <i>Regresión lineal Hipótesis 02</i>	73
Figura 17 <i>Regresión lineal Hipótesis 03</i>	75
Figura 18 <i>Diagrama de Pareto (%Rec Cu).....</i>	76
Figura 19 <i>Predicción de respuestas múltiples</i>	78

Figura 20 <i>Contorno de %Rec Cu vs P80 (um), pH</i>	78
Figura 21 <i>Contorno de %Rec Cu vs NaSH (g/TM), pH</i>	79
Figura 22 <i>Contorno de %Rec Cu vs NaSH (g/TM), P80 (um)</i>	80

NOMENCLATURA

NaSH	Hidrosulfuro de Sodio
P80	Tamaño en micrones que indica el 80% pasante del producto
pH	Potencial de Hidrógeno
%	Porcentaje
USD	Dólares americanos
g/TM	Gramos por tonelada métrica
CuFeS ₂	Calcopirita
Cu ₅ FeS ₄	Bornita
CuS	Covelita
Cu ₂ S	Calcosina
ppm	partes por millón
UEA	Unidad Económica Administrativa
CuT	Cobre Total
XRD	Difracción de Rayos X
SEM	Microscopía Electrónica de Barrido
g/cm ³	gramos por centímetro cúbico
μm	micras
STD	Estándar
% Rec	Porcentaje de Recuperación

RESUMEN

En esta investigación de carácter experimental y aplicativo, se ha abordado el desafío de mejorar la recuperación de cobre a partir de un mineral sulfurado con contenido de arcillas en la etapa Rougher del proceso de flotación de la planta concentradora ubicada en Espinar, Cuzco. El propósito general de este trabajo se ha enfocado en aplicar mejoras a la eficiencia de la recuperación de cobre a través de la optimización de variables en el procesamiento. La metodología empleada implicó la recolección de muestras minerales para su posterior procesamiento en laboratorio. Se llevaron a cabo pruebas de molienda y flotación variando la dosificación del NaSH, el tamaño de partícula (P80) y pH. Se optimizaron estas variables utilizando software estadístico Minitab y Excel. El resultado del presente trabajo demuestra que al dosificar 150 g/t de NaSH en una prueba metalúrgica de flotación, con un P80 de 245 μm y un valor de pH igual a 10, se logró optimizar la recuperación de cobre desde 71.25% hasta un valor de 73.32%. Se estima un beneficio económico promedio anual de USD 9.66 Millones de dólares con un ratio de beneficio-costo igual a 1.97.

El modelo de Recuperación de Cobre obtenido es:

$$\begin{aligned} \text{Rec Cu (\%)} = & 23.0 - 0.1324 * \text{NaSH} \left(\frac{\text{g}}{\text{TM}} \right) + 0.2708 * \text{P80}(\mu\text{m}) + 4.81 * \text{pH} + 0.000026 \\ & * \text{NaSH} \left(\frac{\text{g}}{\text{TM}} \right) * \text{P80}(\mu\text{m}) + 0.01268 * \text{NaSH} \left(\frac{\text{g}}{\text{TM}} \right) * \text{pH} - 0.02625 * \text{P80}(\mu\text{m}) * \text{pH} \end{aligned}$$

Esta investigación ha proporcionado información valiosa sobre la recuperación de cobre en el tratamiento de minerales con contenido de arcillas. Además, es un impacto significativo en la eficiencia y la rentabilidad de la planta concentradora, contribuyendo así al progreso en la industria de la minería y en la producción sostenible de cobre.

Palabras claves: flotación, cobre, optimización, recuperación

ABSTRACT

In this experimental and application research, the challenge of improving copper recovery has been addressed by adding Sodium Hydrosulfide (NaSH) from the concentrator plant located in Espinar, Cuzco. The general purpose of this work has focused on applying improvements to the efficiency of copper recovery through the optimization of processing variables. The methodology used involved the collection of mineral samples for subsequent laboratory processing. Grinding and flotation tests were carried out varying the pH, particle size (P80) and NaSH dosage. These variables were optimized using Minitab Statistical and Microsoft Excel softwares. The result of this work evidences that by dosing 150 g/t of NaSH in a metallurgical flotation test, with a P80 of 245 μm and a pH value equal to 10, it was possible to optimize the recovery of copper from 71.25% to a value of 73.32%. An average annual economic benefit of USD 9.66 million is estimated with a benefit-cost ratio equal to 1.97.

The Copper Recovery model obtained is:

$$\begin{aligned} \text{Rec Cu (\%)} = & 23.0 - 0.1324 * \text{NaSH} \left(\frac{\text{g}}{\text{TM}} \right) + 0.2708 * \text{P80}(\mu\text{m}) + 4.81 * \text{pH} + 0.000026 \\ & * \text{NaSH} \left(\frac{\text{g}}{\text{TM}} \right) * \text{P80}(\mu\text{m}) + 0.01268 * \text{NaSH} \left(\frac{\text{g}}{\text{TM}} \right) * \text{pH} - 0.02625 * \text{P80}(\mu\text{m}) * \text{pH} \end{aligned}$$

This research has provided valuable information on copper recovery in the treatment of clay-bearing minerals. Furthermore, it has a significant impact on the efficiency and profitability of the concentrator plant, thus contributing to progress in the mining industry and sustainable copper production.

Keywords: flotation, copper, optimization, recovery

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

1.1.Introducción

Actualmente, el mundo de la minería está confrontando un desafío crítico: la optimización en la recuperación del cobre a partir de los sulfurados minerales con contenido de arcillas mediante el proceso de flotación. Este proceso es esencial en el procesamiento del cobre, un recurso natural de vital importancia en innumerables aplicaciones, desde la electrónica hasta la construcción de infraestructuras.

La industria minera cumple un fundamental rol cuando se trata del progreso de la economía y de la producción de las naciones, generando empleos directos e indirectos y contribuyendo al crecimiento de proyectos de infraestructura vial, habitacional e industrial. En este contexto, la optimización de la recuperación de cobre no solo tiene implicaciones económicas, sino que también tiene un directo efecto en la sostenibilidad y la responsabilidad social industrial.

El desafío principal radica en la presencia de arcillas en los minerales sulfurados de cobre, que pueden afectar negativamente la eficiencia del proceso de flotación al interactuar con los minerales de cobre. La gestión de esta interacción y la búsqueda de soluciones a fin de aplicar mejoras en la recuperación del cobre se han convertido en objetivos cruciales de investigación y desarrollo en la industria minera.

Al igual que en el ejemplo proporcionado, la optimización de los procesos en esta industria es clave para incrementar la productividad y la rentabilidad. La mejora de las propiedades de los materiales y equipos utilizados en la extracción de cobre, en este caso, en la flotación de minerales sulfurados con arcillas, puede reducir los tiempos muertos, los costes para producir y elevar la rentabilidad de las empresas mineras.

En este sentido, el estudio investigativo y el avance en la optimización de la recuperación de cobre desempeñan un papel crítico en la optimización de la efectividad en planta concentradora y en el aumento de la producción de cobre, contribuyendo así al progreso sostenible de la industria de la minería y al cumplimiento de los estándares ambientales y sociales.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Descripción del problema

El diseño de un procedimiento de flotación es esencial para los ingenieros que operan a nivel industrial, ya que permite emular procesos físico-químicos y aplicarlos en el ámbito minero. Por lo tanto, resulta crucial comprender las razones detrás de la planificación de estos procedimientos, así como su interacción con las operaciones fundamentales en el campo de la ingeniería. La planificación de procedimientos es un requisito previo para la simulación de procesos físico-químicos, los ajustes de parámetros en el nivel piloto son las herramientas que permiten a los estudiantes comprender mejor las comprobaciones de la alternancia en el laboratorio. Esto es debido a que estas pruebas permiten la evaluación simultánea de todas las variables, incluyendo sus interacciones. En consecuencia, en el rubro del proceso de los minerales, al igual que en las demás industrias, la tendencia global es perfeccionar la totalidad de los procedimientos implicados.

El método de recuperación de los minerales está compuesto principalmente de operaciones, reactivos químicos y equipo. Es por ello que, en todos estos componentes, se deben realizar perfeccionamientos utilizando técnicas y métodos adecuados. El perfeccionamiento del proceso de flotación implica la cuantificación del rendimiento del procedimiento a través de un adecuado patrón el cual vincule la recuperación y/o calidad del mineral valioso con las variantes que se puedan controlar en el proceso. Durante el procedimiento de las pruebas, todas las variantes tomadas en cuenta no son independientes de las otras, debido a que interactúan dentro de ellas. Es por ello que, el desafío principal reside en establecer una táctica sólida para las comprobaciones experimentales, capaces de permitir la identificación de interacciones dentro de las variantes. Dado al alto costo asociado con las pruebas, es sumamente importante obtener resultados precisos con la menor cantidad posible de comprobaciones experimentales.

En plantas para la concentración del cobre en este país, las cuales llevan a cabo procesos de minerales oxidados y sulfurados, la idea sería tener minerales sulfurados que puedan flotar, pero a menudo se encuentran minerales con cobre oxidado los cuales son difíciles de flotar. El propósito principal en plantas para la concentración del cobre de una empresa minera en Cuzco, es lograr una recuperación de cobre que justifique los costos del proceso. En las plantas que tratan minerales sulfurados que contienen óxidos, en la actualidad se obtienen bajas recuperaciones, por lo que se deben llevar a cabo pruebas de flotación adicionando NaSH en distintas dosificaciones a fin de aplicar mejoras en la recuperación del cobre (Abril, 2016).

La atmósfera terrestre ocasiona un impacto significativo en las rocas cercanas a la superficie, generando cambios sustanciales. Particularmente, los minerales de valor muestran una marcada propensión a disolverse en ambientes oxidantes. Esta característica se manifiesta en todos los depósitos de cobre en Perú, que presenta una zona rica en óxidos y otra rica en sulfuros. Entre los minerales comunes se encuentran la Calcopirita (CuFeS_2), Bornita (Cu_5FeS_4), Covelina (CuS) y Calcocita (Cu_2S).

Un ejemplo específico es la Calcopirita (CuFeS_2), uno de los minerales de cobre más abundantes y que comprende aproximadamente el 70% de las reservas globales de cobre conocidas. La Calcopirita no solo es el mineral predominante entre los sulfuros de cobre, sino que también es el más estable debido a su estructura cristalina (red tetragonal centrada en las caras). Asimismo, es el mineral más resistente a los procesos físico-químicos. En la práctica actual, la explotación del cobre partiendo de los minerales sulfurados de Calcopirita implica someter los minerales a una operación de flotación por espuma para obtener un concentrado de los sulfuros del metal valioso. Posteriormente, este concentrado se funde y se somete comúnmente a electrorrefinación para obtener el metal de cobre. (Lovera et al., 2008)

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema general

- ¿Cómo mejorar la recuperación de cobre en la etapa de flotación Rougher en un mineral con presencia de arcillas?

1.2.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye el uso de Hidrosulfuro de Sodio (NaSH) en la recuperación de cobre en la etapa de flotación rougher?
- ¿Cómo el tamaño de partícula (P80) influye en la recuperación de cobre en la etapa de flotación Rougher?
- ¿Cómo la variación del pH influye en la recuperación de cobre a nivel laboratorio?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Mejorar la recuperación de cobre en la flotación Rougher del mineral con contenido de arcillas optimizando las variables independientes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la adición de dosificación del reactivo Hidrosulfuro de Sodio (NaSH) necesaria para mejorar la recuperación de cobre en la etapa Rougher.
- Determinar el tamaño de partícula (P80) necesario para mejorar la recuperación de cobre en la etapa Rougher.
- Determinar el pH necesario para mejorar la recuperación de cobre en la etapa Rougher.

1.4. Justificación

1.4.1 Teórica

Este estudio investigativo se concentra en identificar las condiciones perfectas de acumulación las cuales facilitan la realización del protocolo de alternancia de secuencia de especies basándose en los polimetálicos minerales, adquiriendo un efectivo trato metalúrgico en el proceso del mineral. De la misma manera, el perfeccionamiento de la dosificación de NaSH, tamaño de partícula (P80) y pH en pulpa incide de manera positiva en el metalúrgico performance de tales acumulados, es por lo que la recuperación de cobre incrementará reduciendo el porcentaje de impurezas y contaminantes, ocasionando con su protocolo, un efecto favorable en la economía.

1.4.2 Práctica

A través de identificar las especies, se busca ofrecer la información requerida con el fin de que toda labor ingresada al procedimiento de acumulación se encuentre representada para optimizar el comportamiento metalúrgico de los acumulados. Así mismo anticipar su actitud en las distintas fases de su proceso. En la misma forma, liberar el mineral en gran medida se relaciona con texturas de los minerales de la mena, con lo que se pretende suministrar datos con la finalidad de aplicar mejoras a la exploración de mena y proceso del mineral, ocasionando incremento en las ganancias económicas empresariales.

La relevancia de esta investigación estará enfocada en indagar la labor de la mineralogía, a fin de perfeccionar la recuperación de cobre en el procedimiento de alternancia del mineral polimetálico en las zonas Altoandinas, evaluando los parámetros clave, pues ayudará en la mejora de la calidad de sus acumulados los cuales las empresas tienen como finalidad, que sean competentes en términos de comercio; así mismo, incrementará las ganancias y la rentabilidad anual. Del mismo modo, optimizará la excelencia en el modo de vivir de las comunidades vecinas a la construcción de carreteras, establecimientos de atención médica y educativos, además de áreas de esparcimiento.

1.4.3 Metodológica

Explicar por qué la flotación es el método elegido para el procesamiento de minerales sulfurados con contenido de arcillas. Puede basarse en la eficacia demostrada de la flotación en situaciones similares o en la disponibilidad de equipos y conocimientos técnicos en la zona.

Detallar cómo las características geológicas de la Zona de Espinar - Cuzco respaldan la elección de la flotación como método óptimo y cómo se relacionan con la presencia de minerales sulfurados y arcillas.

Justificar la disponibilidad de los medios requeridos a fin de realizar experimentos de flotación, como la disponibilidad de laboratorios o instalaciones de procesamiento, así como la capacitación técnica del personal.

Comparar la flotación con otros métodos posibles y argumentar por qué la flotación es preferible en este contexto específico.

Referenciar investigaciones previas o estudios que han utilizado con éxito la flotación en situaciones similares para respaldar la elección metodológica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Internacionales

Aburto (2020), autor del estudio que lleva por nombre “Utilización de ozono con el fin de disminuir las leyes de arsénico en concentrados producidos durante procesos de flotación en sulfuros de cobre”, propuso en su investigación estudiar la reacción del ozono en procesos de flotación donde se obtiene concentrados de cobre con cantidad considerable de arsénico, mayor a 500 ppm. A fin de desarrollar esta investigación se hizo uso de la metodología de tipo explicativa, resultando de ella que la flotación con ozono a un pH igual a 3 genera concentrados de cobre con menor contenido de arsénico cuyas recuperaciones son de hasta 92.16% para el cobre y de 18.21% para el arsénico. Concluyendo así que los resultados estadísticos del estudio son alentadores y sugieren que la prueba con el ozono a pH 3 puede ser un modo efectivo para disminuir la sustancia del arsénico en compuestos de cobre.

Morelly (2022) autor del ensayo titulado “Optimización del diseño en planta de la recuperación de óxidos de cobre por medio flotación espumante.” El propósito de este experimento se basó en estudiar el impacto de la interacción superficial del sulfuro de sodio en la malaquita. Para desarrollar esta investigación se utilizó una metodología de tipo investigativa documental, donde se revisaron diferentes investigaciones previas. En el desarrollo se obtuvieron los siguientes resultados, la recuperación del cobre pasó de 49% a 67%, en cuanto al motivo de acumulación se trasladó de 2.79 a 6.4, finalizando con el enriquecimiento que se trasladó de 0,4 hasta 5,4. Evidenciando así que el innovador esquema del circuito de flotación permite mejorar la recuperación y concentración de óxido del cobre, partiendo de cambios en las variables de molienda, aireación y, finalmente, variaciones en reactivos y dosis en la fase de alternancia. Concluyendo así que el empleo monitoreado del sulfuro sódico ha permitido el incremento en el rescate del cobre, debido a que los principales componentes de ganga se basan naturalmente en carbono, siendo de esa manera más selectivo

para el aumento de la hidrofobización de las partículas y el proceso, al mismo tiempo que los índices metalúrgicos de planta.

Toro (2020) autor del trabajo de grado para la titulación de doctor titulado, “Perfeccionamiento de criterios para extraer componentes partiendo del mineral en condiciones ácidas” cuyo objetivo fue presentar los desafíos y soluciones a inconvenientes que enfrenta la inmensa explotación minera de cobre chilena. Los principales problemas son la contaminación ambiental, la falta de diversificación de las extracciones y el uso de recursos no aprovechados. Para su investigación, el autor utilizó una metodología de tipo experimental llevada a cabo en dos etapas, la primera la preparación mineral y la segunda fue el proceso de lixiviación. Es posible estimar, basándose en los resultados obtenidos de este estudio investigativo, que es viable la extracción de componentes valiosos partiendo del mineral refractario a procedimientos habituales, sumando adecuados aditivos (como agua de desecho, agua marina, MnO_2 , Fe^{2+}), es así que el autor logra concluir que, en un ambiente en el que, la temperatura y la presión son normales, solamente la acumulación del cloruro dentro del procedimiento, actúa con un significativo impacto al extraer el cobre de la calcosina.

Ricaldi, (2021) “Proyecto y confrontación de los fraccionales controladores en bancos con celdas y un soporte de alternancia en métodos para extraer el cobre” el objetivo propuesto por el autor fue proyectar una verificación de fraccional PID con fraccional y adaptativa verificación mediante el patrón referencial, estableciendo la ganancia de los dos verificadores con PSO algoritmo, realizando investigación de tipo experimental descriptiva, los resultados obtenidos del desarrollo de esta investigación permiten observar una realmente significativa ventaja en desempeño, específicamente con un PIF entero y un control por modelo de referencias entero. Concluyendo así es importante desarrollar en un futuro el tema de cuantificar los índices de implementación, al igual que probar los controles como el fraccional predictivo o dedicarse a modelos no lineales en la planta para asignar así controles no lineales.

2.1.2 Nacionales

Solano (2020) autor de la tesis titulada “Perfeccionamiento del recorrido de desintegración del plomo-cobre en planta de concentración Berna II - Compañía Minera Casapalca S.A.”- UEA Americana, cuyo objetivo fue optimizar las operaciones de la Planta Concentradora de Berna II mediante la investigación y la aplicación a nivel industrial de técnicas de flotación mejoradas, utilizando una metodología de tipo descriptiva, llevando a cabo una investigación en el laboratorio para la identificación a nivel industrial, resultado de esto es la optimización de parámetros de flotación incluyendo la concentración de reactivos, el pH y el tiempo de flotación, evaluando la eficiencia de las técnicas de flotación mejoradas. La conclusión a la que llegó el autor es que las técnicas de flotación mejoradas pueden incrementar la recuperación del cobre y plomo en Planta Concentradora Berna II. Las técnicas de flotación mejoradas se aplicaron con éxito a nivel industrial y se espera que produzcan ahorros significativos para la compañía.

Salas (2020) con su trabajo investigativo titulado “Perfeccionamiento en el procedimiento de alternancia a fin de aplicar mejoras en la restauración de minerales compuestos del cobre en planta de concentración de CIEMSA Empresa-Minera - Unidad El Cofre – Paratía-Puno” definió como objetivo general, perfeccionar el procedimiento de alternancia de minerales compuesto del cobre en planta de concentración de CIEMSA empresa minera, unidad El Cofre, distrito Paratía en Puno. Para fines de desarrollar este estudio fue empleado un método investigativo experimental en su clase a fin de perfeccionar las variantes propuestas que permiten una intervención en el procedimiento de alternancia. Según resultados y siguiendo los formulismos en comprobaciones de alternancia, permitió establecer que la actuación del impacto de colector M-11 es 0.066 g/Tn con malla -200 y granulometría 69.38 % con lapso de alternancia 60 minutos en todas sus distintas fases, de lo que se obtuvo 83.81 % de recuperación del Cobre con una excelencia de más de 30%. concluyendo así que, el procedimiento de alternancia de minerales compuestos del cobre se puede mejorar significativamente mediante el uso de técnicas de optimización. Se espera que los resultados del estudio investigativo aporte a mejorar la efectividad en planta concentradora y aumentar la generación del cobre.

Choque y Ramos (2020) “Análisis de la comparación de los espumantes F501, Af68, H508 que se aplican en el procedimiento de alternancia de los minerales con sulfuro, a fin de perfeccionar la recuperación del cobre en planta concentradora de Antapacay” el objetivo planteado de los autores fue analizar las comparaciones de los reactivos espumantes a fin de establecer los criterios de las dosis perfectas en la etapa Rougher y conseguir las recuperaciones del CuT. Para esta investigación el autor utilizó una investigación de tipo explicativa correlacional, partiendo de esto se obtuvieron los siguientes resultados, el reactivo espumante F501 es el más efectivo para la flotación de cobre del mineral Antapaccay. La dosis óptima de F501 es de 42.323 g/TM, y el lapso de alternancia óptimo es de 10.054 minutos. Estos parámetros de dosificación permiten una recuperación de cobre de 94.86%. Lo anterior permite al autor concluir que, los resultados son significativamente alentadores, sugiriendo así que la dosificación en los parámetros está optimizada para contribuir en la eficiencia mejorada de la flotación del cobre y aumentar la producción del mismo.

Burga (2019) investigador de la tesis que lleva por título “Progresos en métodos de alternancia en fase rougher a fin de recuperar mineral” el objetivo general en esta investigación fue estudiar y difundir el estado del arte sobre los métodos de alternancia de minerales durante la fase rougher, por este motivo fueron realizadas revisiones y análisis a 13 diferentes artículos científicos relacionados con el tema para plantear un panorama más acertado, utilizando una metodología de tipo revisión sistemática documental. Los resultados obtenidos en el estudio permiten visibilizar los avances que se han conseguido para la mejora y la recuperación de minerales, lo cual quiere decir que se incrementa la generación y rentabilidad del proceso. Concluyendo así que con la implementación de nuevos métodos de alternancia mineral en fase rougher permitirían mejorar el potencial proceso en la eficiencia para la extracción del cobre y magnesio, permitiendo también una importante reducción del impacto ambiental producido por la minería.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Geometalurgia

La geometalurgia es una práctica la cual persigue busca particularizar diferentes parámetros, relacionados tanto con la producción, que se relaciona con la moliendabilidad y dureza; la recuperación tomando en cuenta la forma, liberación y estructura del mineral, entre otros; además de la excelencia de la pulpa o el concentrado mineral.

En la geometalurgia es necesario encontrar data en cuanto a lo macroscópico y lo microscópico. En la que las variantes geometalúrgicas representan elementos esenciales en el momento que se refieren a los costes y beneficios en el plan de la minería. La geometalurgia, durante las fases de la operatividad en planta, favorece el trato dentro de los profesionales como los trabajadores de las minas, trabajadores de las minas, planificadores de proyectos, metalúrgicos y geólogos. Todas estas áreas unidas es posible que establezca la valoración del yacimiento e implementar una perfeccionada planeación para extraer toda la variedad existente de materiales. Así, es reducida la incertidumbre y los peligros en el control de la mina, del proceso y de la ley. (Velarde & Osorio, 2009; Canchanya & Yancé, 2019).

2.2.2 Caracterización Geometalúrgica

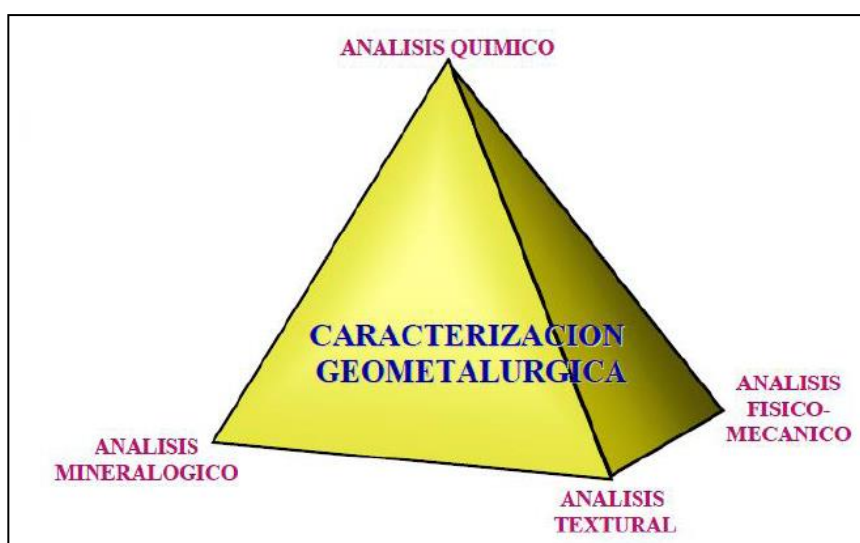
A fin de depositar polimetálicos es posible que las menas formen un 10% de mineral, para aquellos minerales que tienen ley baja, tal cual los pórfidos de Cu-Mo, cuyas menas pueden llegar a almacenar un máximo de roca de 2%; lo que resta es la ganga tal cual óxidos, silicatos, oxisales, cuarzo, entre otros; en una cantidad menor es presentada la mena en el interior de un almacenamiento de diseminado oro. En casos de operaciones de metalúrgicas y de minas tal cual chancado, alternancia y lixiviación; las gangas cuyo porcentaje está por encima del 90% del mineral, impactan notablemente en el proceso, ocasionando dificultades como disminución del rendimiento, resistencia a la conminución (con tendencia a incrementarse la carga circulante), gasto en reactivos, gasto de la electricidad, disminución al recuperar, gastos metalúrgicos, etc., por lo general, se relacionan con las gangas, de manera significativa, contrario a las menas. A fin de optimizar la capacidad y la esencia en esta variación se necesita aplicar sistemas caracterizados de manera geometalúrgica (mineralógico, químico, textural, físico-mecánico) usando modernos equipos alto

rendimiento, veloces y de análisis. (Brexia Gold Plata Perú SAC, en Canchanya y Yancé, 2019).

