

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación de los colectores Xap Renasa y Xap Chino en la recuperación
de Cobre - Unidad Minera Chinalco Perú S.A. - Morococha - 2022**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Jaen Carlos REYNOSO MILLA

Asesor:

Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO

Cerro de Pasco - Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación de los colectores Xap Renasa y Xap Chino en la recuperación
de Cobre - Unidad Minera Chinalco Perú S.A. - Morococha - 2022**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN
MIEMBRO

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 355-2025-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

**EVALUACIÓN DE LOS COLECTORES XAP RENASA Y XAP CHINO EN LA
RECUPERACIÓN DE COBRE – UNIDAD MINERA CHINALCO PERÚ S.A. –
MOROCOCHA – 2022**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Jaen Carlos REYNOSO MILLA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

25 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 4 de diciembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.12.2025 08:18:18 -05:00

DEDICATORIA

Quiero expresar mi gratitud al guía que ha moldeado mi camino y me ha llevado por la senda correcta, a Dios, cuya presencia constante me acompaña. A mis padres, les agradezco su paciencia y su amor incondicional. Su bendición a lo largo de mi vida me protege y me orienta hacia el bien.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de todo este camino académico.

A mis padres, por su amor incondicional, esfuerzo