La pirámide que se muestra en gráfico 1 demuestra de manera gráfica la importancia de 4 clases primordiales de estudios realizados en la particularización geometalúrgica; de esta manera no se necesita realizar la totalidad a fin de llevar a cabo estudios, es posible que suceda que se realicen un trío de estos estudios, omitiendo uno, sin embargo, no hay manera de omitir dos de los estudios; se recomienda realizar todos los estudios para así obtener una particularización absoluta.

Figura 1

Elementos de una caracterización geometalúrgica



Fuente: Canchanya y Yancé (2019)

A fines de entender la conceptualización, se requiere suponer que se dispone de una muestra de roca con una concentración significativa de cobre, cuya ley se determina por medio de estudios químicos. Con base en esta información, se puede seleccionar el método de beneficio metalúrgico más apropiado, como la flotación o la lixiviación, considerando que el mineral contiene cobre, como se identifica a través de análisis mineralógicos.

Si se detecta que el mineral está mayormente compuesto por calcosita, un sulfuro secundario de cobre conocido por su alta susceptibilidad a la lixiviación, se optaría por el método de lixiviación. Sin embargo, si se observa que la calcosita está encapsulada en cuarzo, lo cual se evidencia en análisis texturales, esto puede disminuir la eficiencia de la recuperación del cobre. (Brexia Gold Plata Perú SAC, en Canchanya y Yancé, 2019).

2.2.2.1. Análisis mineralógico

El sector de la minería abarca una serie de procesos, algunos situados en la etapa de exploración y explotación ("aguas arriba"), mientras que otros se ubican en la fase de procesamiento y comercialización ("aguas abajo"). La caracterización mineralógica desempeña un papel crucial en estas etapas, ya que permite monitorear la concentración de minerales valiosos (mena) y no valiosos (ganga), así como la textura intergranular de las muestras.

Según Melgarejo et, al (2010), la mineralogía ejecutada en el proceso de los minerales responde a una extensión de la mineralogía tradicional. Este enfoque implica el análisis de muestras representativas de la mina, lo que proporciona información esencial para el desarrollo y la optimización de técnicas metalúrgicas.

El Oficial Colegio de Geólogos Español (2018) señala que las referencias de informaciones geológicas, aunque guardan datos valiosos acerca del depósito de mineral, a menudo no son suficientes para guiar eficazmente el proceso de beneficio. Por lo tanto, es fundamental que los estudios de mineralogía aplicada al procesamiento incluyan mediciones semicuantitativas o cuantitativas de los conformantes minerales. Tales análisis se deben orientar hacia los métodos de concentración y separación proponiéndose mejorar la recuperación de valiosos minerales.

Es importante reconocer que cada mineral tiene características y peculiaridades únicas, lo que significa que los procesos tecnológicos efectivos para un mineral pueden no serlo para otro similar. Por lo tanto, los métodos de procesamiento deben adaptarse a las características específicas de cada depósito mineral. Pueden surgir algunos cambios en lo siguiente:

- Composición de minerales a causa de la aleatoria proporción del mineral en depósito;
- Las dimensiones de partículas del mineral que interesa;
- En lista de minerales de desecho, y demás.

En este escenario, es requerido investigaciones más detalladas y específicas en las comprobaciones iniciales de proceso del mineral mencionado. Es crucial que el geólogo aplicado comprenda las etapas distintas en el procedimiento y reconozca la relevancia de las particularidades de minerales los cuales pudiesen influir en el comportamiento del mineral durante una operación de procesamiento específica. Con este conocimiento, incluso se puede prever en cierto grado la recuperación y los desafíos que podrían surgir mientras se hacen los análisis de optimización. La resulta de los estudios mineralógicos, tanto cuantitativos como cualitativos, conjuntamente a los datos dados por los estudios de la química, podrían guiar la planeación de las secuencias y/o fases adecuadas al procedimiento.

Durante la fase exploratoria, aún en la etapa de caracterización, es posible llevar a cabo análisis petrográficos-minerales en porciones de mineralizadas y no mineralizadas rocas, tal cual en porciones muestrales representativas de núcleos de perforaciones en el yacimiento. Estos estudios petrográficos se centran en los aspectos geológicos relacionados con la formación de la roca mineralizada, como la serie de cristalización en minerales primordiales y sus particularidades, que tienden a estar estrechamente ligadas a los protocolos de procesamiento en curso.

De acuerdo con Bustamante et al, (2008), conocer las fisicoquímicas propiedades en minerales es posible que indique la clase de procesamiento adecuado. No obstante, hay otros aspectos vinculados a la etapa mineral que se deben considerar, especialmente en el procedimiento de extractiva metalurgia. Estos aspectos incluyen el ritmo de la química reacción, que está relacionada con la cristalina estructura de los minerales fundamentales, tal cual roturas, porosidad, guía de las expuestas superficies, inclusiones, dimensión de partículas, la textura y presencia de suciedad, etc.

Por otro parte, Melgarejo et al, (2010) señalan que, aunque la diversidad de minerales y productos generados por los procesos de concentración, ciertos aspectos son primordiales en la particularización de mineralogía aplicada a los protocolos beneficiosos.

Gran cantidad de estos elementos pueden ser obtenidos a través de análisis microscópico óptico, el cual incluye:

- Estudio cualitativo de mineralogía el cual reconoce la totalidad de los minerales.
- Estudio semicuantitativo de mineralogía y cálculo de proporciones en porcentajes de la totalidad de los minerales que están en mineralizado cuerpo.
- El establecimiento de la magnitud de liberación por medio de medición y cálculo porcentual de liberación mineral que interesa relacionado con la ganga, además de análisis de la conducta de combinación de granos.
- Las evaluaciones de reflectividad de los opacos minerales.
- Microfotografías de circunstancias mineralógicas resaltadas pudiendo ser concluyentes de algunos eventos vinculados con la composición de minerales en mineral.
- Reconocimientos mineralógicos por medio de difracción rayos X (XRD) y electrónica microscopía de barrido (SEM).
- Compatibilidad y Complementación de estudio desde una resulta de químicos estudios de los principales elementos y las llamadas trazas.

Los datos obtenidos normalmente en particularización mineralógica, posterior al estudio y conciliación, puede ser usada en los ítems siguientes:

- Señalar las fases para desarrollar diagrama de flujo del beneficio y recomendar ciertas clases de comprobaciones de concentraciones, fundamentadas en las particularidades más relevantes de minerales en mineral.
- Facilitar el entendimiento de la conducta de minerales ante un procesamiento y / o protocolo determinado de metalurgia.

- Establecer la excelencia en productos que se obtienen en distintas clases de comprobaciones, por medio del reconocimiento mineralógico de acumulados y relaves, midiendo su magnitud de electividad respectivo.
- Completar los análisis de la mina fundamentados en conocimientos de distintas clases de minerales, en función el reconocimiento de distintas muestras vinculadas con el progreso de la mina.

Por la clase de materiales básicos que conforman el mineral y al particularizarlo mineralógicamente, debe dársele énfasis mayor a los análisis aplicados con el microscopio óptico polarizador. Estos análisis facilitan exploratoriamente un panorama real de la conducta de estos componentes ante el procesamiento con independencia que se refiera a un valioso mineral o que sea los que crean ganga. Esta clase de estudio está fundamentado en el reconocimiento de las propiedades ópticas primordiales de minerales por análisis en el microscopio polarizador óptico.

Cabe mencionar que, el cobre se encuentra dentro de los metales mayormente relevantes en la industria. En la naturaleza, que ocurra de minerales de cobre, plomo y zinc ocurren de manera normal en vinculación. En una gran cantidad de eventos, son explotados estos metales juntos; aunque casi siempre el plomo es extraído tal cual subproducto al extraer zinc (Santos, 2009). El plomo presente en la superficie de la tierra abraza en un aproximado, 0,002% de la totalidad del planeta, en forma general dividido en fracciones a escala por debajo de 3% (Silva y Teixeira, 2009).

La acción primera a fin de establecer el estudio geometalúrgico es adquirirlo abundantemente (%) de valiosos minerales o mena, los desechables, además de minerales indeseables en procedimientos de extracción (Canchanya, S, 2008; en Canchanya y Yancé, 2019).

2.2.2.2. Análisis textural

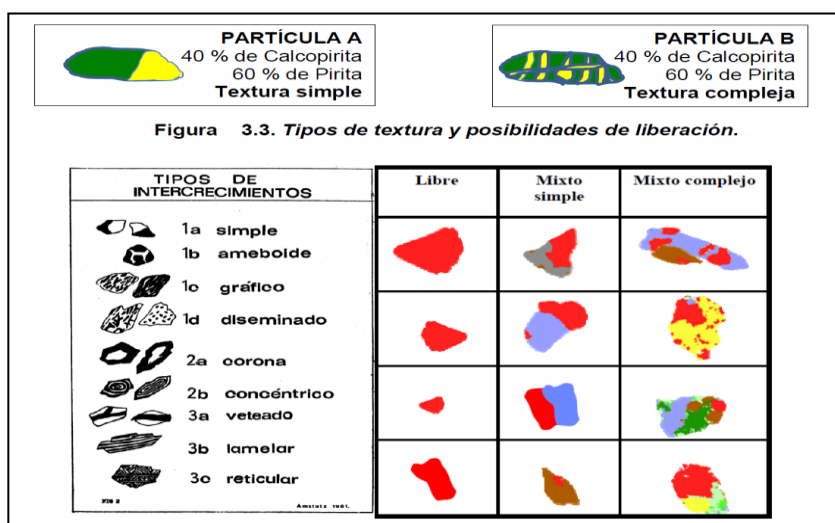
La categorización de la textura está relacionada con el comportamiento de minerales trabajados a través de protocolos de concentraciones de mineral, este estudio es realizado conjuntamente con la particularización de especies presentes de mineral (Parra y Bueno,

2011; en Canchanya y Yancé, 2019). Son 3 los causantes más notorios influyentes en la liberación del mineral:

- Magnitud del grano: a tamaño más bajo de grano que resulta de la molienda y del chancado, mayormente eficiente es resulta ser el protocolo de concentración mineral, pues, hay más superficie para que los líquidos concentradores o reactivos entren en contacto y los granos de los fragmentos minerales.
- Clase de margen de unificación dentro de los adyacentes minerales: mientras más redondeo haya en los bordes tanto más redondeados son los bordes, el proceso para separar es más efectivo y la concentración del mineral.
- Clase de intercrecimientos minerales: está referido a la dimensión de intercrecimientos de los minerales beneficiosos económicos o mena y minerales no beneficiosos ganga, económico a un grado mayor de intercrecimientos, más eficiente es el protocolo para separar y de concentración del mineral (Figura 2).

Figura 2

Tipos de intercrecimientos (texturas) entre minerales.



Nota: Canchanya y Yancé (2019)

2.2.2.3. Análisis mecánico

Se conoce además tal cual estudio físico-mecánico. La principal información que se mide en este estudio es el indicador de trabajo (Work Index) de Bond, la magnitud de chancabilidad (chancado) o de moliendabilidad (molienda), la aptitud para fragmentarse, el endurecimiento de la roca de Mohs y el nivel de porosidad (Canchanya y Yancé, 2019). Ejemplo, el establecimiento de principios de dureza del mineral que conforma un acumulado bulk.

Tabla 1

Valores de gravedad específica en minerales

Mineral	Gravedad Específica
Blenda	2,5 – 3,0
Pirita	6,0 – 6,5
Galena	2,5 – 3,0
Calcopirita	3,0 – 3,5
Insolubles	2,9

Nota. Canchanya y Yancé (2019)

2.2.2.4. Análisis metalúrgico

Esta fase cuarta de variantes considera con mayor relevancia la metalúrgica recuperación y la excelencia de los concentrados de acuerdo con el gasto de reactivos y particularidades de residuos y productos. Por lo general se efectúa comprobaciones a fin de medir las vías distintas de procesamiento a fin de adquirir una concentración de leyes comerciales por medio de un rentable proceso de manera económica rentable. (Canchanya y Yancé, 2019).

2.2.3. El cobre

El cobre conforma, en la periódica tabla, uno de los elementos químicos, identificado con Cu como símbolo y 29 como atómico número. Responde a un metal transitorio que se caracteriza por su conductividad térmica y eléctrica excelente, por ser maleable y a la corrosión resistente (Kramer et al. 2020).

El cobre es de color rojo o naranja y es, a nivel mundial, un material dentro de los mayormente utilizados, debido a sus diversas aplicaciones industriales, eléctricas y de construcción.

Naturalmente, el cobre se encuentra como mineral, siendo la calcopirita (también conocida como piritita de cobre) uno de los más comunes. La minería y la metalurgia son procesos utilizados para extraer el cobre de estos minerales, y luego se refina para obtener un metal puro que puede ser moldeado en diversas formas (Meller, 2019).

El cobre es empleado ampliamente en un gran número de aplicaciones, partiendo de la fabricación de cables para electricidad y conductores, incluso en la construcción de tuberías, componentes electrónicos, monedas, utensilios de cocina y obras de arte. Además, debido a sus propiedades antimicrobianas, el cobre es utilizado en el ámbito de la medicina y para fabricar superficies de contacto en hospitales para prevenir la propagación de enfermedades (Valadez, 2021).

2.2.3.1. Geología del Cobre

La geología del cobre constituye un aspecto crucial en el estudio de la extracción y procesamiento de este valioso metal. Los yacimientos de cobre, donde se encuentra concentrado en forma de minerales sulfurados, son el resultado de procesos geológicos fascinantes que abarcan millones de años (Sapiains et al., 2020).

Los yacimientos de cobre se originan mediante una intrincada danza de fuerzas geológicas. La actividad magmática juega un papel central en la formación de estos depósitos. Cuando el magma, fundido y rico en minerales, asciende hacia la superficie terrestre, puede llevar consigo partículas de cobre y otros minerales. A medida que este magma se enfría y se solidifica, los minerales se precipitan y se acumulan en ciertas áreas, creando así las semillas de futuros yacimientos de cobre (Ayala et al., 2020).

Sin embargo, la historia geológica no se detiene aquí. Los procesos hidrotermales entran en escena. El agua caliente cargada de minerales fluye a través de las rocas circundantes, disolviendo y transportando el cobre a lo largo del tiempo. A medida que este fluido se desplaza a través de fisuras y fracturas en la corteza terrestre, encuentra condiciones adecuadas para que los minerales de cobre se vuelvan a precipitar. Esto da lugar a la

formación de yacimientos de cobre porfídicos, caracterizados por la presencia de minerales de cobre en cristales visibles a simple vista (Gutiérrez, 2020).

Además de los procesos magmáticos e hidrotermales, los yacimientos de cobre también pueden formarse en entornos sedimentarios. En estos casos, los minerales de cobre se acumulan gradualmente en sedimentos depositados en ambientes marinos o lacustres. A lo largo del tiempo geológico, la compactación y la diagénesis transforman estos sedimentos en rocas ricas en cobre, lo que da lugar a yacimientos de cobre sedimentarios (Gargul et al., 2019).

2.2.3.2. Propiedades y uso del cobre

El cobre, un tesoro de la naturaleza, es un metal noble y versátil que cautiva con sus propiedades únicas y brinda una amplia gama de aplicaciones en nuestro mundo moderno. Su característico color rojo y su brillo inconfundible lo convierten en un material apreciado tanto por su estética como por su funcionalidad (Gobitz, 2018).

Una de las propiedades más destacadas del cobre es su excepcional conductividad eléctrica y térmica. Esta característica lo convierte en el metal conductor por excelencia, utilizado en la fabricación de cables y alambres eléctricos que alimentan nuestras casas, industrias y tecnología. Sin el cobre, nuestros sistemas eléctricos no podrían funcionar eficientemente, y las comunicaciones, la iluminación y la electrónica moderna serían impensables (Valenzuela et al., 2020).

La maleabilidad del cobre es otra de sus cualidades notables. Puede ser moldeado y estirado con facilidad para crear una amplia variedad de formas, desde delgados hilos hasta láminas de metal que se emplean en la fabricación de componentes electrónicos, tuberías y láminas decorativas. Esta flexibilidad en su procesamiento lo convierte en un material de elección en el ámbito de la construcción, donde es utilizado en tuberías para agua, techos y revestimientos (Rodríguez, 2023).

Además de su versatilidad eléctrica y su capacidad para adoptar diversas formas, el cobre es resistente a la corrosión. Esta resistencia lo hace ideal para aplicaciones en exteriores y entornos húmedos, como techados y sistemas de fontanería. Incluso con el tiempo, el cobre

desarrolla una pátina protectora que le otorga una apariencia envejecida y una mayor durabilidad (González et al., 2022).

Los usos del cobre se extienden más allá de lo evidente. Su propiedad antimicrobiana ha sido reconocida durante siglos, y hoy en día se emplea en la fabricación de superficies de contacto en hospitales y en aplicaciones médicas, donde su capacidad para eliminar gérmenes es invaluable.

Desde las monedas que circulan en nuestras economías hasta las obras de arte que adornan museos, el cobre se manifiesta en una multitud de formas. Su presencia es esencial en el mundo tecnológico que tenemos en nuestro entorno, en nuestros aparatos electrónicos hasta los vehículos que utilizamos a diario (Magno, 2022).

2.2.3.3. Importancia del cobre en la economía mundial

La importancia económica del cobre es innegable y profunda, extendiéndose a nivel mundial y nacional, y abarcando una serie de sectores clave de la economía. Este metal, con sus valiosas propiedades y versatilidad, cumple un rol crítico en el progreso de la economía y la prosperidad de numerosas regiones y naciones (Jumbo, et al. 2022). Aquí, exploraremos en prosa su trascendental influencia económica:

El cobre, con su distintivo brillo y su rica historia, se ha convertido en un verdadero pilar de la economía global. Su importancia radica en su carácter multifacético y su inigualable capacidad para adaptarse a diversas aplicaciones industriales. La industria de la construcción depende del cobre para sus sistemas de fontanería y cables eléctricos que impulsan edificios y estructuras modernas. Sin embargo, su presencia no se limita al ámbito de la edificación (del Carmen et al., 2021).

Los motores y sistemas eléctricos de automóviles y transporte público contienen componentes de cobre, que permiten la movilidad y el funcionamiento de nuestros vehículos. En la tecnología y en la electrónica informática, el cobre desempeña un papel central en la fabricación de circuitos y microchips, impulsando la revolución digital que estamos viviendo. Sin estos elementos, la era de la información que conocemos hoy sería inconcebible (Guartatanga y Siguencia, 2019).

El impacto económico del cobre también se extiende a la infraestructura energética. Las redes eléctricas a gran escala que alimentan nuestras ciudades y hogares se construyen con cables de cobre que garantizan la distribución eficiente de la energía. Además, las renovables energías eólica y solar, confían en el cobre en la fabricación de paneles solares y turbinas eólicas, aportan en la transformación a orígenes de energías sustentables y con mayor limpieza (Ruiz y Civantos, 2021).

En un contexto más amplio, el cobre es un actor protagonista en los mercados globales. Su precio y demanda fluctúan en función de las dinámicas económicas y comerciales a nivel internacional. Los países productores de cobre, como Chile, Perú y China, ven en este metal una fuente importante de ingresos y empleo. Además, las empresas mineras y de fundición que operan en torno al cobre contribuyen significativamente a las economías locales y nacionales (Vilca, 2019).

La importancia del cobre no se limita a su papel en la industria y la tecnología; también abarca la inversión y la estabilidad financiera. Los inversores y las bolsas de valores siguen de cerca los precios del cobre, ya que estos pueden actuar como indicadores económicos adelantados, reflejando la salud de la industria manufacturera y la demanda global.

2.2.3.4. Métodos de Extracción de Cobre

Los métodos de extracción de cobre representan una intrincada danza entre la naturaleza y la tecnología, un baile que ha evolucionado a lo largo de siglos para liberar el valioso metal de su prisión mineral. Estos métodos, diseñados para abordar la diversidad de depósitos de cobre en todo el mundo, son esenciales para satisfacer la demanda creciente de este metal en la industria moderna (Allende y Llonto, 2021).

Uno de los métodos más emblemáticos es la **flotación**, que se utiliza para liberar el cobre contenido en minerales sulfurados como la calcopirita. Este proceso comienza con la trituración del mineral en partículas finas y su mezcla con agua y reactivos químicos. En esta mezcla, el cobre es adherido a burbujas aireadas y es separado de los demás minerales. Posteriormente, se forma un concentrado de cobre, que es sometido a una fundición para obtener cobre metálico de alta pureza (Merino y Pillaca, 2019).

Cuando se trata de minerales oxidados o de baja ley, se recurre a la **lixiviación**. Este método implica el uso de soluciones químicas, típicamente ácido sulfúrico, que disuelven selectivamente el cobre del mineral. La solución resultante, enriquecida con cobre, se recoge y se procesa a través de electrólisis o extracción por solventes para obtener cobre metálico (Rodríguez et al., 2020).

La **electroobtención** es un proceso electrolítico en el que el cobre se deposita en forma de cátodo de alta pureza a partir de una solución rica en cobre obtenida previamente por lixiviación u otros métodos. Este proceso se basa en la capacidad del cobre para migrar hacia el cátodo cuando se aplica una corriente eléctrica, permitiendo la separación efectiva del metal de la solución (Canchanya y Yance, 2019).

Para yacimientos de cobre porfíricos, donde el mineral se encuentra en minerales como la bornita y la calcopirita, se recurre a un proceso de **molienda y flotación**. Este método implica la trituración del mineral a partículas finas, seguida de una serie de etapas de flotación para separar selectivamente el cobre de otros minerales. El resultado es un concentrado de alta ley de cobre, que se procesa posteriormente (Rodríguez et al., 2021).

Además de estos métodos tradicionales, se están explorando **innovaciones tecnológicas** para la extracción de cobre, incluyendo procesos más eficientes y sostenibles. Estos avances permiten la recuperación de cobre de fuentes secundarias, como chatarra de cobre, residuos electrónicos y escoria de fundición, contribuyendo a la economía circular y a la conservación de recursos naturales (Palao et al., 2021).

En última instancia, los métodos de extracción de cobre representan el inicio al universo de este metal preciado. Estos métodos han evolucionado con la ciencia y la tecnología, permitiendo que el cobre se convierta en la columna vertebral de industrias, tecnología y avances que impulsan nuestra sociedad moderna hacia adelante. Cada uno de estos métodos, a su manera, libera la esencia del cobre de las entrañas de la Tierra, alimentando la maquinaria del progreso.

2.2.4. Caracterización del cobre

El cobre presente en los tajos mineros generalmente se encuentra en forma de minerales de sulfuro y óxido. La caracterización del cobre en los tajos mineros implica

entender su composición mineralógica y sus características físicas y químicas. A continuación, se detallan algunos aspectos clave de la caracterización del cobre en los tajos:

1. **Composición mineralógica:** El cobre en los tajos mineros suele encontrarse en minerales como la calcopirita, la bornita, la calcosina, la covelina y la malaquita, entre otros. Es importante comprender la distribución y la concentración de estos minerales para evaluar la viabilidad económica de la extracción.
2. **Textura y estructura:** La textura y estructura de los yacimientos de cobre en los tajos mineros pueden variar desde vetas y filones hasta depósitos masivos. La comprensión de la estructura del yacimiento es esencial para la planificación minera y la determinación de los métodos de extracción más adecuados.
3. **Asociaciones minerales:** El cobre en los tajos mineros a menudo está asociado con otros minerales, como el hierro, el azufre, el oro, la plata y el molibdeno. La identificación de estas asociaciones es crucial para evaluar la rentabilidad y la viabilidad de la extracción conjunta de múltiples metales.
4. **Distribución geográfica:** La caracterización del cobre en los tajos mineros también implica comprender su distribución geográfica en relación con otras formaciones geológicas y recursos minerales en el área circundante.
5. **Condiciones geológicas:** Las condiciones geológicas, como la presencia de fallas, pliegues y otros fenómenos geológicos, son importantes para comprender la formación y la distribución del depósito de cobre en el tajo.

La caracterización mineralógica, la herramienta que guía nuestro viaje, nos llevará a descubrir la identidad, la estructura y la interacción de estos minerales, revelando secretos cruciales para la optimización de la recuperación de cobre.

A. Minerales Sulfurados de Cobre

Calcopirita (CuFeS_2)

La calcopirita es un mineral que a simple vista se presenta con un característico brillo metálico y un color que varía desde un dorado pálido hasta un amarillo latón. Puede formar cristales bien definidos, a menudo en forma de tetraedros o dodecaedros.

Figura 3

Calcopirita (CuFeS_2)



Nota. Este mineral es uno de los minerales de cobre más comunes y puede ser identificado por su color dorado y brillo metálico.

La calcopirita (CuFeS_2) es un mineral que se distingue por su color amarillo latón o dorado, con un brillo metálico característico en sus superficies recién expuestas. Contiene un endurecimiento moderado, relativamente, de acuerdo al nivel de dureza de Mohs, de en aproximación a 3.5 o 4, y tiende a romperse en superficies curvas y lisas. Puede formar cristales bien definidos, a menudo en forma de tetraedros o dodecaedros, aunque también se encuentra en masas granulares. Su densidad promedio ronda los 4.2 g/cm^3 , y es un excelente conductor eléctrico debido a su alto contenido de cobre, lo que la hace valiosa en aplicaciones eléctricas y electrónicas.

A diferencia de otros minerales de cobre, no muestra propiedades magnéticas significativas. Sin embargo, es propensa a la alteración química en condiciones atmosféricas, lo que puede alterar su color y dar lugar a la formación de minerales secundarios como la covelina (CuS) y la calcocita (Cu_2S). Estas características físicas hacen que la calcopirita sea una fuente valiosa de cobre en la minería y la industria metalúrgica.

Bornita (Cu_5FeS_4)

La bornita (Cu_5FeS_4) se distingue por su variado color iridiscente, que abarca tonalidades desde morado hasta verde y dorado, resultado de la oxidación que forma una delgada capa de minerales secundarios en su superficie

Figura 4

Bornita (Cu_5FeS_4)



Nota. La bornita es otro mineral de cobre que a menudo se presenta con colores iridiscentes de tonos morados y azules.

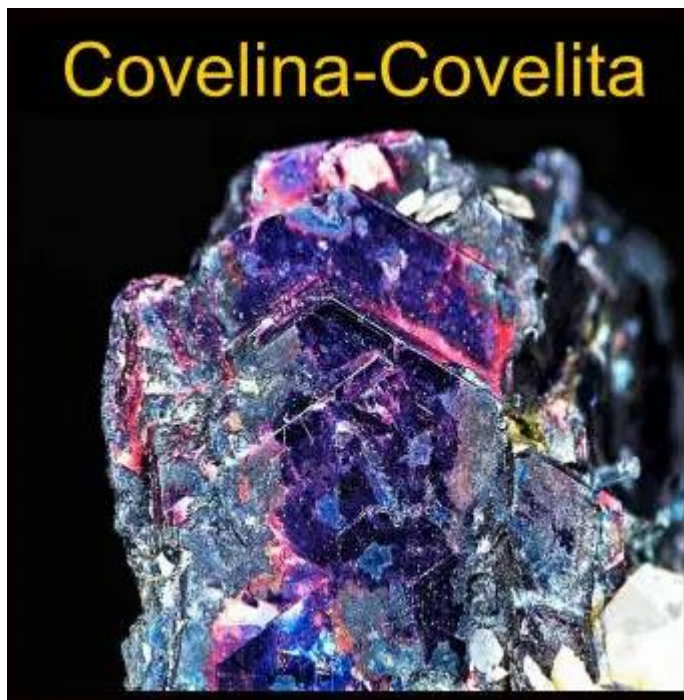
Presenta un brillo metálico característico y una dureza moderada, con una fractura desigual o subconcoide. A menudo se encuentra en masas granulares y posee una densidad promedio entre 4.9 y 5.3 g/cm^3 . Destaca por ser un buen conductor eléctrico y ligeramente magnético debido al hierro en su composición. Sin embargo, es propensa a la alteración química, lo que puede cambiar su apariencia a medida que se oxida y forma minerales secundarios como la covelina (CuS) y la calcosina (Cu_2S). Estas características hacen que la

bornita sea un mineral intrigante y desafiante en la minería y la metalurgia del cobre, ya que su iridiscencia y alterabilidad pueden influir en la recuperación eficiente del cobre.

Covelina (CuS)

Figura 5

Covelina (CuS)



Nota. La covelina es de color negro a azul oscuro y es otro mineral de cobre importante.

La covelina (CuS) es un mineral que se distingue por su profundo color azul oscuro a negro, con un brillo metálico característico en sus superficies recién expuestas. A pesar de su aspecto atractivo, posee un endurecimiento baja, en forma relativa en el nivel de Mohs, situándose entre 1.5 y 2, lo que la hace vulnerable a la abrasión. Su fractura es irregular o concoidal, tendiendo a romperse en superficies curvas y lisas. La covelina generalmente se encuentra en forma de cristales masivos o microcristales, a menudo en inclusiones en otros minerales, con cristales individuales que pueden tomar una forma octaédrica o cuboctaédrica.

Su densidad promedio es de aproximadamente 5.5 g/cm³, siendo más densa que la mayoría de los minerales no metálicos.

Es un buen conductor eléctrico debido a su alto contenido de cobre, lo que la hace relevante en aplicaciones industriales y electrónicas. A diferencia de otros minerales de cobre, la covelina no exhibe propiedades magnéticas significativas. Cabe destacar que puede sufrir alteraciones químicas que la transforman en otros minerales de cobre, lo que puede modificar su apariencia y color con el tiempo. Estas características físicas hacen que la covelina sea un mineral de interés tanto en la minería como en la mineralogía, y su color distintivo y conductividad eléctrica son especialmente relevantes en diversas aplicaciones industriales y tecnológicas.

Arsenopirita

Figura 6

Arsenopirita



La arsenopirita es un mineral con características físicas distintivas. Presenta un color gris a plateado y un brillo metálico en sus superficies recién expuestas. Su dureza en la escala de Mohs varía entre 5.5 y 6, lo que la hace relativamente resistente. La fractura de la arsenopirita es concoidal, lo que significa que tiende a romperse de manera irregular.

Comúnmente se encuentra en forma de cristales prismáticos o masas granulares. Su densidad oscila entre 5.9 y 6.2 g/cm³, lo que la hace más densa que muchos otros minerales. Además, la arsenopirita es un semiconductor y muestra propiedades eléctricas interesantes debido a su composición química. Su fórmula química es FeAsS, lo que indica la presencia de hierro, arsénico y azufre en su composición.

Este mineral ha sido históricamente utilizado como fuente de arsénico en la fabricación de pesticidas y productos químicos, aunque su uso ha disminuido debido a la toxicidad del arsénico. En la industria minera, la arsenopirita es relevante debido a su asociación con minerales de sulfuro y su presencia en depósitos minerales que pueden contener metales preciosos. Su estudio es esencial tanto desde una perspectiva geológica como en la investigación de procesos de extracción de minerales y sus impactos ambientales.

B. Minerales Arcillosos

Caolinita

Figura 7

Caolinita



Nota. La caolinita es un mineral arcilloso que se caracteriza por su color blanco a crema y su textura suave y terrosa.

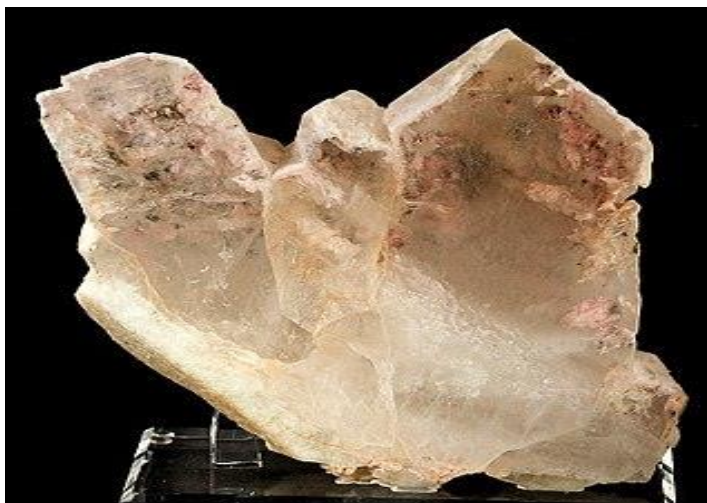
La caolinita, un mineral arcilloso ampliamente distribuido, se caracteriza por su color generalmente blanco, gris o crema y su brillo mate y apagado. Con una dureza baja en la escala de Mohs, alrededor de 2 a 2.5, es muy blanda y se puede rayar con facilidad. Su fractura es terrosa y quebradiza, rompiéndose en fragmentos irregulares, y se presenta en masas amorfas sin forma cristalina definida, compuesta por finas láminas o partículas microscópicas. Su baja densidad, aproximadamente 2.6 g/cm^3 , la hace menos densa que muchos otros minerales. Una de sus características más notables es su plasticidad, lo que la convierte en un recurso valioso en la fabricación de cerámica y productos de arcilla, ya que puede moldearse cuando se mezcla con agua.

Además, es notablemente capaz de retener agua, siendo utilizada como agente espesante en el ámbito alimentario y en productos cosméticos. La caolinita es químicamente inerte en la mayoría de los entornos y es estable a temperaturas moderadas, aunque puede deshidratarse a temperaturas más elevadas. Su versatilidad y disponibilidad global la hacen esencial en múltiples aplicaciones industriales, desde la cerámica y la fabricación de papel hasta la producción de pinturas y productos cosméticos.

Montmorillonita

Figura 8

Montmorillonita



Nota. Este mineral arcilloso puede variar en color, pero a menudo se presenta como un polvo fino de tonalidades grises o verdosas

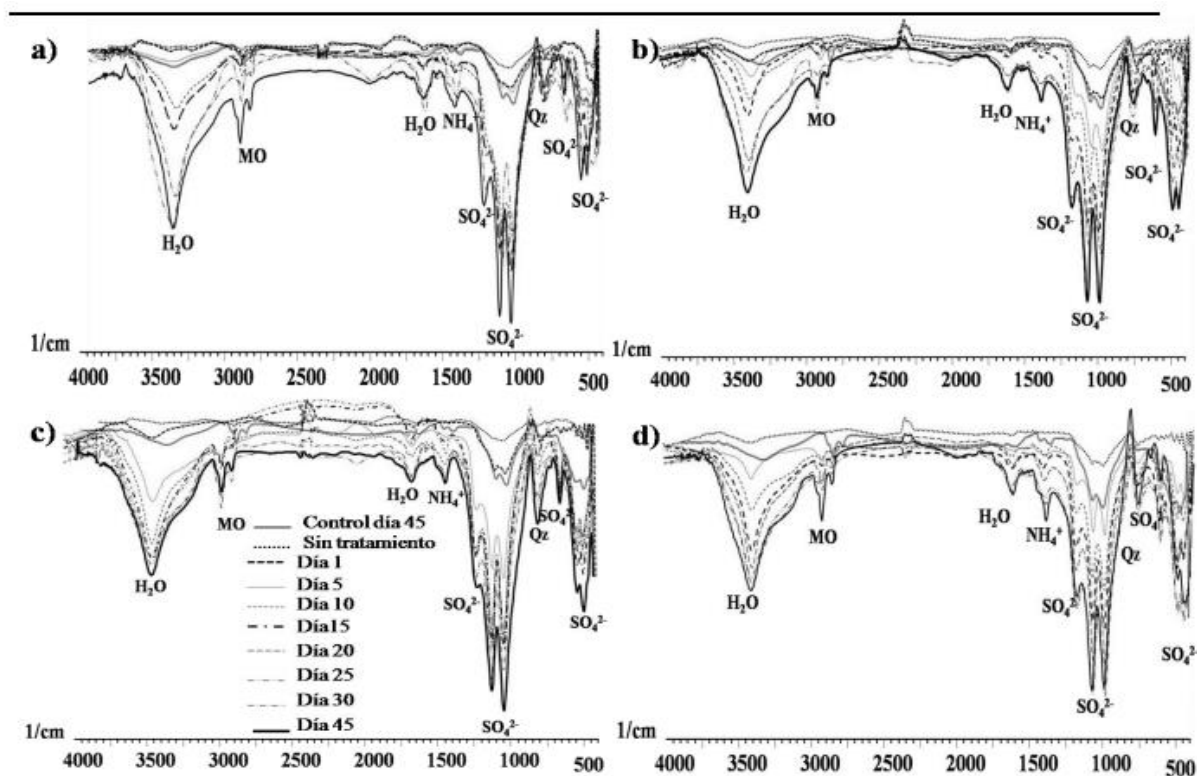
La montmorillonita, una esmectita arcillosa, presenta una amplia gama de colores, desde blanco hasta tonos de gris, amarillo, verde, rojo o marrón, influenciados por impurezas en su composición. Su brillo es perlado o sedoso, y en cuanto a su dureza, se ubica en el lado inferior del nivel de Mohs, con un valor generalmente entre 1 y 2, lo que la hace sumamente blanda y susceptible de rayarse con facilidad. Su fractura es terrosa o quebradiza, dividiéndose en fragmentos irregulares o masas pulverulentas. A nivel microscópico, se caracteriza por su estructura laminar con láminas extremadamente delgadas, careciendo de cristales individuales visibles a simple vista.

La densidad de la montmorillonita varía, pero suele ser baja, alrededor de 2 a 2.3 g/cm³. Su notoria plasticidad al mezclarse con agua la hace ideal para la fabricación de cerámica y aplicaciones de lodos y perforación. Además, destaca por su capacidad de intercambio iónico, permitiéndole adsorber y retener iones, siendo valiosa en la purificación de agua y en la retención de nutrientes en el suelo. Su sensibilidad a la hidratación y deshidratación se traduce en la expansión y contracción de sus láminas, mientras que, en forma seca, es inflamable, lo que encuentra aplicación en distintos campos industriales y tecnológicos.

Empleo de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para analizar la composición química y las interacciones entre los minerales y las arcillas.

Figura 9 Visión infrarroja convertida de Fourier (FTIR), en el procedimiento en la calcopirita de biolixiviación.

Donde a) pasante malla 200 Tyler para *Acidithiobacillus ferrooxidans*. b) pasante malla 325 Tyler para *Acidithiobacillus ferrooxidans*. c) pasante malla 200 Tyler para el cultivo mixto. d) pasante malla 325 Tyler para el cultivo mixto



Nota. Tomado de (Xuguang, 2005; Gunneriusson et al., 2009)

En el contexto de la biolixiviación de calcopirita, se llevaron a cabo análisis de espectros de infrarrojo utilizando la técnica de transformada de Fourier (FTIR). Estos análisis se realizaron en muestras que se dividieron en cuatro grupos: a) muestras con una pasante de malla de 200 Tyler para el cultivo de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, b) muestras con una pasante de malla de 325 Tyler para el cultivo de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, c) muestras con una pasante de malla de 200 Tyler para el cultivo mixto, y d) muestras con una pasante de malla de 325

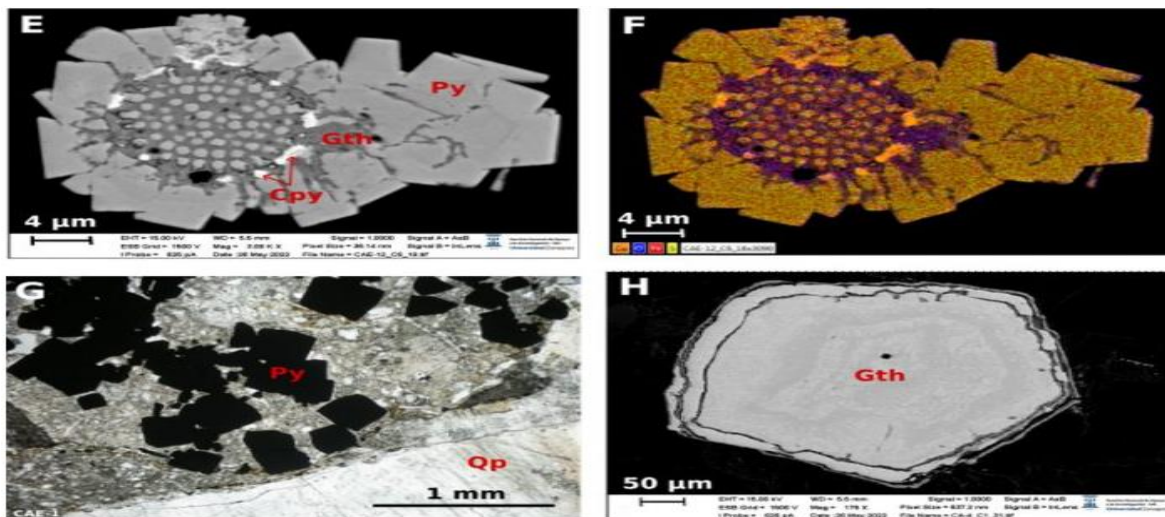
Tyler para el cultivo mixto. Además, se tuvieron en cuenta componentes como SO_4^{2-} (indicativo de la presencia de jarosita) y MO (materia orgánica).

Es relevante destacar que en todas las muestras analizadas se observaron patrones de espectros infrarrojos característicos. Estos patrones incluyen bandas sobre frecuencias de 3400, 2800 y 1620 cm^{-1} , que se atribuyen a los modos de alargamiento de moléculas de la agrupación de hidroxilo y a la estructural agua presente en el yeso. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas (Xuguang, 2005; Gunneriusson et al., 2009) y proporcionan información crucial sobre las interrelaciones químicas ocurridas en el proceso de biolixiviación de calcopirita.

Aplicación de difracción de rayos X (XRD) para identificar y cuantificar los minerales presentes en las muestras.

Figura 10

Caracterización mineralógica del yacimiento de cobre



Nota. Caracterización mineralógica del yacimiento de cobre Candelaria (Gallinero de Cameros, La Rioja). (Tierra y tecnología, 2023).

Las fotografías presentan láminas delgadas de la mineralización bajo diferentes técnicas de microscopía. Para comprender mejor estas imágenes, es necesario explicar las técnicas utilizadas:

- **LTPP (luz transmitida polarizada plana) y LRPP (luz reflejada polarizada plana):** Estas técnicas se basan en el uso de luz polarizada para resaltar características específicas en las muestras. La LTPP se utiliza en un microscopio óptico y permite observar detalles en secciones delgadas de minerales cuando la luz pasa a través de ellas. La LRPP, también en un microscopio óptico, se emplea para visualizar características en minerales cuando la luz se refleja en su superficie.
- **SEM (microscopio electrónico de barrido):** Esta técnica emplea un haz de electrones y no luz con el fin de examinar muestras. Proporciona imágenes de alta resolución y se utiliza para observar detalles en la superficie de los minerales.

Ahora, respecto a las imágenes específicas:

A) En la zona mineralizada, se observa calcopirita exsolucionada en bornita, que posteriormente cambia a covellita. La tenantita se presenta en forma idiomorfa y precede a la formación de bornita. Esto se visualiza mediante LRPP.

B) La imagen muestra calcopirita sustituyendo a la tenantita y la piritita, con la manifestación de poros en frentes de sustitución. Esto se observa mediante SEM.

C) Otra imagen muestra calcopirita reemplazando a la tenantita, también mediante SEM.

D) Se aprecia un cristal idiomorfo maclado de arsenopirita mediante LRPP.

E) La imagen muestra piritita framboidal, que ha sido oxidada a goethita en áreas de fractura y parcialmente sustituida por calcopirita. Esto se visualiza mediante SEM.

F) Se muestra un mapa elemental de la piritita framboidal, indicando la distribución de elementos en la muestra mediante SEM.

G) Se observan cristales idiomorfos de piritita hidrotermal en la matriz mediante LTPP.

H) La imagen muestra un reemplazamiento pseudomórfico de lo que parece ser magnetita por goethita, con bandeados que indican diferencias en la concentración de hierro. Esto se visualiza mediante LRPP.

Estas imágenes proporcionan información detallada sobre la mineralización y las transformaciones minerales en la muestra, utilizando diversas técnicas de microscopía que resaltan diferentes características y composiciones de los minerales presentes.

En conclusión, el capítulo de "CARACTERIZACIÓN MINEROLÓGICA" de esta tesis representó un paso fundamental en la comprensión de la mineralización de la calcopirita y sus interacciones con otros minerales y componentes en el contexto de la flotación de minerales sulfurados. A través de diversas técnicas analíticas, como la luz que se transmite plana polarizada (LTPP), luz que se refleja plana polarizada (LRPP) y microscopía electrónica del barrido (SEM), se logró obtener una visión detallada de la composición mineralógica y las transformaciones que ocurren en las muestras.

Las imágenes y observaciones permitieron identificar minerales clave, como la calcopirita, bornita, Caolinita, Covelina, arsenopirita y comprender cómo evolucionan y se interrelacionan durante el proceso de biolixiviación. Además, se observaron características como la exsolución de minerales, el reemplazamiento de minerales preexistentes y la formación de poros, lo que arrojó luz sobre los mecanismos involucrados en la mineralización.

En resumen, este capítulo proporcionó fundamentos sólidos a fin de entender la mineralogía de la calcopirita en el contexto de la biolixiviación, lo que contribuye significativamente al conocimiento de los procesos involucrados en la explotación del cobre desde minerales sulfurados con contenido de arcillas en la zona de Espinar - Cuzco. Estas observaciones y resultados sentaron las bases para investigaciones posteriores y el avance de efectivas tácticas en el área metalúrgica y minera.

2.2.5. Proceso de flotación

2.2.5.1 Definición

El trato mineralógico abarca diversas técnicas para concentrar clasificadas de acuerdo con las particularidades de minerales para ser separados. Respecto a este caso de la flotación, la concentración se basa en las propiedades de la cara de fragmentos de los distintos minerales y de sus particularidades químico físicas. Por lo general, los minerales sulfurados son eficientemente concentrados mediante este método, ya que su propiedad hidrofóbica les permite juntarse con las burbujas de aire insufladas en el protocolo, formando una espuma mineralizada.

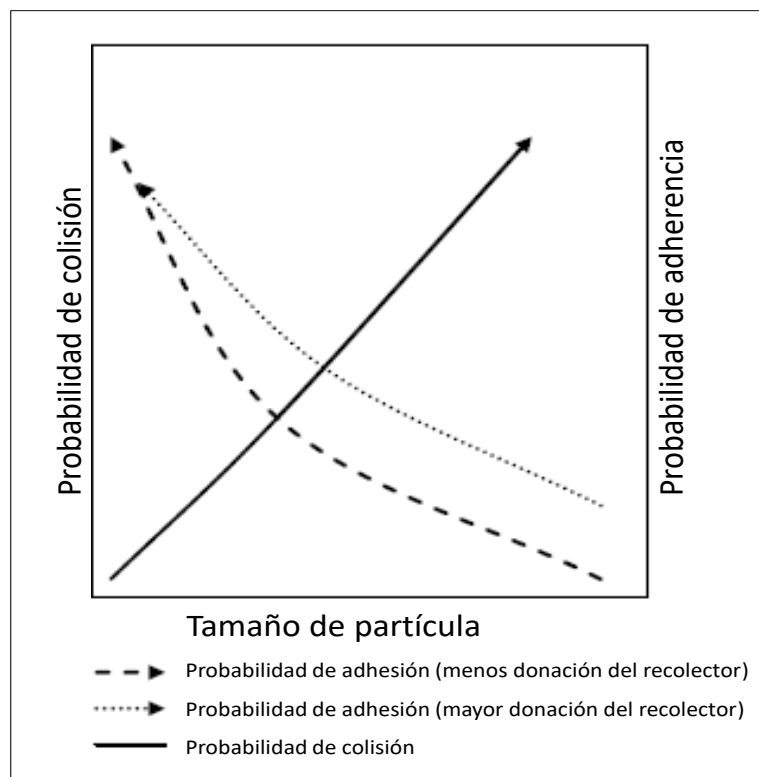
La recuperación metalúrgica, que representa la cifra del contenido de metal que se produce por cada unidad del contenido de metal alimentado, es el indicativo primordial de efectividad en la alternancia. Esta métrica tiene un impacto directo en la rentabilidad de la empresa. (Silvestre, 2007).

Según Baltar (1980), las diminutas burbujas generadas al introducir aire aumentan la probabilidad de que las partículas minerales colisionen entre sí, gracias al incremento en la cara concreta en las burbujas.

Tal aseveración se relaciona a las dimensiones de los fragmentos y está ilustrado en la imagen. Mientras menos dimensiones posee el fragmento, más escasa es la probabilidad de choque, sin embargo, más grande es la posibilidad de juntarse. A esta igual dimensión del fragmento, mientras más dimensión tenga la dosis del recolector inducido, más se juntan fragmento/burbuja.

Figura 11

Posibilidad de choque y conjunción de burbuja del aire de acuerdo a la magnitud de la partícula mineral.



Nota: Tomado de Baltar (1980)

A fin de que sea producida la hidrofobicidad, es esencial identificar el reactivo adecuado con la finalidad de que el protocolo sea eficiente. La utilización de tales reactivos, identificados tal cual tensioactivos, constituye avance crucial el cual, una vez más, depende del saber mineralógico, químico y físico del mineral que está procesándose. En la pulpa, se dosifican más de un reactivo con propósitos distintos a la hidrofobización de las partículas. Estos incluyen colectores, espumadores y trasformadores, los cuales abarcan dispersantes, ajustadores del pH, activadores y depresores.

Los colectores se refieren a compuestos los cuales poseen una fracción no iónica molecular conformada por una secuencia orgánica, la cual se encarga de la adsorción en las burbujas, mientras que otra parte polar tiende a interactuar en líquido acuoso. (Luz et al., 2010).

Según Dow (1981, citado en Luz et al., 2010) muestra, la distinción de alternancia cuando está presente un colector representa el ángulo del contacto en el que coinciden la superficie mineral con la burbuja, el mineral tiene mayor significado si este reactivo está dosificado en la pulpa, beneficiando las inferencias que harán que la alternancia ocurra.

Respecto a alternancia de los sulfuros del zinc, plata y plomo, los xantatos son empleados en forma común como colectores. La alternancia suele realizarse al introducir a granel de xantatos de larga secuencia, facilitando la recuperación de cualquier sulfuro y luego, en una más limpia fase es realizada la alternancia selectiva de metales beneficiosos. En casos de los minerales oxidados con estos aspectos, la alternancia se complica un poco más, lo cual es debido a la solubilidad de óxidos de minerales alta y a moléculas las cuales contienen agua al interactuar con polares zonas, lo cual queda como una hidratación extensa de la superficie de silicatos, sulfatos y carbonatos, esto permite a la superficie ser mucho más hidrofílica (Siqueira, 2013).

Para tal evento, es preciso que se modifique la cara mineral, para ejemplificar, aplicar reactivos que se conocen tal cual activadores. A los minerales oxidados, es relevante ingresar agentes sulfurados que tengan la función de activar la superficie mineral oxidada. Sería parecido a camuflar la superficie mineral a fin de que se vuelva sulfuro y de así el colector interviene de manera selectiva. El azufre actúa en la cara mineral oxidada incrementando la carga de la superficie negativa del mineral, beneficiando el protocolo de alternancia. La sulfurización disminuye también su característica hidrófila de externa capa de partículas, eso hace posible que mejore en el colector la adsorción (Russo, 2007).

El protocolo de alternancia se puede restringir o volverse inviable si al concentrar y separar los minerales son finos en extremo. Con frecuencia, el protocolo necesitará emplear equipos con mayor precisión a estos materiales, tal cual en casos de reemplazo de convencionales celdas por columnas de alternancia. No obstante, emplear dispersantes con el propósito de conservar las partículas que se descomponen y se dispersan es posible que agrave el éxito en el protocolo de alternancia. Su actividad posee vinculación directa respecto a la magnitud de las partículas (Siqueira, 2013).

2.2.5.2 Influencia del tamaño de partícula

Ciertos almacenamientos de minerales muestran tal cual material desecho una secuencia de arcillosos minerales o de demás minerales que provienen de protocolos alterados, mostrando dimensiones de coloidal, ultrafina o fina partícula. Aparte del protocolo natural, estas finas partículas pueden ser creadas de la fragmentación mineral mediante el proceso de trituración, en especial si es baja la liberación, necesitando una molienda mayormente fina a fin de liberar el útil mineral, o lo que es lo mismo, liberado de mineral ganga.

El deslamado se trata de una alternativa de aplicación muy frecuente en casos de minerales con muchos finos. Por medio de su empleo, se facilita el descarte de finas partículas que harán difícil la alternancia y que necesitarán dosis altas de reactivos

Según Somasundaran (1980, citado en Nogueira,2015), los fragmentos pueden ser clasificados de acuerdo con sus dimensiones, tomando en cuenta:

- Coloides: fragmentos por debajo de 1 μm ;
- Ultrafinas: fragmentos imposibles de ser separadas mediante técnicas tradicionales como flotación, que su dimensión oscila entre 1 y 10 μm ; Finas: partículas con mucha dificultad para ser separadas por medio de técnicas gravimétricas, con dimensión entre 10 y 100 μm ;
- Fragmentos de alto grosor: fragmentos por encima de 1000 μm ;
- Barro: combinación de fragmentos ultrafinos y fragmentos coloidales, por lo general conformadas por ganga ocasionada por trituración.

La incidencia de partículas de fragmentos ultrafinos y finos en método de alternancia se ha investigado por Baltar (2010) quien indicó ciertos inconvenientes en la alternancia de fragmentos, como:

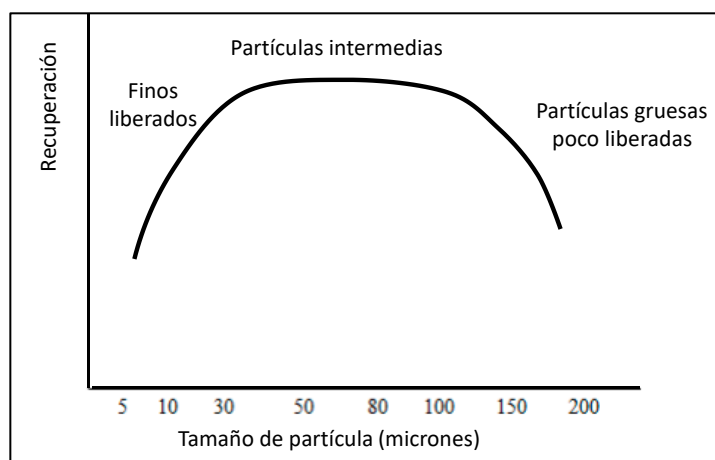
- Cara alta por para cada unidad de la masa, esto se refiere a más alta disposición de zonas activas de lo cual se obtiene el resultado de un consumo más alto de reactivos;

- Impulso deficiente, por ello los fragmentos finos tienen la tendencia a perseguir el fluido acuoso, por lo que hace difícil que el fragmento y la burbuja se contacten, lo cual resulta en hidrodinámico "arrastre";
- El choque probable con burbujas del aire tiene proporción con el diámetro de los fragmentos, es por ello que, los pequeños fragmentos poseen una cinética de alternancia de menor magnitud;
- Dureza de la espuma por presentar fragmentos finos en la líquida superficie dentro de burbujas, lo que dificulta el procedimiento para bombear y filtrar.

No obstante, el tamaño de los fragmentos nocivos para el procedimiento de acumulamiento por flotación tiene dependencia del nivel de escala en las operaciones y presenta variación de acuerdo a los minerales que posee el mineral. De acuerdo con Pease et al. (2006), la forma que las curvas de la eficiencia en la flotación adoptan tiene dependencia de la magnitud del fragmento y es parecido a casi todos los minerales, en el cual puede observarse el mayor rescate para los fragmentos de dimensiones moderadas. La exposición acerca del comportamiento deficiente en los bordes de granulométricos rangos, es debido a la dependencia que presenta la cinética de alternancia de un trío de elementos que son, transporte, adherencia y colisión. El transporte y la adhesión dentro de las burbujas y de los fragmentos las favorece la reducción de la dimensión del fragmento. Las probabilidades para colisionar se ven favorecidas al incrementarse las dimensiones de los fragmentos. Es por ello que, a los fragmentos de menor dimensión, se le puede afectar la alternancia debido a la eficiencia baja en cuanto al traslado de la colisión, entre tanto, respecto a los fragmentos de mayor grosor, cuando la fortaleza en que se rompen es más alta que la fortaleza en que se adhieren, los fragmentos no hacen conjunción con las burbujas (Figura 12).

Figura 12

Impacto de la dimensión de fragmento en la recuperación por alternancia.



Nota: Pease et al. (2006)

2.2.5.3 Fuerzas involucradas en la dispersión

La noción DLVO, en función de esta noción, un método coloidal presenta estabilidad si la fortaleza de repulsión está por encima de la fortaleza de atracción, adicional, detalla las condiciones de agregación y de dispersión de fragmentos sumamente finos ($<10\ \mu\text{m}$) en las pulpas de los minerales basándose en alteraciones de la energía. La adición de la fortaleza potencial de la atracción (V_a), adremos de las potenciales energías de repulsión (V_r) tienen correspondencia con la potencial fortaleza total al interactuar (V_t). La ocurrencia de la dispersión se da en el momento en que V_r está por encima de V_a . En el caso contrario, existe una circunstancia de agregación (Luz et al., 2010).

La energía con la cual interactúan es causada por la fortaleza Van der Waals a un par de fragmentos cuya naturaleza es igual en un hábitat con agua (atractivo) y las que dentro de capas dobles de electricidad de fragmentos cuyas cargas en la superficie son equitativas (repulsivas). Haciendo completo el DLVO típico, los análisis indican una relevante energía interactuando, cuyo nombre es fortaleza de hidratación estructural hidrofóbica (de atracción) y de hidratación (de repulsión) las cuales conforman el X-DLVO.

La noción innovadora que se aplica al protocolo de alternancia, advirtiendo que un mineral que esté presente modifica las características del agua en la cercana zona a la cara (Silvestre, 2007).

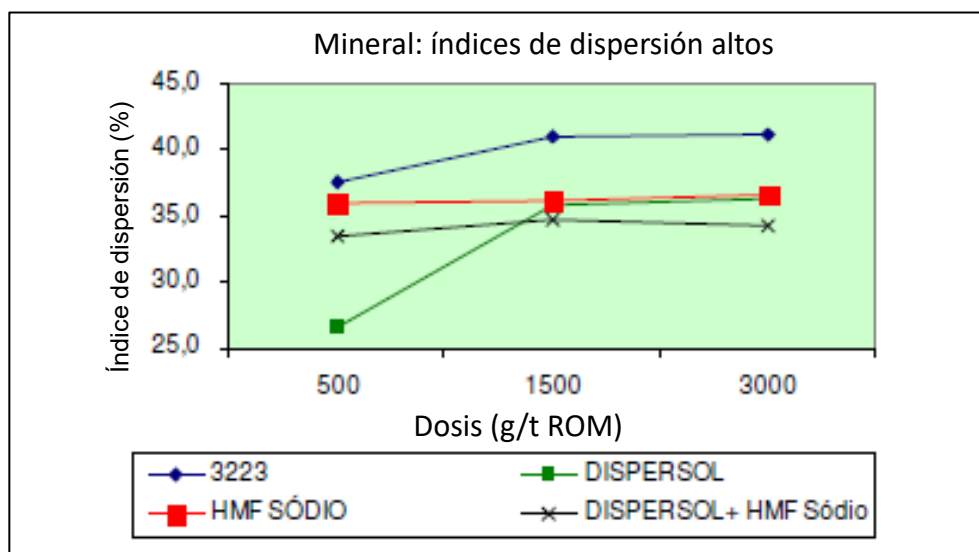
La potencialidad Z es posible que señale la magnitud de la dispersión de un método por la fuerza de electricidad repulsiva. Al haber menor cantidad de cargas y de iones en el método, habrá menor fuerza repulsiva, lo cual se expresa en valoraciones de la potencia Z de menor magnitud (de 15 mV y +15 mV). Tal hecho, concluye en que el método se dispersa en menor magnitud (Nogueira, et al., 2015).

Silvestre (2007) analizó la incidencia de la condición de dispersión en alternancia de willemita, mostrando alteraciones en la magnitud de dispersión de acuerdo al pH, señalando a los emisores de hidróxido sódico (NaOH) y de sulfuro sódico (Na₂S) tal cual gestores de dispersión de mencionado mineral. La magnitud de dispersión fue establecida de acuerdo a un protocolo nuevo de ensayo, inducido por quien tiene la autoría y después, dado a conocer a través de una variedad de analíticos. Para lo cual, fue empleada este método a fin de establecer la magnitud de dispersión de mineral sulfúrico de zinc en comprobaciones en las que, la variante, resultó ser la clase de dispersión usada.

La Figura 13 indica al Reactivo 3223 como el reactivo que presenta mayor índice de dispersión, de manera especial en altas dosificaciones.

Figura 13

Dosis de dispersores empleados en la alternancia de zinc de acuerdo a la magnitud de dispersión.



Nota: Tomado de Silvestre (2007).

Sabiendo que las condiciones de agregación y de dispersión tienen dependencia de las particularidades electrostáticas que poseen los fragmentos suspendidos, los dispersores responden a los reactivos que se requieren en el protocolo de alternancia, por cuanto, son adsorbidos en la cara mineral, por lo que incide en sus electrostáticas condiciones (Russo, 2007).

En un método donde predominan la fortaleza de la repulsión, la estabilidad se logra de forma natural. No obstante, si esta característica no ocurre de manera inherente, se necesita inducir dispersores a fin de impulsar la fortaleza de repulsión y, por ende, lograr la dispersión. Según Bulatovic (2007), los dispersores se emplean con el propósito de prevenir que se agreguen fragmentos finos y, en ciertos hechos, con el propósito de disminuir lo viscoso que puede ser la pulpa.

Al procesar minerales, los dispersantes cumplen la función de optimizar la alternancia mineralógica, impidiendo que se recubra de lodo y que se disperse de minerales de desecho en protocolos de selectiva flotación. El empleo de dispersores en las pulpas contenedoras de ganga es posible que sea una resolución a fin de perfeccionar el protocolo de alternancia y,

en ocasiones, puede suprimir la necesidad de una fase para deslamar, en la cual, lo que se pierda pudiera ser considerable (Silva, 2006).

Existen innumerables estudios, en los cuales se observó que, a mayores dosis del dispersante analizado, el grado de dispersión aumentaba, lo que se traducía en un incremento en el rescate metalúrgico sin que se perdiera contenido de acumulación. Adicional, del correcto empleo de los dispersores durante el protocolo, una etapa previa de atrición a la alternancia es posible que mejore la activación, dispersión, en el momento que se necesite y recopilación de los minerales que interese. Esta etapa tiene como objetivo eliminar de la cara los fragmentos erosionados, que pueden estar recubiertos, para ejemplificar, por minerales arcillosos o limonitas. Los equipos necesarios tienen que ver con depuradores los cuales consisten en agitar componentes por hélices los cuales hacen giros en alternas orientaciones. Así, se generan fluidos alternos de la pulpa que los mueven las hélices, provocando que se desgaste de la cara del fragmento, lo requerido (Luz, et al., 2010). Los métodos para dispersar, hacer atrición y la variedad de dispersores de los que se disponen a la venta pública ayudan a tratar los protocolos de la minería metalúrgica, permitiendo el rescate de metales que están presentan, especialmente en sumamente finos y alterados materiales.

2.2.5.4 Flotación de minerales polimetálicos

Tomando en cuenta que hay minerales de cobre ligados estrechamente al mineral de plata, la alternancia de tales especies es llevada a cabo, generalmente conjuntamente y en dependencia de minerales con valoración para su venta con los que mantiene vinculación, de esta manera, en el hecho de la alternancia del zinc- plomo-cobre, la fase inicial se refiere a llevar a cabo la alternancia de minerales de metales vinculados y del plomo, tal cual cobre y plata, entre tanto los relaves son dirigidos a la fase de acumulación del zinc que sigue.

La selección y fijación de las referencias de los recorridos de acumulación y protocolo de la plata y del plomo tiene dependencia de las particularidades en minerales a acumular, de manera esencial de sus superficiales características. Así mismo, el proceso de los minerales de sulfuro y de no sulfuro es considerablemente diferente, en lo que se necesita, a todos los tipos de minerales, definir el procedimiento de acumulación concreto, con criterios de

operatividad apropiados de manera exclusiva a todos los yacimientos que se han explorado (Canahuiri, 2014).

Según Yovanovic (2004), la identificación de especies contenidas en el depósito, resulta la fase inicial en un estudio del protocolo de acumulados por alternancia, además, el grado de alternancia de los minerales que interesan relacionados con la naturalidad de estos haciendo presencia, de la misma forma, las dimensiones del grano, estado de la cara, la textura y la estructuración del mineral del depósito.

El estudio de los minerales a los cuales son sometidos estos, pretende adquirir contestación a las interrogantes vinculadas a los elementos que siguen:

- Identificar las especies que existen.
- Estudiar la vinculación con los demás minerales además de su textura.
- Establecer el nivel en que son liberados los minerales a ser estudiados, considerando las vinculaciones del mineral.
- Determinar nociones de estudio de variantes: la conformación de los minerales presentes; composición de las distintas especies minerales que conforman un mismo elemento, como cobre, calcopirita, malaquita, cuprita, tenorita, enargita, azurita, entre otros.
- Fijar los fundamentos de medición del no acatamiento de metas para el protocolo, como son: la resulta negativa vinculada al rescate, excelencia, eliminación y/o electividad de contaminantes, también, corroborar la relevancia del protocolo, como de inconvenientes mineralógicos.

La dosis de reactivos responde a una entre las referencias con más esencia en el protocolo de alternancia y, la selección de los reactivos a ser empleados, influirá en forma notable en el rescate y la excelencia del acumulado, a pesar de que no hay una sugerencia general que indique como acumular las clases diferentes de minerales. Generalmente son medidos algunos reactivos a ciertas especies:

Los minerales comúnmente asociados con el cobre incluyen:

1. **Calcosina:** También conocida como sulfuro de cobre (I), es uno de los minerales de cobre más importantes y es una fuente primaria de cobre.
2. **Calcopirita:** Es un mineral compuesto de sulfuro de hierro y sulfuro de cobre. Es la principal mena de cobre y se asocia a menudo con minerales de oro y plata.
3. **Bornita:** También conocida como sulfuro de hierro-cobre, es otro mineral sulfúrico del cobre, cuyo color es de marrón a bronce.
4. **Cuprita:** Se trata de óxido del cobre (I) presentado como cristales o granos masivos cuyo color es rojo oscuro o marrón rojizo.
5. **Malaquita:** Un carbonato de cobre secundario que a menudo se forma por la intemperización de otros minerales de cobre.
6. **Azurita:** Otro carbonato de cobre secundario que se forma en la intemperie de otros minerales de cobre.

Estos minerales están estrechamente asociados con los depósitos de cobre y su presencia es de gran importancia en el proceso de flotación y recuperación de este metal.

2.3. Definición de términos

Deslamado (Desliming en inglés): Responde a un común protocolo empleado en el proceso de minerales de manera principal a fin de desaparecer finos fragmentos (fragmentos de limo) los cuales consumen excesivas cantidades de colector por sus zonas grandes de cara y los cuales cubren valiosos minerales dificultadores del contacto entre la burbuja y el mineral (Vilca, 2019).

Flotación: Expone la forma a través de la que conjuntamente los alteradores y los recolectores los criterios que una sustancia química elemental colecciona un mineral concreto, de la misma manera debe determinarse el estado química físico el cual ocasionará el rendimiento perfecto del protocolo (Vilca, 2019).

Proceso de flotación: Contiene a las técnicas y métodos para separar, química o físicamente el cual guarda el fundamento de la no igualdad dentro de las particularidades de

los materiales, donde su protocolo de separación y acumulación, lo favorece la no igualdad en las particularidades químicas y físicas de las caras de minerales (Vilca, 2019).

Reactivos de flotación. Son materias químicas que las define el protocolo en cuanto al rescate de los componentes posibles de ser comercializados, los cuales causan la depresión del desecho e de los insolubles. Utilizando reactivos se puede hacer la separación de lo valioso en un acumulado con variada conformación (Vilca, 2019).

Regulador de pH: El pH evalúa la alcalinidad o acidez en pulpa en una categoría fijada, donde el propósito es mantener control y así incrementar y reducir la adsorción del recolector, excepto ciertos eventos, la efectividad de todas las variantes del protocolo de alternancia está vinculada a la acumulación de hidrógeno (Vilca, 2019, p.11).

CAPÍTULO III

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Las hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

- Con la adición/modificación de NaSH, pH y P80 mejoraremos la recuperación de cobre en la etapa Rougher, en un mineral con contenido de arcillas.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Al adicionar una dosificación de NaSH mejoraremos la recuperación de cobre de la etapa Rougher.
- Al determinar el tamaño de partícula (P80) mejoraremos la recuperación de cobre de la etapa Rougher.
- Al determinar el pH adecuado mejoraremos la recuperación de cobre de la etapa Rougher.

3.2. Las variables

3.2.1 Variable dependiente (Y)

- Recuperación de concentrado de cobre (%)

3.2.2 Variables Independientes (Xi)

- Dosificación de NaHS (Hidrosulfuro de sodio)
- P80 de Flotación (um)
- pH de Flotación

3.2.3 Operacionalización de variables

NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Dosificación de NaHS (Hidrosulfuro de sodio)	Estos datos se recolectan con la ayuda de una micropipeta y es medido en g/t
P80 de Flotación (um)	Estos datos se recolectan con la ayuda de tamices y es medido en (um)
pH de Flotación	Estos datos se recolectan con la ayuda de un pHmetro

CAPÍTULO IV

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El grupo estudiado seleccionado fue extraído de la zona ubicada en la provincia de Espinar – Cuzco.

El establecimiento de los análisis de caracterización y totales componentes de porciones muestrales sólidas y de la pulpa será llevada a cabo dentro de los laboratorios de la planta de concentración.

4.2. Diseño de investigación

Experimental fue el diseño con el cual fue trabajado, dadas las particularidades del material primero que confirman el mineral y al querer particularizarlo de manera mineralógica, debe enfatizarse más en los análisis que se llevan a cabo en el microscopio óptico polarizador. Estos estudios hacen posible, exploratoriamente, una perspectiva de la realidad de la conducta del conformante ante el procesamiento, con independencia que sea un mineral de valor alto o de los que crean ganga. Esta clase de estudio está basada principalmente, en reconocer las propiedades ópticas principales de minerales por medio de un microscopio polarizador óptico.

4.3. Población y Muestra

A fines del estudio de este proyecto fueron tomadas las porciones muestrales del cuerpo mineralizado “Stock STD”, del cual se realizaron las pruebas de flotación variando la dosificación de Hidrosulfuro de Sodio (NaSH), tamaño de partícula (P80) y pH de la pulpa, los cuales optimizarán la recuperación del cobre en el protocolo de alternancia.

4.3.1. Tamaño de muestra

Las porciones muestrales a estudiar fueron suministradas de cuerpos minerales localizados en la zona de Espinar – Cuzco a fin de ser procesadas.

La cuantía de porción muestral pesa 100 kg aproximadamente por zona en extracción; a fin de poder evaluar la mineralogía previo a su procesamiento en laboratorio.

4.3.2. Selección de muestra

4.3.2.1. Criterio de inclusión

Las porciones muestrales deben representar a la totalidad del stock de minerales, en el que la totalidad del material pueda ser muestreado previo a que ingrese a concentradora planta, y así después, llevar a cabo el blending que corresponde a homogenizar al mineral, y de esta manera llevar a cabo la preparación necesaria para que sea procesado.

4.3.2.2. Criterio de exclusión

A fin de encontrar el producto que se obtuvo en laboratorio, fue preparado de manera mecánica en chancadora de quijada hasta lograr la obtención de un producto 100% pasado por una malla 10, después, se realizaron las pruebas en húmedo de molienda y flotación a fin de establecer la granulometría y la dosificación de reactivos en este trabajo investigativo.

4.4. Procedimiento, Técnicas e instrumentos de recolección de información

Los métodos para recolectar información son:

- Datos a fin del equilibrio metalúrgico, en este sentido, últimos procesamientos de la planta de concentración.
- Dosis de reactivos en planta concentradora.
- Adquirir una porción muestral que represente al mineral con la que será realizada esta investigación.

- La porción muestral que se obtiene se prepara a una granulometría 100% -10 malla a las comprobaciones de molienda con lo producido medido la particularidad del mineral en cada zona extraída.
- La porción muestral molida finamente se envía al laboratorio para estudios químicos a fin de obtener las leyes de cobre (Cu) y hierro (Fe) con sus asociaciones. El cobre puede estar presente en forma de óxidos, formados a consecuencia de ser expuesto el cobre a la intemperie y la interacción con el oxígeno en el aire. Los minerales de sulfurados de Cobre, como la calcopirita y la bornita, contienen cobre y azufre en su estructura molecular. Algunos minerales de cobre, como la calcopirita, pueden contener hierro en su estructura, y las impurezas de hierro pueden estar presentes en la muestra de mineral.
- Estos elementos y compuestos pueden estar estrechamente ligados al cobre y, por lo tanto, es esencial analizarlos conjuntamente para una comprensión completa de la composición de la muestra y su potencial valor económico.
- A fin de caracterizar la mineralogía, los análisis fueron realizados con equipo de Difracción de Rayos-X (DRX) (porción muestral de 400 gramos cabeza), a fin de encontrar diferentes clases de vínculos de magnitud de fragmentos, la clase mineralógica y su liberación.
- Basándose en la particularidad del mineral fueron elaborados bocetos de ensayos de la flotación de cobre y analizar la incidencia de variaciones en la dosificación de NaSH, tamaño de partícula (P80) y pH.
- Fueron optimizadas las variables más influyentes en la recuperación para cada zona.
- Obteniendo la data del protocolo de alternancia, ayudado por el programa de estadísticas Excel y Minitab fue obtenido el blending idóneo a fin de originar más ganancias económicas en el acumulado de cobre.

- Son realizadas comprobaciones en laboratorios con las valoraciones adquiridas de los programas de referencia al blending y la dosis idónea a fin de originar un performance metalúrgico del concentrado de cobre.

4.5. Análisis estadístico

Fue recopilada la data a través de sistematizado muestreo de acuerdo al estándar de laboratorio, en el que fueron clasificadas y codificadas las porciones muestrales según sus particularidades con el fin de enviarlas al laboratorio, en el que serán realizadas las pruebas correspondientes.

Con los resultados se realizaron los análisis mediante el software analítico y monitoreo de estadística de protocolos Minitab.

Resumen de análisis químico

Tabla 2
Análisis químico

Análisis	Cu	Fe	Ins
	%	%	%
Stock STD	1.14	5.13	66.73

Nota. Fuente propia.

Tabla 3
Máximo y mínimo de la variable

Variable	N	Mínimo	Media	Máximo
NaSH (g/TM)	10	100.0	150.0	200.0
pH	10	9.500	10.000	10.500
P80 (um)	10	220.00	245.00	270.00

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Diseño experimental factorial (Software Minitab)

Tabla 4

Diseño experimental factorial

Prueba	Variables codificadas			Variables Independientes (Xi)			Variable Dependiente (Y)
	X1	X2	X3	pH	NaSH (g/TM)	P80 (um)	% Rec. Cu
P1	-1	-1	-1	9.50	100.00	220.00	72.77
P2	1	-1	-1	10.50	100.00	220.00	72.32
P3	-1	1	-1	9.50	200.00	220.00	74.13
P4	1	1	-1	10.50	200.00	220.00	73.50
P5	-1	-1	1	9.50	100.00	270.00	73.24
P6	1	-1	1	10.50	100.00	270.00	73.74
P7	-1	1	1	9.50	200.00	270.00	72.97
P8	1	1	1	10.50	200.00	270.00	73.92
P9	0	0	0	10.00	150.00	245.00	73.29
P10	0	0	0	10.00	150.00	245.00	73.36

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Resumen descriptivo de las pruebas

Tabla 5

Descripción de las pruebas

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
PESO CONC RGH	10	0	76.133	2.064	72.750	74.379	75.960	78.000	79.090
MASS PULL	10	0	7.5420	0.2082	7.2359	7.3495	7.5418	7.7135	7.8529
Grado Cu, %	10	0	10.993	0.327	10.485	10.690	11.002	11.229	11.513
Grado Fe, %	10	0	10.607	0.352	10.150	10.255	10.632	10.959	11.068
Finos Cu (g)	10	0	8.3652	0.1772	8.1031	8.1857	8.3850	8.5096	8.5816
Finos Fe (g)	10	0	8.075	0.333	7.613	7.802	8.044	8.309	8.699
Recuperación Cu (%)	10	0	73.325	0.544	72.322	72.922	73.325	73.785	74.135
Recuperación Fe (%)	10	0	15.584	0.700	14.652	14.949	15.514	16.075	16.864
Cabeza Cu, %	10	0	1.1400	0.000000	1.1400	1.1400	1.1400	1.1400	1.1400
Cabeza Fe, %	10	0	5.1300	0.000000	5.1300	5.1300	5.1300	5.1300	5.1300
Cabeza Calc. Cu, %	10	0	1.1301	0.0176	1.0975	1.1173	1.1329	1.1440	1.1536
Cabeza Calc. Fe, %	10	0	5.1335	0.0218	5.0936	5.1186	5.1350	5.1527	5.1690
pH	10	0	10.000	0.471	9.500	9.500	10.000	10.500	10.500
NaSH (gr/TM)	10	0	150.0	47.1	100.0	100.0	150.0	200.0	200.0
P80 (um)	10	0	245.00	23.57	220.00	220.00	245.00	270.00	270.00

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Balance metalúrgico de las pruebas

Tabla 6
Balance metalúrgico

BALANCE METALURGICO										
STD	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	999.80	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	77.57	7.76	10.31	10.79	8.00	8.37	71.25	16.30	12.89
	Relave	922.23	92.24	0.35	4.66	3.23	42.98	28.75	83.70	-
	Cabeza Calculada	999.80	100.00	1.12	5.14	11.23	51.35	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
1	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1005.00	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	76.28	7.59	10.74	10.98	8.19	8.38	72.77	16.36	13.18
	Relave	928.72	92.41	0.33	4.61	3.06	42.81	27.23	83.64	-
	Cabeza Calculada	1005.00	100.00	1.12	5.09	11.26	51.19	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
2	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.50	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	79.09	7.81	10.49	10.27	8.29	8.12	72.32	15.65	12.80
	Relave	933.41	92.19	0.34	4.69	3.17	43.78	27.68	84.35	-
	Cabeza Calculada	1012.50	100.00	1.13	5.13	11.47	51.90	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
3	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.90	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	77.80	7.68	11.02	10.65	8.58	8.29	74.13	15.98	13.02
	Relave	935.10	92.32	0.32	4.66	2.99	43.58	25.87	84.02	-
	Cabeza Calculada	1012.90	100.00	1.14	5.12	11.57	51.86	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
4	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.10	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	74.54	7.36	11.51	10.21	8.58	7.61	73.50	14.65	13.58
	Relave	937.56	92.64	0.33	4.73	3.09	44.35	26.50	85.35	-
	Cabeza Calculada	1012.10	100.00	1.15	5.13	11.68	51.96	100.00	100.00	-

Nota. Elaboración propia.

BALANCE METALURGICO										
5	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1005.40	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	72.75	7.24	11.23	10.95	8.17	7.97	73.24	15.38	13.82
	Relave	932.65	92.76	0.32	4.70	2.98	43.83	26.76	84.62	-
	Cabeza Calculada	1005.40	100.00	1.11	5.15	11.15	51.80	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
6	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1000.90	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	78.60	7.85	10.54	11.07	8.29	8.70	73.74	16.86	12.73
	Relave	922.30	92.15	0.32	4.65	2.95	42.89	26.26	83.14	-
	Cabeza Calculada	1000.90	100.00	1.12	5.15	11.24	51.59	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
7	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1011.80	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	73.90	7.30	10.97	10.61	8.10	7.84	72.97	15.00	13.69
	Relave	937.90	92.70	0.32	4.74	3.00	44.46	27.03	85.00	-
	Cabeza Calculada	1011.80	100.00	1.10	5.17	11.10	52.30	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
8	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1011.80	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	77.20	7.63	10.98	10.30	8.48	7.95	73.92	15.30	13.11
	Relave	934.60	92.37	0.32	4.71	2.99	44.02	26.08	84.70	-
	Cabeza Calculada	1011.80	100.00	1.13	5.14	11.47	51.97	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
9	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.90	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	75.53	7.46	11.24	10.87	8.49	8.21	73.29	15.85	13.41
	Relave	937.37	92.54	0.33	4.65	3.09	43.59	26.71	84.15	-
	Cabeza Calculada	1012.90	100.00	1.14	5.11	11.58	51.80	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
10	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1009.40	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	75.64	7.49	11.22	10.15	8.49	7.68	73.36	14.81	13.34
	Relave	933.76	92.51	0.33	4.73	3.08	44.17	26.64	85.19	-
	Cabeza Calculada	1009.40	100.00	1.15	5.14	11.57	51.84	100.00	100.00	-

Nota. Elaboración propia.

Estudio del control de la Ley del Cobre

El estudio de control de la excelencia fue realizado comparando la Ley de Cu analizada en laboratorio (**Cab. Cu, %**), y la Ley calculada de cabeza (**Cab. Calc. Cu %**) a través de una Matriz:

Tabla 7

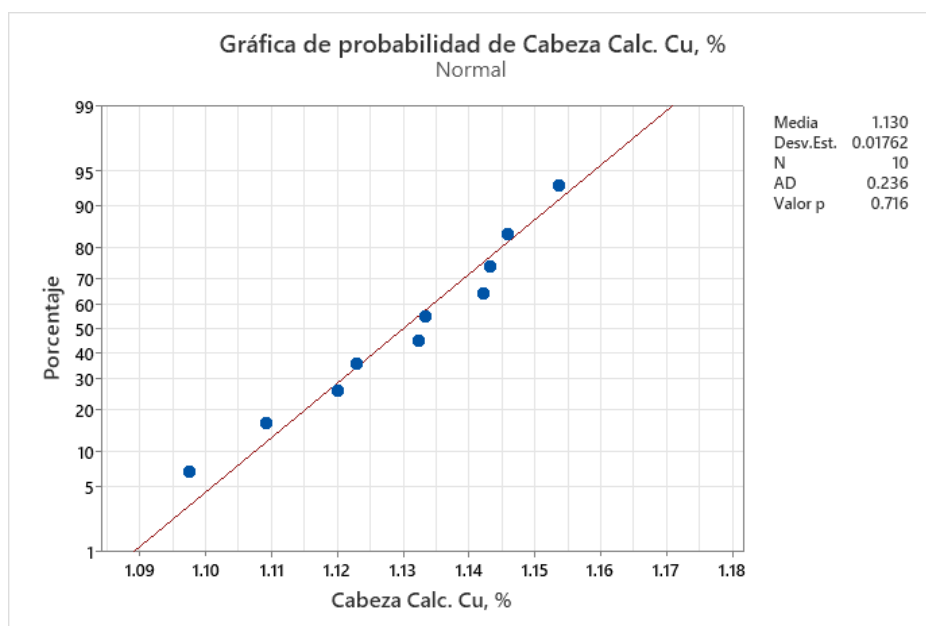
Datos para matriz del control de la Ley del Cobre

Ítem	Cab. Cu (%)	Cab. Calculada Cu (%)	Delta
1	1.14	1.12	0.02
2	1.14	1.13	0.01
3	1.14	1.14	0.00
4	1.14	1.15	-0.01
5	1.14	1.11	0.03
6	1.14	1.12	0.02
7	1.14	1.10	0.04
8	1.14	1.13	0.01
9	1.14	1.14	0.00
10	1.14	1.15	-0.01

Nota. Elaboración propia.

Figura 14

Probabilidad de Leyes de Cu



Nota. Elaboración propia.

Coeficientes codificados

Tabla 8

Coeficiente codificado

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		73.3253	0.0572	1281.09	0.000	
NaSH (gr/TM)	0.0912	0.0456	0.0572	0.80	0.509	1.00
P80 (um)	0.6138	0.3069	0.0572	5.36	0.033	1.00
pH	0.2852	0.1426	0.0572	2.49	0.130	1.00
NaSH (gr/TM)*P80 (um)	0.0661	0.0330	0.0572	0.58	0.622	1.00
NaSH (gr/TM)*pH	0.6340	0.3170	0.0572	5.54	0.031	1.00
P80 (um)*pH	-0.6562	-0.3281	0.0572	-5.73	0.029	1.00
Pt Ctral		-0.000	0.128	-0.00	0.999	1.00

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

CAPÍTULO V

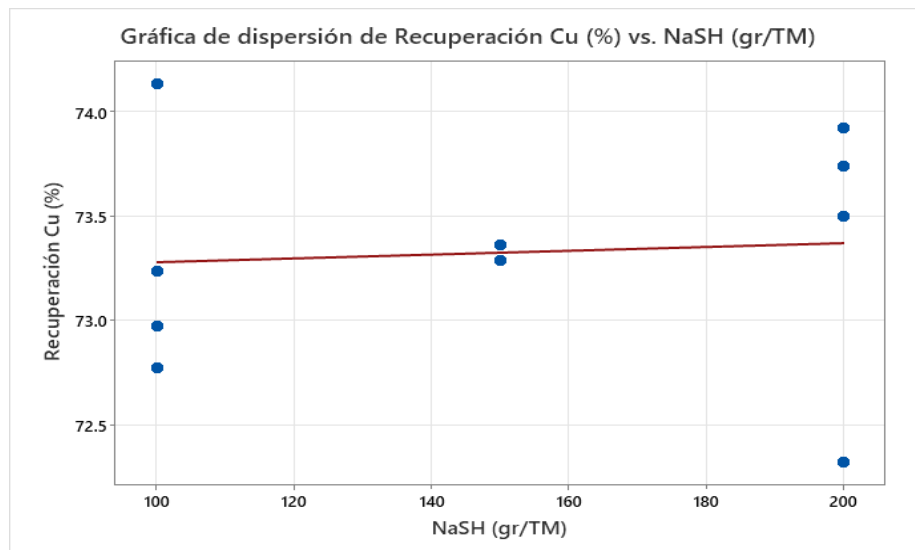
5. RESULTADOS

5.1. Presentación y análisis de resultados

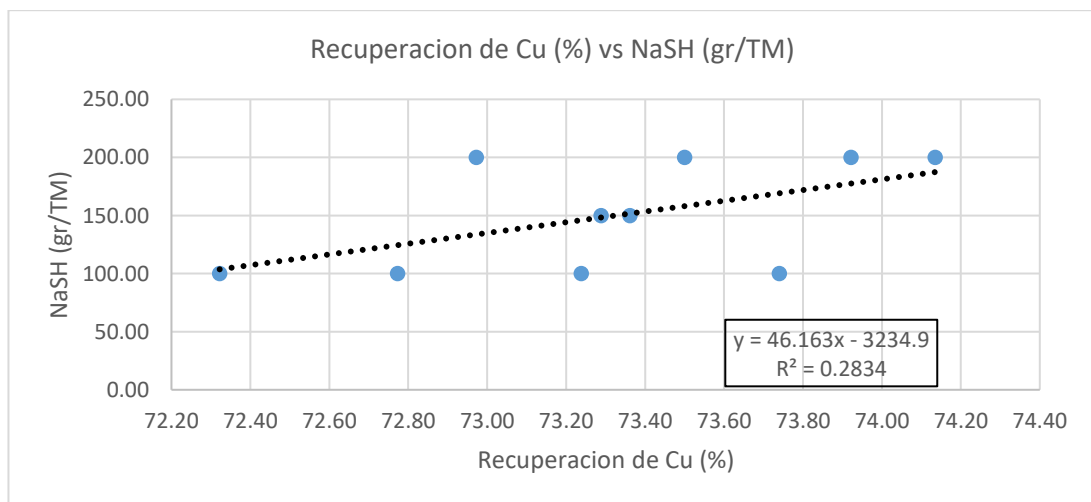
5.1.1. Resultados de Hipótesis Específica N°1:

Figura 15

Regresión lineal Hipótesis 01



Nota. Datos analizados en el programa Minitab.



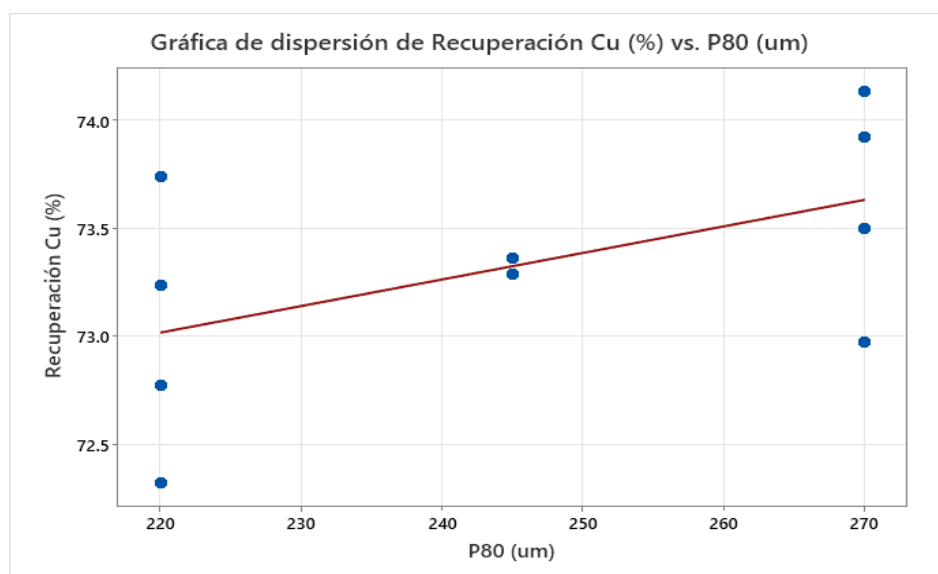
Nota. Datos analizados en el programa MS Excel.

La presente gráfica indica los efectos principales que refieren a cada variable individual y cómo afecta la respuesta (dosificación de NaSH en la recuperación de cobre). Los efectos principales representan la pendiente de las líneas o curvas en la gráfica, el efecto principal positivo significa un aumento en la dosis de NaSH, aumentando la recuperación del cobre.

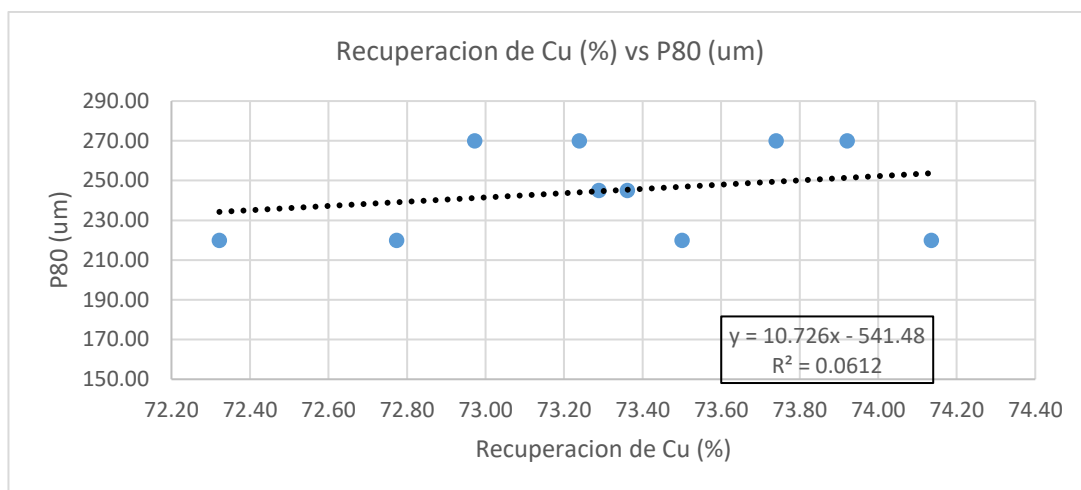
5.1.2. Resultados de Hipótesis Específica N°2:

Figura 16

Regresión lineal Hipótesis 02



Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

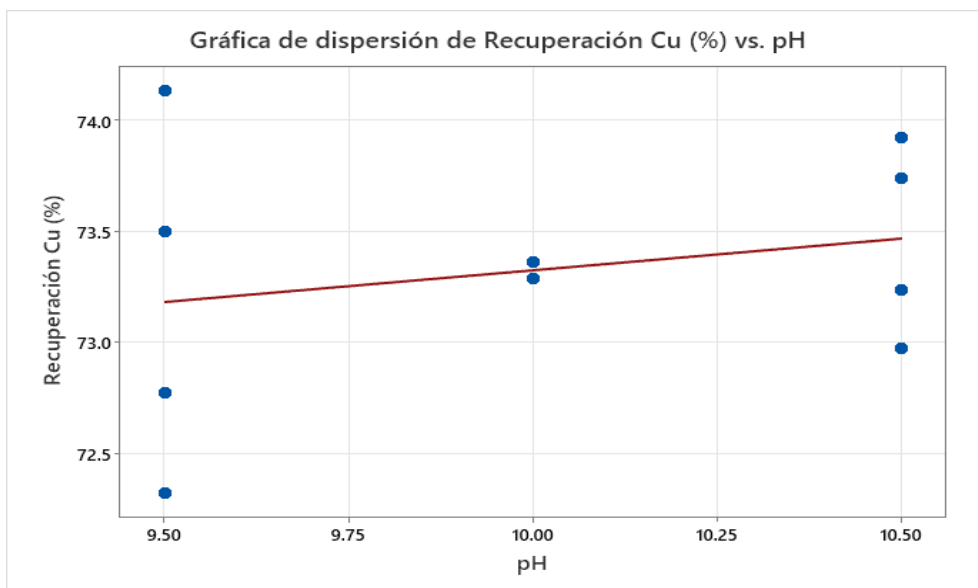


Nota. Datos analizados en el programa MS Excel.

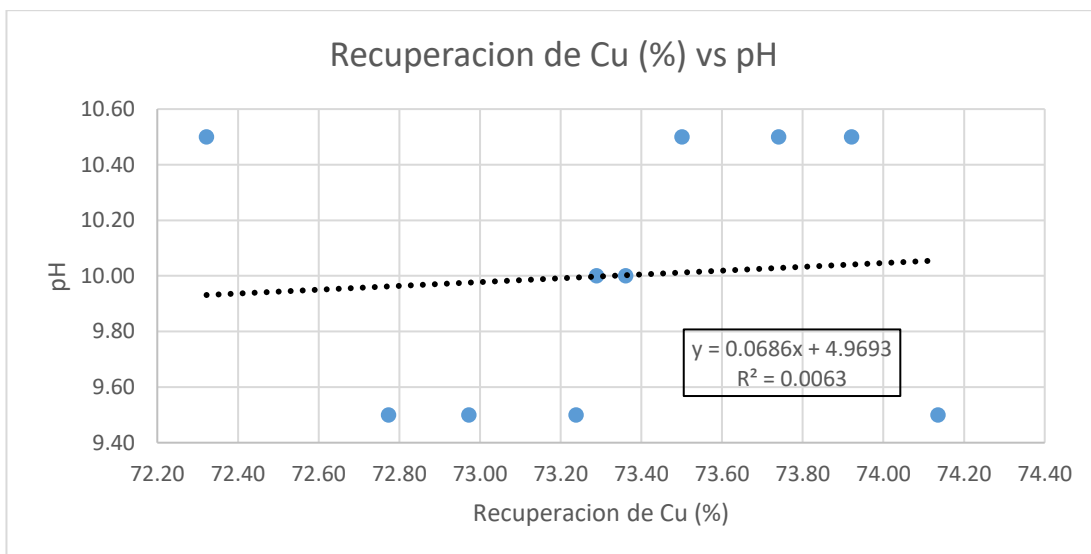
5.1.3. Resultados de Hipótesis Específica N°3:

Figura 17

Regresión lineal Hipótesis 03



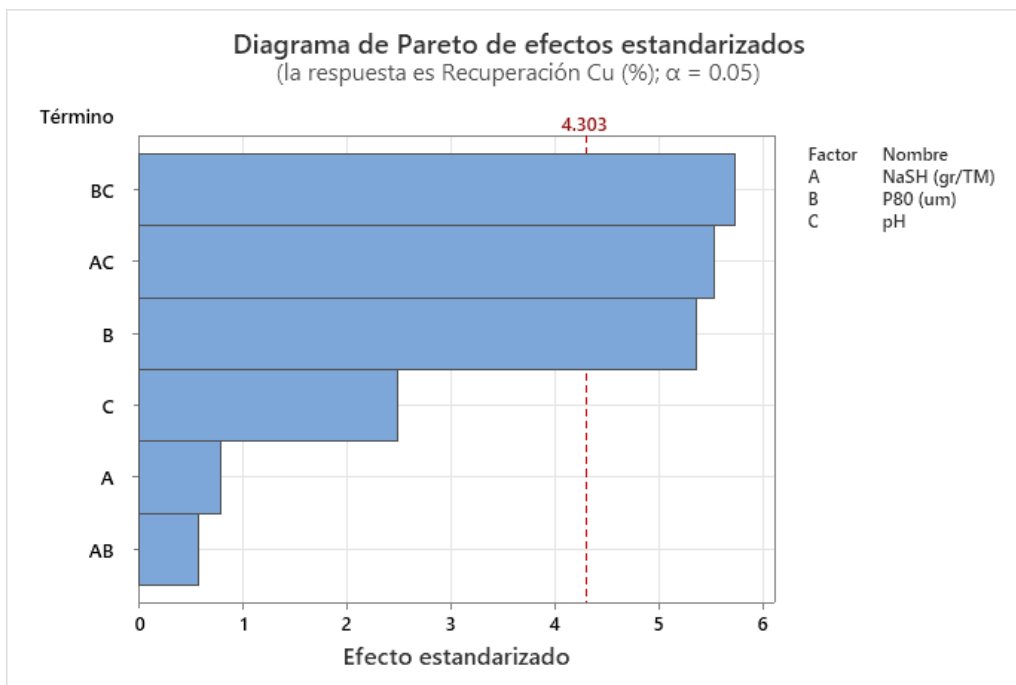
Nota. Datos analizados en el programa Minitab.



Nota. Datos analizados en el programa MS Excel

Figura 18

Diagrama de Pareto (%Rec Cu)



Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Así mismo, el siguiente diagrama de Pareto (Figura 18) indica que el parámetro de mayor influencia en la recuperación de cobre obtenida (%Rec Cu) es la interacción entre P80 y pH, seguido de la interacción de NaSH y pH y finalmente el pH (para un grado de confiabilidad del 95%).

5.2. Resultados de puntos óptimos del modelo predictivo

Tabla 9

Optimización de respuesta: Y (% Rec Cu) Parámetros

Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Recuperación Cu (%)	Objetivo	72.3221	73.5	74.1350	1	1

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Solución

Solución

Solución	NaSH (gr/TM)	P80 (um)	pH	Recuperación	Deseabilidad compuesta
				Cu (%) Ajuste	
1	150	245	10	73.3251	0.851528

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Ecuación de regresión

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}\text{Recuperación Cu (\%)} = & 23.0 - 0.1324 \text{ NaSH (gr/TM)} + 0.2708 \text{ P80 (um)} + 4.81 \text{ pH} + 0.000026 \text{ NaSH} \\ & (\text{gr/TM}) * \text{P80 (um)} + 0.01268 \text{ NaSH (gr/TM)} * \text{pH} - 0.02625 \text{ P80 (um)} * \text{pH} \\ & - 0.000 \text{ Pt Ctral}\end{aligned}$$

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Predicción de respuesta múltiple

Tabla 10

Predicción de respuestas múltiples

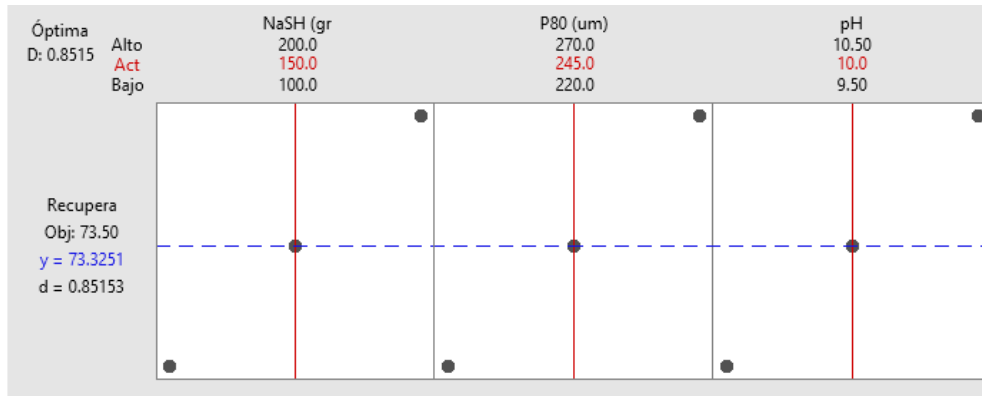
Predicción de respuesta múltiple

Variable	Valor de configuración
NaSH (gr/TM)	150
P80 (um)	245
pH	10

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

Figura 19

Predicción de respuestas múltiples

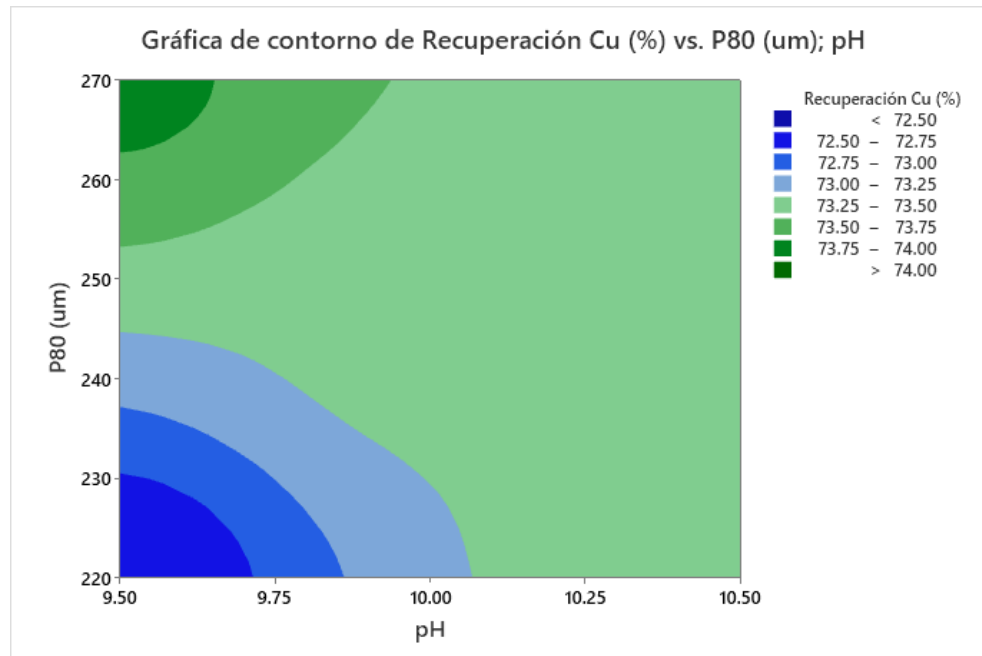


Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

El modelo predictivo indica que el porcentaje objetivo de recuperación de cobre tiene un porcentaje óptimo de 73.32%. El gráfico denota este óptimo porcentaje de recuperación con un P80 (um) de 245 micrones, con una dosificación de NaSH (g/TM) de 150.0 g/TM y pH de 10. En ese sentido, el óptimo porcentaje hace referencia a la recuperación del cobre en un procedimiento de alternancia.

Figura 20

Contorno de %Rec Cu vs P80 (um), pH

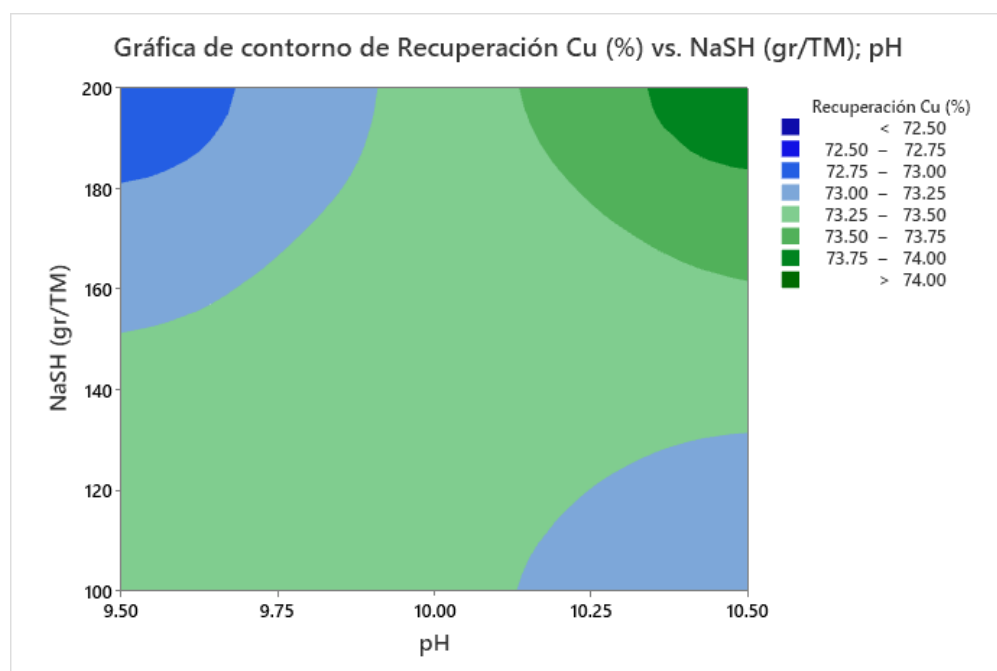


Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

En el gráfico de contornos (Figura 20) donde se observa la variabilidad del pH entre 9.5 y 10.5, y del P80 entre 220 μm y 270 μm , se confirman los resultados obtenidos en la predicción de respuestas múltiples (Figura 19). Se observa que la mayor recuperación de cobre obtenida (%Rec Cu) se representa en los intervalos de valores con mayor área, que corresponde a los intervalos de 73.25% y 73.50%, que se encuentran bastantes cercanos al valor obtenido analíticamente de 73.32%.

Figura 21

Contorno de %Rec Cu vs NaSH (g/TM), pH

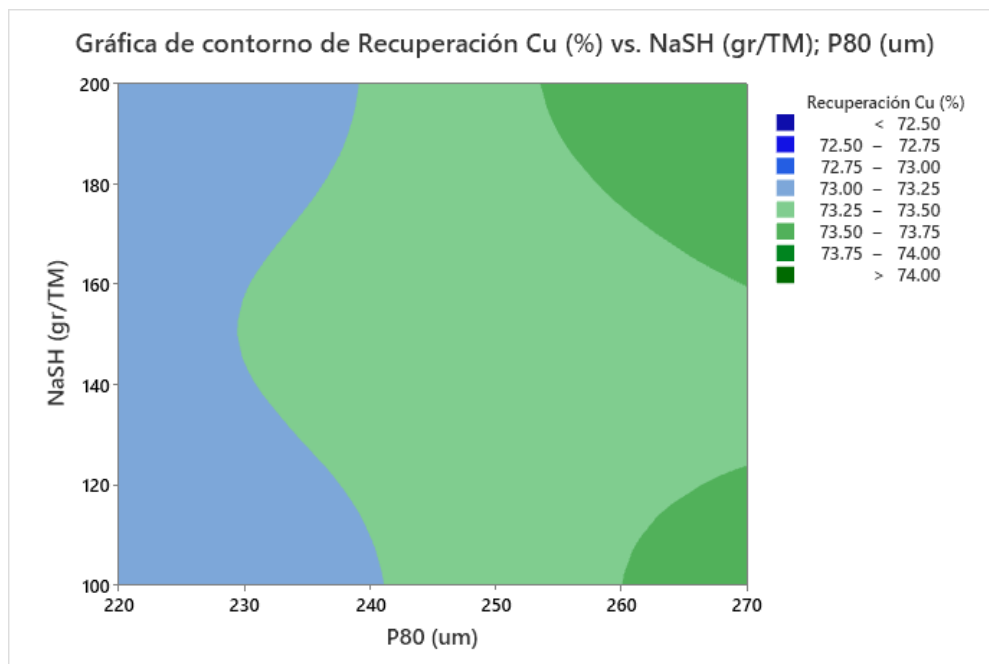


Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

En el gráfico de contornos (Figura 21) donde se observa la variabilidad del NaSH entre 100.00 g/TM y 200.00 g/TM, y del pH entre 9.5 y 10.5, se confirman los resultados obtenidos en la predicción de respuestas múltiples (Figura 19). Se observa que la mayor recuperación de cobre obtenida (%Rec Cu) se representa en los intervalos de valores con mayor área, que corresponde a los intervalos de 73.25% y 73.50%, que se encuentran bastantes cercanos al valor obtenido analíticamente de 73.32%.

Figura 22

Contorno de %Rec Cu vs NaSH (g/TM), P80 (um)



Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

En el gráfico de contornos (Figura 22) donde se observa la variabilidad del NaSH entre 100.00 g/TM y 200.00 g/TM, y del P80 entre 220 um y 270 um, se confirman los resultados obtenidos en la predicción de respuestas múltiples (Figura 19). Se observa que la mayor recuperación de cobre obtenida (%Rec Cu) se representa en los intervalos de valores con mayor área, que corresponde a los intervalos de 73.25% y 73.50%, que se encuentran bastantes cercanos al valor obtenido analíticamente de 73.32%.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la investigación realizada, la ley calculada de cabeza de cobre y de la ley del grado de cobre arrojó una correlación significativa de 72.11%. Esta correlación denota una positiva correlación dentro de las variables, lo cual indica que los análisis se llevaron a cabo con fiabilidad. Este resultado confirma la idoneidad de los datos para su implementación en un modelo predictivo, proporcionando una base sólida para las investigaciones subsiguientes.

Un resumen detallado de las pruebas revela información importante sobre diversas variables.

Tabla 11
Resumen de las pruebas

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
PESO CONC RGH	10	0	76.133	2.064	72.750	74.379	75.960	78.000	79.090
MASS PULL	10	0	7.5420	0.2082	7.2359	7.3495	7.5418	7.7135	7.8529
Grado Cu, %	10	0	10.993	0.327	10.485	10.690	11.002	11.229	11.513
Grado Fe, %	10	0	10.607	0.352	10.150	10.255	10.632	10.959	11.068
Finos Cu (g)	10	0	8.3652	0.1772	8.1031	8.1857	8.3850	8.5096	8.5816
Finos Fe (g)	10	0	8.075	0.333	7.613	7.802	8.044	8.309	8.699
Recuperación Cu (%)	10	0	73.325	0.544	72.322	72.922	73.325	73.785	74.135
Recuperación Fe (%)	10	0	15.584	0.700	14.652	14.949	15.514	16.075	16.864
Cabeza Cu, %	10	0	1.1400	0.000000	1.1400	1.1400	1.1400	1.1400	1.1400
Cabeza Fe, %	10	0	5.1300	0.000000	5.1300	5.1300	5.1300	5.1300	5.1300
Cabeza Calc. Cu, %	10	0	1.1301	0.0176	1.0975	1.1173	1.1329	1.1440	1.1536
Cabeza Calc. Fe, %	10	0	5.1335	0.0218	5.0936	5.1186	5.1350	5.1527	5.1690
pH	10	0	10.000	0.471	9.500	9.500	10.000	10.500	10.500
NaSH (gr/TM)	10	0	150.0	47.1	100.0	100.0	150.0	200.0	200.0
P80 (um)	10	0	245.00	23.57	220.00	220.00	245.00	270.00	270.00

Nota. Datos analizados en el programa Minitab.

En relación a la recuperación de cobre (%RCu), la media fue de 73.55%. La desviación estándar alcanzó 1.097. Los valores oscilan desde un mínimo de 71.85% hasta un máximo de 74.96%. Los cuartiles muestran una distribución que va desde 72.71% en Q1 hasta 74.70% en Q3.

Por otro lado, la recuperación de fierro (%RFe) promedió 15.65%, con una desviación estándar de 0.73. Los valores varían entre un mínimo de 14.65% y un máximo de 16.86%. Los cuartiles muestran una distribución que va desde 14.94% en Q1 hasta 16.14% en Q3.

En cuanto a los grados de cobre (Grado Cu) y fierro (Grado Fe), las medias fueron de 11.06% y 10.60%, respectivamente. La desviación estándar de Grado Cu fue de 0.279, mientras que para Grado Fe fue de 0.352. Los valores mínimos y máximos varían significativamente, y los cuartiles reflejan una amplia gama de datos.

El pH media fue de 10, con un error la media de 0.149 y una estándar desviación de 0.471, reflejando una variación moderada.

El P80, que indica el tamaño de partícula, tuvo una media de 245, un error de la media de 7.45 y una estándar desviación de 23.57. Los valores se distribuyeron en un rango amplio, desde 220.00 hasta 270.00.

La dosificación de NaSH (gr/TM) mostró una media de 150, con un error de la media de 14.9. Los valores variaron notablemente desde 0.0 hasta 200.0.

El balance metalúrgico se analizó detenidamente, considerando los pesos, las leyes de cobre y fierro, y las recuperaciones en el concentrado Rougher y el relave. Estos datos ofrecen una visión completa de la eficiencia en operación y la distribución del cobre en las corrientes de concentrado y relave en esta etapa.

El gráfico presentado, Figuras 20, 21 y 22, muestran los efectos principales de cada variable individual en la recuperación del cobre, centrándose en la dosificación de NaSH. Los efectos principales positivos indican que un aumento en la dosificación de NaSH conlleva un aumento en la recuperación de cobre.

Además, se destacan los resultados óptimos para la recuperación de Cobre en el concentrado que se obtuvieron, con un P80 de 245 micrones, una dosificación de NaSH de 150.0 gr/t y un pH de 10.

Ahora, comparando estos resultados con los hallazgos de los autores, Salas (2020) encontró que el colector M-11 posee un positivo impacto en la recuperación del cobre, con una dosis óptima de 0.066 g/Tn y un tiempo de flotación de 60 minutos, lo que resultó en una recuperación del 83.81% de cobre con calidad superior al 30%. Esto sugiere mejoras significativas en la eficiencia de la planta concentradora.

Por otro lado, Choque y Ramos (2020) investigaron el uso del reactivo espumante F501 y encontraron que una dosificación óptima de 42.323 g/TM y un lapso de alternancia de 10.05 minutos llegaron a una recuperación del 94.86% de cobre. Estos resultados indican que la dosificación en estos parámetros está optimizada a fin de aplicar mejoras en la eficiencia de la flotación e incrementar la recuperación de cobre.

Chambi (2020) obtuvo resultados similares al encontrar que una dosis efectiva de colector M-11 de 0.066 g/Tn, una granulometría del 69.38% en malla -200 y un tiempo de flotación de 60 minutos resultaron en una recuperación del 83.81% de cobre con calidad superior al 30%.

En conjunto, estos descubrimientos dan respaldo al ideal que la optimización de los parámetros de flotación, como la dosis de colector y el tiempo de flotación, puede tener un impacto significativo en la eficiencia del proceso y en la producción de cobre de alta calidad. Estos resultados tienen el potencial de contribuir a mejoras significativas en la eficiencia de la planta concentradora y, en última instancia, aumentar la producción de cobre.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La implementación del diseño experimental aplicado al mineral “Stock STD”, permitió la optimización de la recuperación de cobre en el proceso de flotación rougher a nivel laboratorio. La dosificación de 150 g/t NaSH, la granulometría con un P80 de 245 μm , así como el control del pH igual a 10, resultaron ser las variables y valores experimentales de mayor influencia en la recuperación del cobre; donde se obtuvo un incremento de 71.25% a 73.32% en la recuperación de cobre.
- La dosificación de 100 g/t del reactivo Hidrosulfuro de Sodio (NaSH) permitió la sulfidización de especies presentes en el mineral arcilloso de estudio, generando como resultado un beneficio en la recuperación de cobre, el cual se eleva de 71.25% a 73.32%.
- Se concluye, además, que existe una influencia significativa de la granulometría en la recuperación del cobre. En ese sentido, los resultados de las pruebas experimentales realizados al mineral “Stock STD”, determinan que el tamaño óptimo de partícula es de 220 μm , que permiten obtener un incremento superior al 2.43% de recuperación de cobre en comparación con la granulometría de flotación estándar.
- Mediante la ecuación de regresión ($Y = 23.0 - 0.1324 \text{ NaSH (gr/TM)} + 0.2708 \text{ P80 (}\mu\text{m)} + 4.81 \text{ pH} + 0.000026 \text{ NaSH(gr/TM)*P80 (}\mu\text{m)} + 0.01268 \text{ NaSH (gr/TM)*pH} - 0.02625 \text{ P80 (}\mu\text{m)*pH} - 0.000 \text{ Pt Ctral}$), se concluye que la variables de mayor influencia en la recuperación de cobre son el reactivo Hidrosulfuro de Sodio (NaSH) y el pH en menor proporción.
- Por lo general, un aumento en la recuperación del metal tiene como consecuencia una disminución en la calidad del Concentrado. En este caso, la calidad del concentrado de cobre se mantiene con valores muy cercanos, y, en algunos casos, mejores en comparación con a la prueba estándar.

7.2. Recomendaciones

1. Implementar un Control Estricto de Parámetros: Debido a la variabilidad significativa en la recuperación de cobre relacionada con el pH, la dosificación de NaSH y el tamaño de partícula P80, se recomienda que la empresa minera en Espinar - Cuzco establezca un plan de medición del sistema en línea en el proceso de flotación. Esto garantizará una mayor consistencia en la recuperación de cobre.
2. Optimizar las Condiciones Operativas: Con la identificación de las condiciones óptimas, es recomendable que la empresa estandarice sus operaciones para reflejar estos resultados. Se sugiere que se implementen un tamaño de partícula P80 de alrededor de 245 micrones, una dosificación de NaSH de 150.0 gr/t y un pH de 10 para maximizar la recuperación de cobre en la planta concentradora.
3. Inversión en Tecnología y Monitoreo Continuo: Dado que la investigación valida la idoneidad para futuros modelos predictivos y aplicaciones industriales, se recomienda que la empresa invierta en tecnología avanzada y sistemas de monitoreo continuo, asimismo, promover una Cultura de Mejora Continua, lo cual permitirá una supervisión en tiempo real de los parámetros de proceso y una adaptación rápida a las condiciones cambiantes para mantener la eficiencia en la recuperación de cobre.
4. Aplicación de Investigaciones Previas: Se aconseja que la empresa integre las mejores prácticas y lecciones de estudios anteriores en su proceso de flotación para mejorar la recuperación de cobre, ejemplo de ello es la aplicación de la geometalurgia con el cual obtendremos identificado nuestro mineral de estudio para tomar las mejores decisiones en cuanto al futuras pruebas.
5. Evaluación Costo-Beneficio: Antes de implementar una nueva técnica a gran escala, se debe evaluar el costo-beneficio para determinar si los costos asociados a la implementación están justificados por los beneficios potenciales en términos de recuperación de cobre y eficiencia.
6. Realizar pruebas piloto de este mineral problema para probar y confirmar los resultados obtenidos en la presente investigación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allende, S., & Llonto, A. (2021). Extracción del cobre a partir de tarjetas de circuitos integrados de computadoras por lixiviación ácida en la ciudad de Cusco. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5874>
- Ayala, C., Gallardo, J., & Vásquez, R. (2020). Analizador en línea para un proceso de Extracción por Solvente. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(4), 585-595. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052020000400585&script=sci_arttext&tlng=en
- Canchanya, A. & Yance, N. (2019). Selección del método de flotación separación cobre/plomo de acuerdo a la caracterización geometalúrgica del Concentrado Bulk en la Planta Concentradora Ana María Compañía Minera Brexia Goldplata Perú SAC.
- del Carmen Sánchez-González, J., Gamiño-Arroyo, Z., Gómez-Castroa, F. I., Rubio-Camposb, B. E., Sánchez-Cadenac, L. E., & Uribe-Ramírez, A. R. (2021). Recuperación hidrometalúrgica de cobre a partir placas de circuitos impresos (PCI) desechadas Hydrometallurgical recovery of copper from discarded printed circuit boards (PCBs). 9, 171. https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Javier-Alvarez-Torres/publication/358079187_Universidad_de_la_era_poscovid_Reflexiones_acerca_de_la_educacion_emprendedora_y_las_habilidades_socio-digitales_University_of_the_postcovid_era_Reflections_on_entrepreneurial_education_and_socio-digi/links/61ef3133c5e3103375bbd912/Universidad-de-la-era-poscovid-Reflexiones-acerca-de-la-educacion-emprendedora-y-las-habilidades-socio-digitales-University-of-the-postcovid-era-Reflections-on-entrepreneurial-education-and-socio-di.pdf#page=71
- Gargul, K., Boryczko, B., Bukowska, A., Jarosz, P., & Małecki, S. (2019). Leaching of lead and copper from flash smelting slag by citric acid. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19 (3).

- Gobitz, V. (2018). Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Andina. Agencia Peruana de Noticias. Recuperado de: <https://andina.pe/AGENCIA/noticia-seis-operaciones-cobre-ejecutaran-expansiones-este-ano-698171.aspx>
- González, G., Merino, G., Moreno, J. A., Gamiño, Z., Sánchez, L., & Gómez, F. (2022). Recuperación de cobre a partir de placas de circuitos electrónicos. <http://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/8027>
- Guartatanga, E., & Siguencia, G. (2019). Recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo mediante métodos biológicos al interior del campamento Guarumales-Corporación Hidroelectrica del Ecuador, CELEC EP-Unidad de Negocio Hidropaute (Bachelor's thesis). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17835>
- Gutierrez, C. (2020). RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE LA MALAQUITA UTILIZANDO SOLUCIONES DE TARTRATO MEDIANTE PROCESO DE LIXIVIACIÓN, PUNO 2017. Revista de Investigaciones, 9(1), 35-46. <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/1512>
- Jumbo, P., Townley, B., & Vargas, T. (2022) Lixiviación de minerales de cobre de baja ley en medios clorurados. https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Jumbo-Pacheco/publication/362656415_Lixiviacion_de_minerales_de_cobre_de_baja_le_y_en_medios_clorurados/links/62f667cdc6f6732999c669e1/Lixiviacion-de-minerales-de-cobre-de-baja-ley-en-medios-clorurados.pdf
- Kramer, L., Gattacceca, J., Devouard, B., Udry, A., Debaille, V., Rochette, P., ... & Martinez, R. (2020). Caleta el Cobre 022 Martian meteorite: Increasing nakhlite diversity. Meteoritics & Planetary Science, 55(7), 1539-1563. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/maps.13534>
- Magno, C. O. (2022). Evaluación de colectores RC 415 Y MX 945 en la recuperación de cobre-Minera Chinalco Perú SA-Morococha-2021. <http://45.177.23.200/handle/undac/2414>
- Meller, P. (2019). Cobre chileno: productividad, innovación y licencia social. Santiago, Corporación de Estudios para Latinoamérica (CIEPLAN). <https://www.cieplan.org/wp-content/uploads/2019/09/PAPER-PATRICIO-MELLER.pdf>

- Merino, J., & Pillaca, L. (2019). Fluvalinato y Metales Pesados (Cobre y plomo) en Miel de los Sectores de Pachachaca, Atumpata y Quitasol-Abancay 2018. <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/797>
- Palao, A., Hermoza, O., Ruiz, R., & Cuadros, C. (2021). Minería del cobre en Perú: análisis de las variables exógenas y endógenas para gestionar su desarrollo. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 26(94), 784-801. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8890457>
- Rodríguez Calderón, J. M. (2023). Influencia de la selección del colector en la eficiencia de la recuperación de cobre por flotación. <http://164.68.119.42/handle/20.500.13028/4374>
- Rodríguez, O., Pérez, R., Aguilera, I., Pérez-, R. M., & Abalos, A. (2020). Remoción de cobre de aguas contaminadas empleando ramnolípidos. *Revista Cubana de Química*, 32(3), 511-526. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212020000300511&script=sci_arttext
- Rodríguez, P., Mercado, B. N., & Noboa, M. F. (2021). Go Global China, derechos y diplomacia entre firmas y su posicionamiento en el mercado minero de cobre en Ecuador. *Homa Publica-Revista Internacional de Derechos Humanos y Empresas*, 5(1), 078-078. <https://periodicos.ufjf.br/index.php/HOMA/article/view/34338>
- Ruiz, G., & Civantos, M. (2021). Sociedad minera Jérez-Lanteira, Granada. Origen e historia de la planta hidráulica para la explotación del mineral de cobre en el siglo XIX. *DYNA*, 96(5), 473-477. <https://www.revistadyna.com/busqueda/sociedad-minera-jerez-lanteira-granada-origen-e-historia-de-planta-hidraulica-para-explotacion-del-m>
- Sapiains, P., Menzies, A., Figueroa, V., Wilke, H. G., Mille, B., Salazar, D., & Berenguer, J. (2020). Estudio arqueomineralógico de las menas de cobre prehispánicas en Collahuasi, norte de Chile. *Estudios atacameños*, (66), 83-103. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432020000300083&script=sci_arttext&tlng=en
- Tierra y Tecnología (2023) Caracterización mineralógica del yacimiento de cobre Candelaria (Gallinero de Cameros, La Rioja). *Tierra y Tecnología - Colegio de Geólogos*.

<https://www.icog.es/TyT/index.php/2023/04/caracterizacion-mineralogica-del-yacimiento-de-cobre-candelaria-gallinero-de-cameros-la-rioja/>

Valadez Aguilar, C. (2021). Extracción de oro por lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la región de Tiquicheo, Michoacán. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5354

Valenzuela, J. L., Landavazo, M. D. L. A. B., Germán, P. G., Álvarez, A. G., Romero, M. A. E., & Torres, J. R. P. (2019, November). Extracción de Oro a partir de Minerales Sulfuros de Hierro y Cobre utilizando un Pretratamiento Ácido Oxidativo: Extracción de Oro a partir de Minerales Sulfuros. In VIII CONGRESO INTERNACIONAL LATINOMETALURGIA: Extracción de Oro a partir de Minerales Sulfuros de Hierro y Cobre utilizando un Pretratamiento Ácido Oxidativo (pp. 701-710).

<https://investigadores.unison.mx/en/publications/extracci%C3%B3n-de-oro-a-partir-de-minerales-sulfuros-de-hierro-y-cobr>

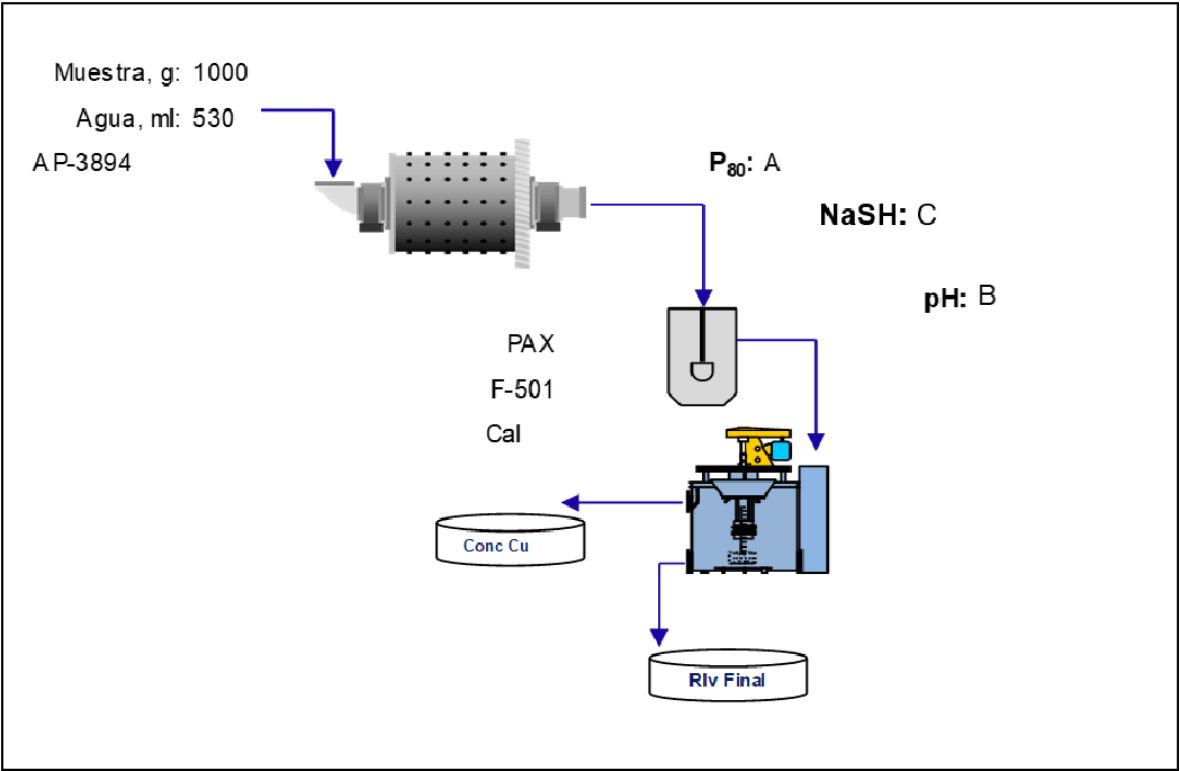
Vilca, H. (2019). Evaluación de la flotación de óxidos de cobre mediante pruebas de reactivos en laboratorio. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3205718>

9. ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

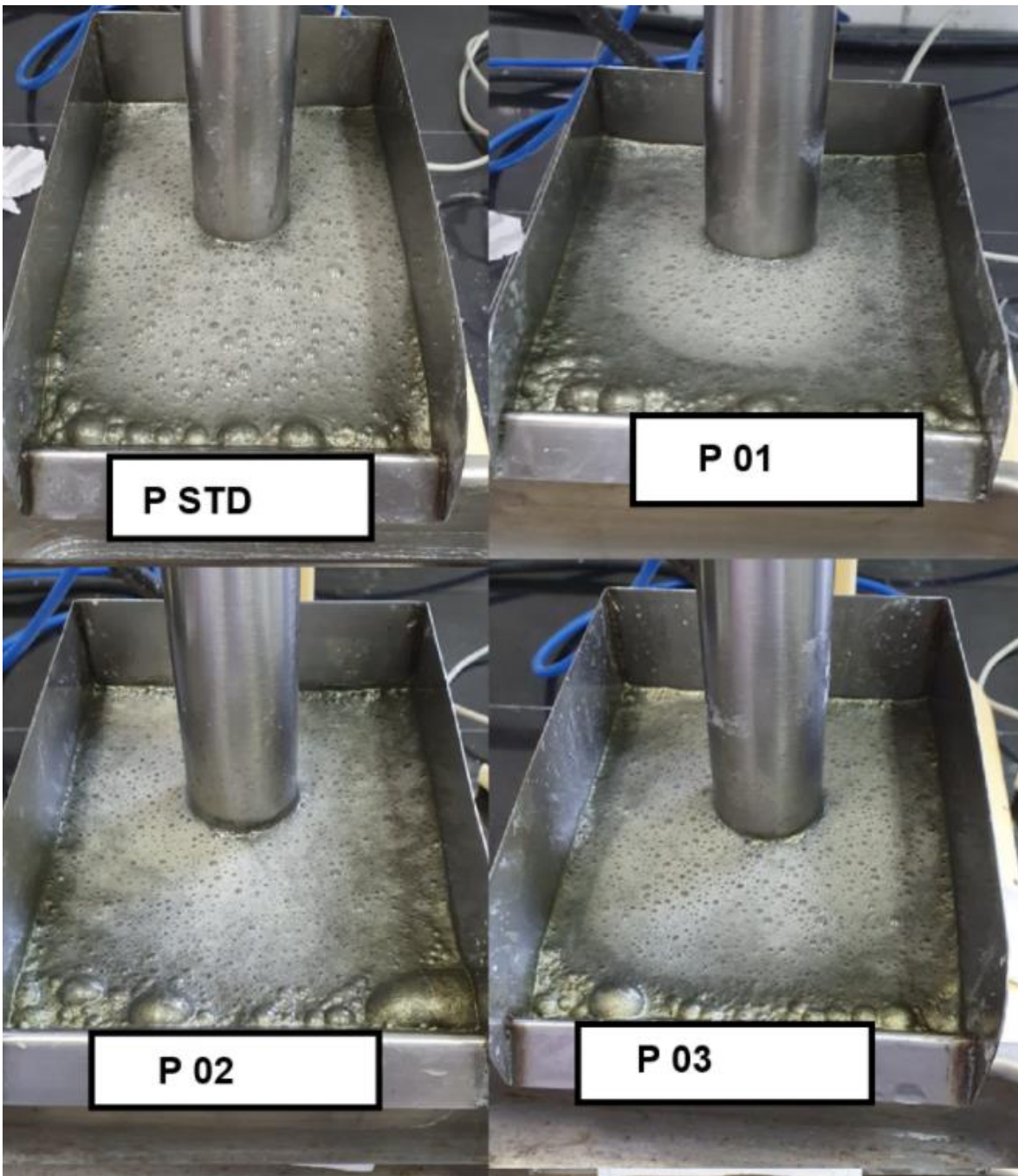
Título de Tesis: "OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE A PARTIR DE MINERALES SULFURADOS CON CONTENIDO DE ARCILLAS MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN EN LA ZONA DE ESPINAR - CUZCO".				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	HIPÓTESIS	
			VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	
			NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
¿Cómo mejorar la recuperación de cobre en la etapa de flotación Rougher en un mineral con presencia de arcillas?	Mejorar la recuperación de cobre en la flotación Rougher del mineral con contenido de arcillas optimizando las variables independientes	Con la adición/modificación de NaSH, pH y P80 mejoraremos la recuperación de cobre en la etapa Rougher, en un mineral con contenido de arcillas	Dosificación de NaHS (Hidrosulfuro de sodio)	Estos datos se recolectan con la ayuda de una micropipeta y es medido en g/t
			P80 de Flotación (um)	Estos datos se recolectan con la ayuda de tamices y es medido en (um)
			pH de Flotación	Estos datos se recolectan con la ayuda de un pHmetro
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	
Problema Específico N.º 1	Objetivo Específico N.º 1	Hipótesis Específica N.º 1	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
¿Cómo influye el uso de Hidrosulfuro de Sodio (NaSH) en la recuperación de cobre en la etapa de flotación rougher?	Evaluar la adición de dosificación del reactivo Hidrosulfuro de Sodio (NaSH) necesaria para mejorar la recuperación de cobre en la etapa Rougher.	Al adicionar una dosificación de NaSH mejoraremos la recuperación de cobre de la etapa Rougher.	Dosificación de NaHS (Hidrosulfuro de sodio)	Estos datos se recolectan con la ayuda de una micropipeta y es medido en g/t
Problema Específico N.º 2	Objetivo Específico N.º 2	Hipótesis Específica N.º 2	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
¿Cómo el tamaño de partícula (P80, um) influye en la recuperación de cobre en la etapa de flotación Rougher?	Determinar el tamaño de partícula (P80) necesario para mejorar la recuperación de cobre en la etapa Rougher.	Al determinar el tamaño de partícula (P80) mejoraremos la recuperación de cobre de la etapa Rougher.	P80 de Flotación (um)	Estos datos se recolectan con la ayuda de tamices y es medido en (um)
Problema Específico N.º 3	Objetivo Específico N.º 3	Hipótesis Específica N.º 3	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
¿Cómo la variación del pH influye en la recuperación de cobre a nivel laboratorio?	Determinar el pH necesario para mejorar la recuperación de cobre en la etapa Rougher.	Al determinar el pH adecuado mejoraremos la recuperación de cobre de la etapa Rougher.	pH de Flotación	Estos datos se recolectan con la ayuda de un pHmetro

ESQUEMA DE PRUEBAS DE FLOTACION BATCH (P STD)

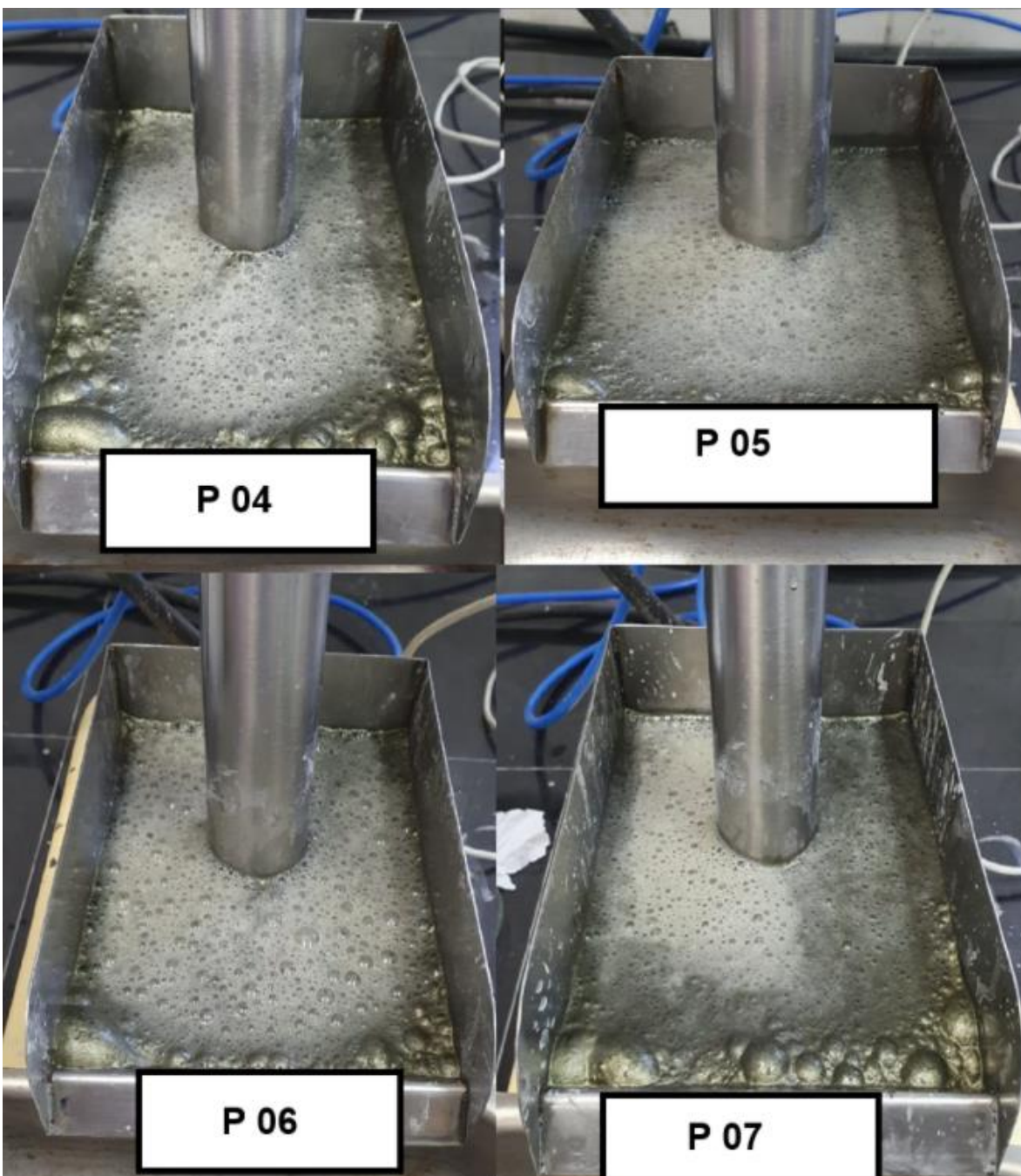


Etapas	Tiempo		Paleteo	pH	Reactivos g/TM				
	min	sec	Manual Paleta/min		CaO	AP-3894	PAX	F-501	NaSH
Molienda	A								
Acond	3			B	CaO	AP-3894	PAX	F-501	C
Flot 1	10		21						
RPM			1200						

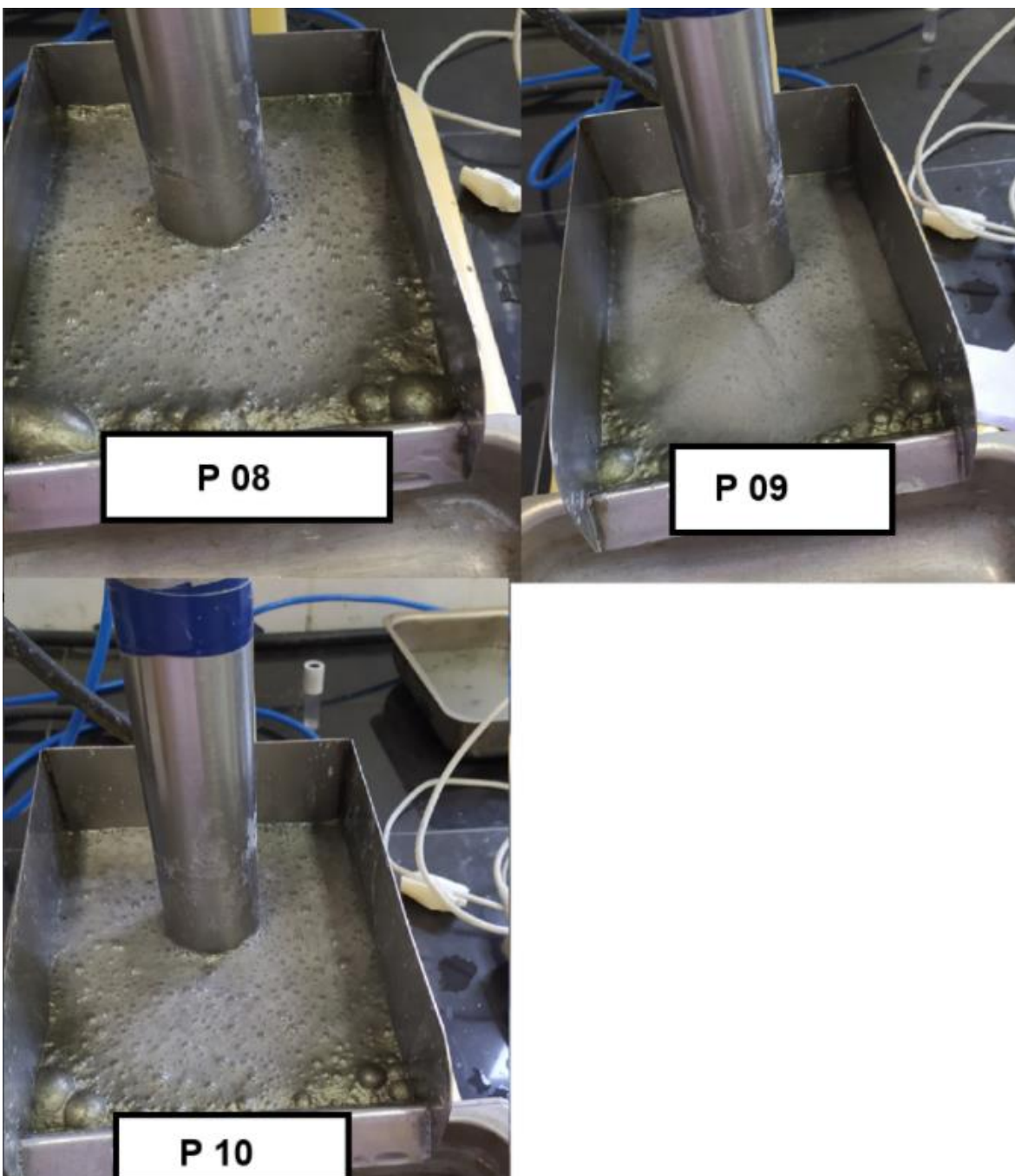
PRUEBAS DE FLOTACION BATCH (P STD – P03)



PRUEBAS DE FLOTACION BATCH (P 04 – P 07)



PRUEBAS DE FLOTACION BATCH (P 08 – P 10)



BALANCES METALURGICOS (PSTD – P05)

BALANCE METALURGICO										
STD	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	999.80	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	77.57	7.76	10.31	10.79	8.00	8.37	71.25	16.30	12.89
	Relave	922.23	92.24	0.35	4.66	3.23	42.98	28.75	83.70	-
	Cabeza Calculada	999.80	100.00	1.12	5.14	11.23	51.35	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
1	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1005.00	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	76.28	7.59	10.74	10.98	8.19	8.38	72.77	16.36	13.18
	Relave	928.72	92.41	0.33	4.61	3.06	42.81	27.23	83.64	-
	Cabeza Calculada	1005.00	100.00	1.12	5.09	11.26	51.19	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
2	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.50	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	79.09	7.81	10.49	10.27	8.29	8.12	72.32	15.65	12.80
	Relave	933.41	92.19	0.34	4.69	3.17	43.78	27.68	84.35	-
	Cabeza Calculada	1012.50	100.00	1.13	5.13	11.47	51.90	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
3	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.90	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	77.80	7.68	11.02	10.65	8.58	8.29	74.13	15.98	13.02
	Relave	935.10	92.32	0.32	4.66	2.99	43.58	25.87	84.02	-
	Cabeza Calculada	1012.90	100.00	1.14	5.12	11.57	51.86	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
4	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.10	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	74.54	7.36	11.51	10.21	8.58	7.61	73.50	14.65	13.58
	Relave	937.56	92.64	0.33	4.73	3.09	44.35	26.50	85.35	-
	Cabeza Calculada	1012.10	100.00	1.15	5.13	11.68	51.96	100.00	100.00	-

BALANCES METALURGICOS (P06 – P10)

BALANCE METALURGICO										
5	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1005.40	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	72.75	7.24	11.23	10.95	8.17	7.97	73.24	15.38	13.82
	Relave	932.65	92.76	0.32	4.70	2.98	43.83	26.76	84.62	-
	Cabeza Calculada	1005.40	100.00	1.11	5.15	11.15	51.80	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
6	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1000.90	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	78.60	7.85	10.54	11.07	8.29	8.70	73.74	16.86	12.73
	Relave	922.30	92.15	0.32	4.65	2.95	42.89	26.26	83.14	-
	Cabeza Calculada	1000.90	100.00	1.12	5.15	11.24	51.59	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
7	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1011.80	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	73.90	7.30	10.97	10.61	8.10	7.84	72.97	15.00	13.69
	Relave	937.90	92.70	0.32	4.74	3.00	44.46	27.03	85.00	-
	Cabeza Calculada	1011.80	100.00	1.10	5.17	11.10	52.30	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
8	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1011.80	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	77.20	7.63	10.98	10.30	8.48	7.95	73.92	15.30	13.11
	Relave	934.60	92.37	0.32	4.71	2.99	44.02	26.08	84.70	-
	Cabeza Calculada	1011.80	100.00	1.13	5.14	11.47	51.97	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
9	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1012.90	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	75.53	7.46	11.24	10.87	8.49	8.21	73.29	15.85	13.41
	Relave	937.37	92.54	0.33	4.65	3.09	43.59	26.71	84.15	-
	Cabeza Calculada	1012.90	100.00	1.14	5.11	11.58	51.80	100.00	100.00	-
BALANCE METALURGICO										
10	PRODUCTO	PESO		Leyes, %		Finos (g)		Recuperación (%)		RC
		g	%	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
	Cabeza	1009.40	100.00	1.14	5.13	-	-	-	-	-
	Concentrado RGH	75.64	7.49	11.22	10.15	8.49	7.68	73.36	14.81	13.34
	Relave	933.76	92.51	0.33	4.73	3.08	44.17	26.64	85.19	-
	Cabeza Calculada	1009.40	100.00	1.15	5.14	11.57	51.84	100.00	100.00	-

ANALISIS MINERALOGICO (DRX) – Prueba Estándar

Analisis Cuantitativo - Rietveld (DRX)			
STOCK STD CAB			
Tipo	Mineralogia	%	%CuT Calc.
GANGA	Actinolite	2.53	
	Andradite, ferroan	0.34	
	Augite Px	2.11	
	Biotite 1M Mica	2.17	
	Calcite	3.48	
	Chlorite lib	2.28	
	Clinochlore		
	Diopside	0.82	
	Dolomite	1.08	
	Hedenbergite		
	Hornblende	0.65	
	Illite	1.94	
	Kaolinite	1.72	
	Magnetite	1.58	
	Marcasite	2.22	
	Montmorillonite	1.02	
	Muscovite 2M1	0.82	
	Natrolite		
	Nontronite		
	Orthoclase	9.78	
	Phlogopite		
	Plagioclases	48.24	
	Pyrite	5.45	
	Pyrophyllite 2M1	0.30	
	Quartz	9.12	
	Talc 2M		
	Tremolite		
MENA	Bornite	0.66	0.42
	Chalcocite	0.19	0.15
	Chalcopyrite	1.43	0.49
	Copper	0.02	0.02
	Covellite	0.05	0.03
	Molybdenite 2H		
TOTAL		100.00	1.12
	Arcillas	4.69	
	Carbonatos	4.56	
	Cloritas	2.28	
	Sulfuros de Cu	2.35	
	Cobres No Flotables	0.02	
	Sulfuro de Fierro	7.67	

Analisis Cuantitativo - Rietveld (DRX)			
STOCK STD CONC (PRUEBA STD)			
Tipo	Mineralogia	%	%CuT Calc.
GANGA	Actinolite	1.72	
	Andradite, ferroan		
	Augite Px	1.20	
	Biotite 1M Mica	0.94	
	Calcite	2.97	
	Chlorite lib	2.38	
	Clinochlore		
	Diopside	1.12	
	Dolomite	1.30	
	Hedenbergite		
	Hornblende	0.59	
	Illite	2.53	
	Kaolinite	0.16	
	Magnetite	0.20	
	Marcasite	1.46	
	Montmorillonite	0.22	
	Muscovite 2M1	0.50	
	Natrolite		
	Nontronite		
	Orthoclase	8.97	
	Phlogopite		
	Plagioclases	22.63	
	Pyrite	10.16	
	Pyrophyllite 2M1		
	Quartz	14.02	
	Talc 2M		
	Tremolite		
MENA	Bornite	2.84	1.80
	Chalcocite	0.02	0.02
	Chalcopyrite	23.58	8.13
	Copper	0.01	0.01
	Covellite	0.49	0.33
	Molybdenite 2H		
TOTAL		100.00	10.28
	Arcillas	2.91	
	Carbonatos	4.26	
	Cloritas	2.38	
	Sulfuros de Cu	26.94	
	Cobres No Flotables	0.00	
	Sulfuro de Fierro	11.62	

Analisis Cuantitativo - Rietveld (DRX)			
STOCK STD RLV (PRUEBA STD)			
Tipo	Mineralogia	%	%CuT Calc.
GANGA	Actinolite	2.50	
	Andradite, ferroan	0.30	
	Augite Px	1.85	
	Biotite 1M Mica	1.98	
	Calcite	4.15	
	Chlorite lib	2.96	
	Clinochlore		
	Diopside	1.26	
	Dolomite	0.61	
	Hedenbergite		
	Hornblende	0.56	
	Illite	1.28	
	Kaolinite	2.24	
	Magnetite	1.17	
	Marcasite	1.21	
	Montmorillonite	0.14	
	Muscovite 2M1	0.92	
	Natrolite		
	Nontronite		
	Orthoclase	9.59	
	Phlogopite		
	Plagioclases	52.82	
	Pyrite	5.19	
	Pyrophyllite 2M1	0.22	
	Quartz	8.45	
	Talc 2M		
	Tremolite		
MENA	Bornite	0.10	0.06
	Chalcocite	0.21	0.17
	Chalcopyrite	0.20	0.07
	Copper	0.09	0.09
	Covellite	0.01	0.01
	Molybdenite 2H		
TOTAL		100.00	0.39
	Arcillas	3.66	
	Carbonatos	4.76	
	Cloritas	2.96	
	Sulfuros de Cu	0.60	
	Cobres No Flotables	0.00	
	Sulfuro de Fierro	6.40	

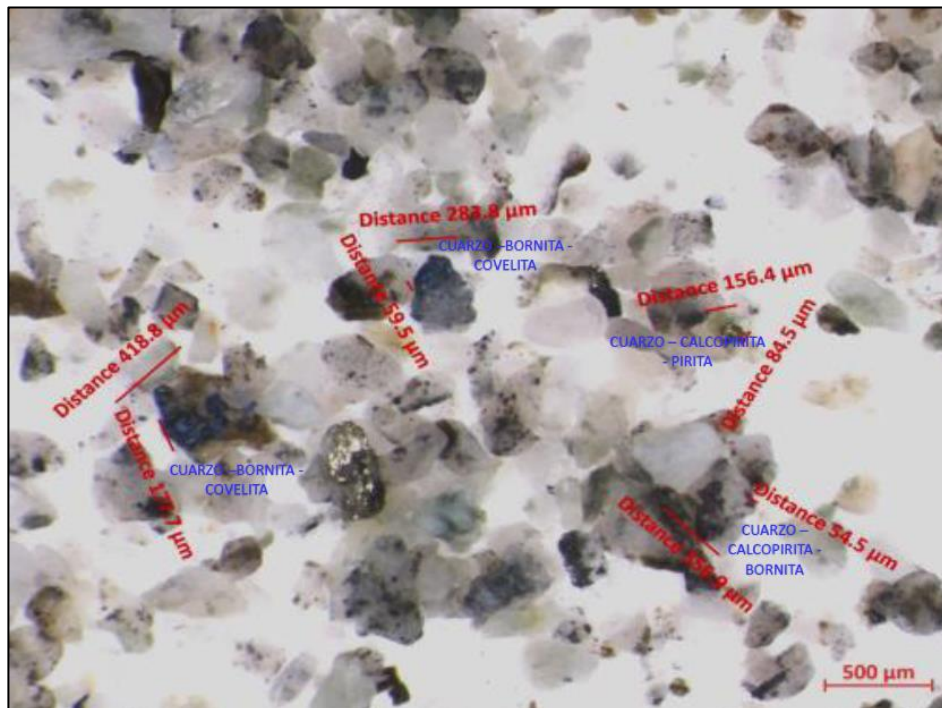
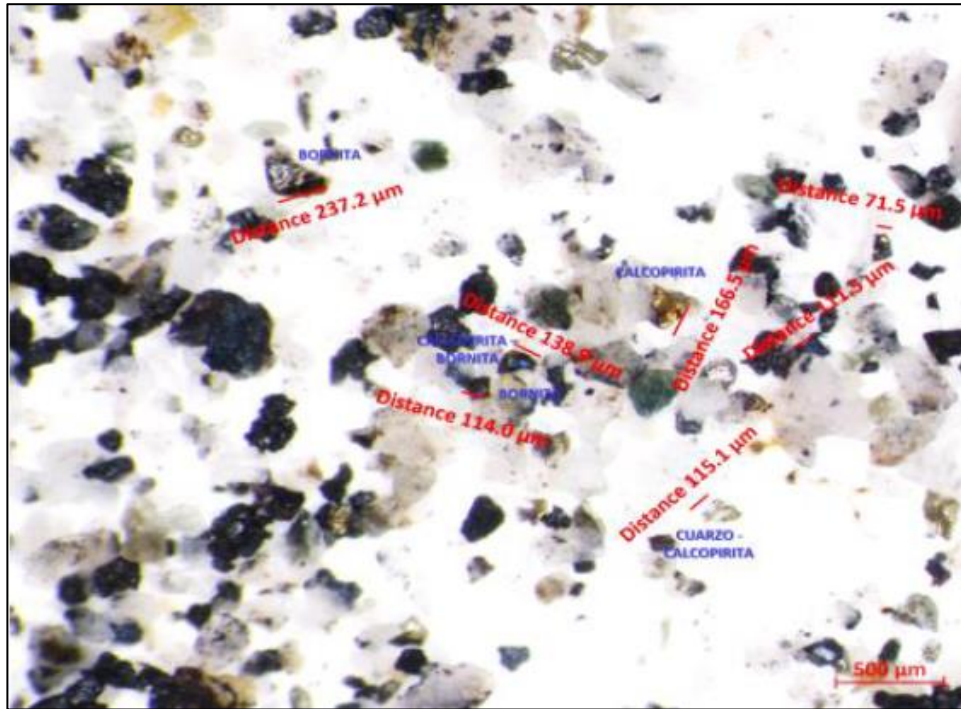
ANALISIS MINERALOGICO (DRX) – Prueba Optimizada

Analisis Cuantitativo - Rietveld (DRX)			
STOCK STD CAB			
Tipo	Mineralogia	%	%CuT Calc.
GANGA	Actinolite	2.53	
	Andradite, ferroan	0.34	
	Augite Px	2.11	
	Biotite 1M Mica	2.17	
	Calcite	3.48	
	Chlorite lib	2.28	
	Clinochlore		
	Diopside	0.82	
	Dolomite	1.08	
	Hedenbergite		
	Hornblende	0.65	
	Illite	1.94	
	Kaolinite	1.72	
	Magnetite	1.58	
	Marcasite	2.22	
	Montmorillonite	1.02	
	Muscovite 2M1	0.82	
	Natrolite		
	Nontronite		
	Orthoclase	9.78	
	Phlogopite		
	Plagioclases	48.24	
	Pyrite	5.45	
	Pyrophyllite 2M1	0.30	
	Quartz	9.12	
	Talc 2M		
	Tremolite		
MENA	Bornite	0.66	0.42
	Chalcocite	0.19	0.15
	Chalcopyrite	1.43	0.49
	Copper	0.02	0.02
	Covellite	0.05	0.03
	Molybdenite 2H		
TOTAL		100.00	1.12
	Arcillas	4.69	
	Carbonatos	4.56	
	Cloritas	2.28	
	Sulfuros de Cu	2.35	
	Cobres No Flotables	0.02	
	Sulfuro de Fierro	7.67	

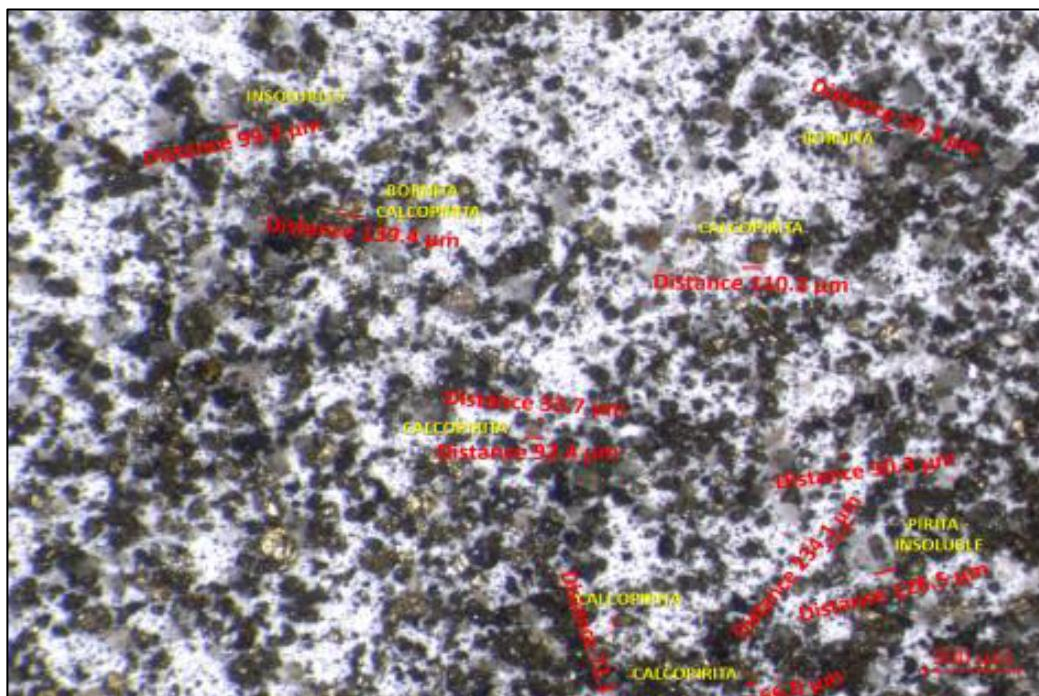
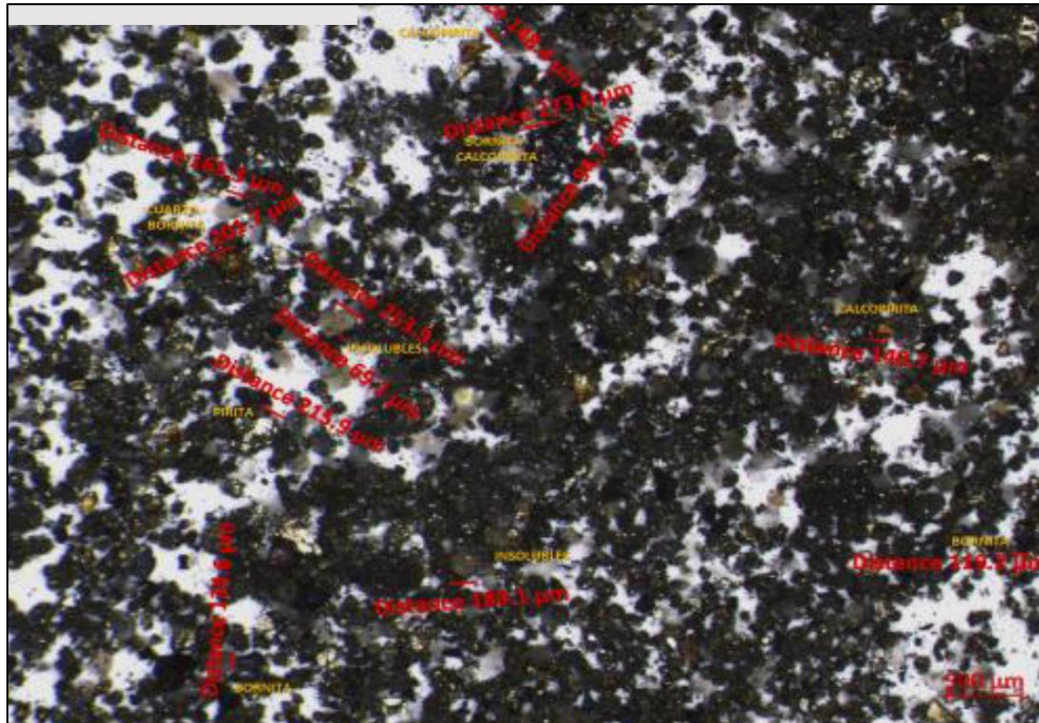
Analisis Cuantitativo - Rietveld (DRX)			
STOCK STD CONC (OPT)			
Tipo	Mineralogia	%	%CuT Calc.
GANGA	Actinolite	2.48	
	Andradite, ferroan		
	Augite Px	0.54	
	Biotite 1M Mica	0.24	
	Calcite	2.22	
	Chlorite lib	2.52	
	Clinochlore		
	Diopside	1.10	
	Dolomite	1.05	
	Hedenbergite		
	Hornblende	1.24	
	Illite	1.23	
	Kaolinite	1.06	
	Magnetite	0.43	
	Marcasite	1.62	
	Montmorillonite	0.18	
	Muscovite 2M1	0.34	
	Natrolite		
	Nontronite		
	Orthoclase	6.42	
	Phlogopite		
	Plagioclases	26.23	
	Pyrite	10.92	
	Pyrophyllite 2M1	0.30	
	Quartz	11.75	
	Talc 2M		
	Tremolite		
MENA	Bornite	2.22	1.41
	Chalcocite	0.01	0.01
	Chalcopyrite	25.51	8.80
	Copper	0.01	0.01
	Covellite	0.38	0.25
	Molybdenite 2H		
TOTAL		100.00	10.48
	Arcillas	2.47	
	Carbonatos	3.27	
	Cloritas	2.52	
	Sulfuros de Cu	28.13	
	Cobres No Flotables	0.00	
	Sulfuro de Fierro	12.54	

Analisis Cuantitativo - Rietveld (DRX)			
STOCK STD RLV (OPT)			
Tipo	Mineralogia	%	%CuT Calc.
GANGA	Actinolite	2.74	
	Andradite, ferroan		
	Augite Px	1.90	
	Biotite 1M Mica	1.76	
	Calcite	3.09	
	Chlorite lib	2.86	
	Clinochlore		
	Diopside	1.35	
	Dolomite	0.67	
	Hedenbergite		
	Hornblende	0.61	
	Illite	1.84	
	Kaolinite	2.22	
	Magnetite	1.28	
	Marcasite	1.33	
	Montmorillonite	0.14	
	Muscovite 2M1	1.01	
	Natrolite		
	Nontronite		
	Orthoclase	11.70	
	Phlogopite		
	Plagioclases	49.77	
	Pyrite	5.69	
	Pyrophyllite 2M1	0.24	
	Quartz	9.23	
	Talc 2M		
	Tremolite		
MENA	Bornite	0.18	0.11
	Chalcocite	0.04	0.03
	Chalcopyrite	0.23	0.08
	Copper	0.12	0.12
	Covellite	0.01	0.01
	Molybdenite 2H		
TOTAL		100.00	0.35
	Arcillas	4.19	
	Carbonatos	3.76	
	Cloritas	2.86	
	Sulfuros de Cu	0.58	
	Cobres No Flotables	0.00	
	Sulfuro de Fierro	7.01	

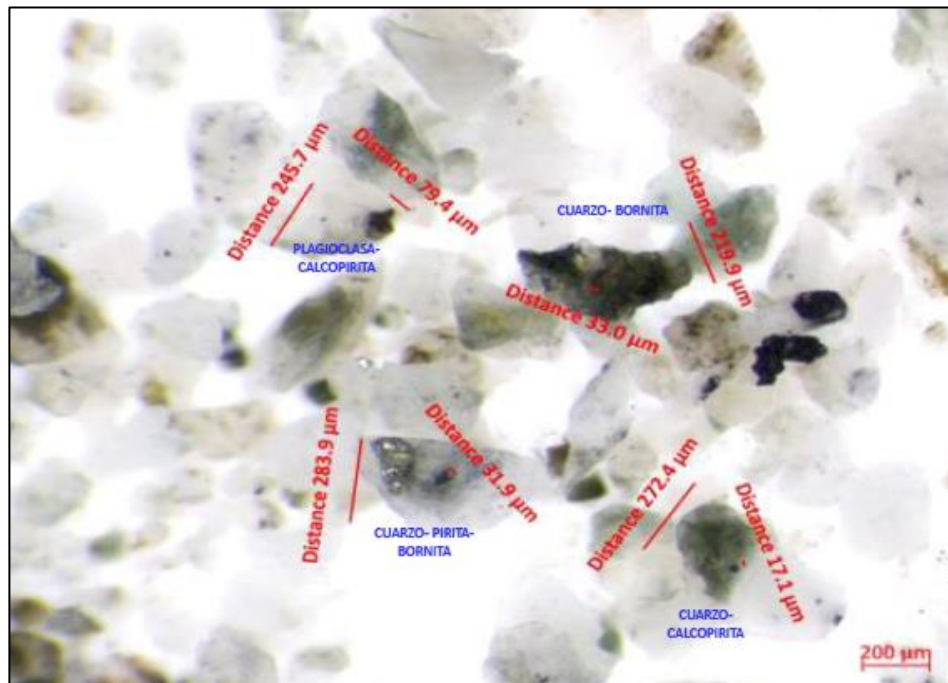
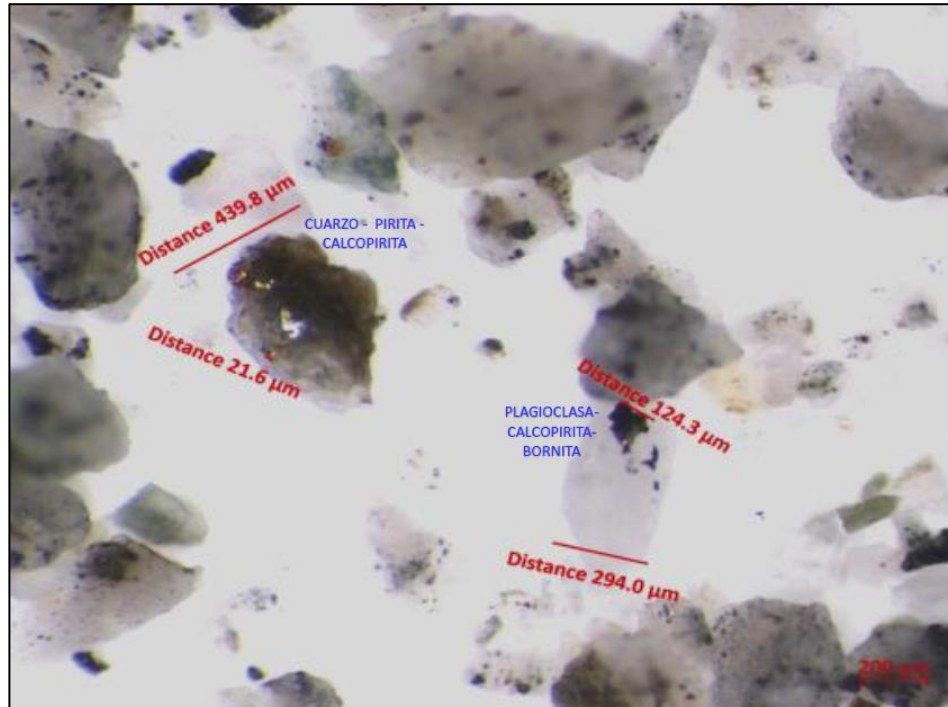
MICROSCOPIA: MUESTRA DE CABEZA STOCK STD



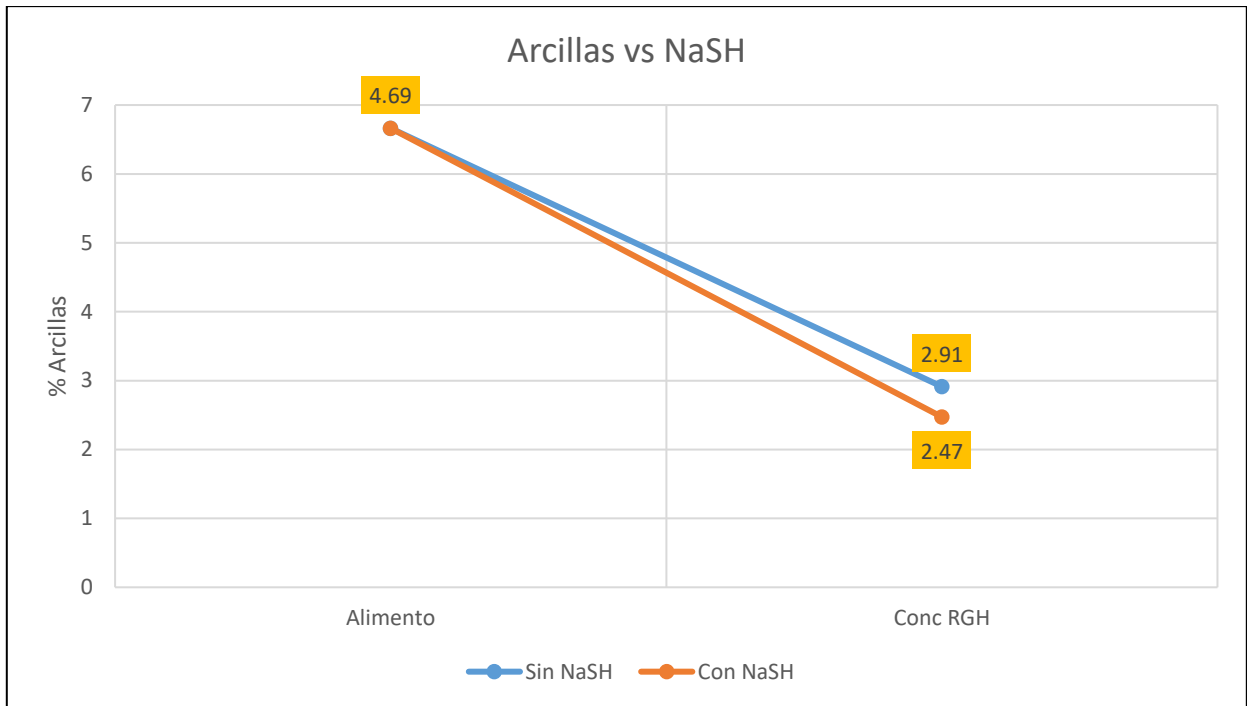
MICROSCOPIA: MUESTRA DE CONCENTRADO STOCK STD



MICROSCOPIA: MUESTRA DE RELAVE STOCK STD



INFLUENCIA: ARCILLAS VS NASH



ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Prueba	Rec_Cu (%)	Finos_Cu TMD	PrecioCu (LME) USD/TMCu	Venta
Prueba STDR	71.25	159.98	US\$9,595.50	US\$1,535,100.91
Modelo	73.31	164.14	US\$9,595.50	US\$1,574,996.16
Utilidad Bruta / Día	USD			US\$39,895.25
Utilidad Bruta / Año	USD			US\$14,561,764.85
Gastos / Año	Reactivo NaSH			US\$1,259,250.00
	Precio de la energía			US\$2,184,264.73
	Transporte de Conc.			US\$728,088.24
	Contingencia			US\$728,088.24
				US\$4,899,691.21
Utilidad Neta / Año				US\$9,662,073.64

CURVA DE MOLIENDABILIDAD – DETERMINACIÓN DE P80

Método Rosin – Rammler (R-R)

$$F_{(x)} = 100 \left\{ 1 - \exp \left[- \left[\frac{x}{x_p} \right]^m \right] \right\}$$

F(x) = Porcentaje Acumulado
Pasante

X_r = Es el módulo de tamaño

m = Módulo de Distribución

Tiempo 2		Tiempo 3		Tiempo 4	
3.00		6.00		9.00	
Retained Weight, g	Cumm. Passing, %	Retained Weight, g	Cumm. Passing, %	Retained Weight, g	Cumm. Passing, %
0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
77.60	92.24	0.00	100.00	0.00	100.00
85.40	83.70	38.90	96.11	0.00	100.00
113.10	72.39	39.10	92.20	10.80	98.92
126.40	59.75	113.10	80.89	36.60	95.26
114.50	48.30	165.40	64.35	123.90	82.87
89.40	39.36	120.20	52.33	170.90	65.78
65.80	32.78	88.90	43.44	121.80	53.60
56.00	27.18	79.80	35.46	106.30	42.97
44.80	22.70	61.50	29.31	74.40	35.53
227.00		293.10		355.30	

[illegible]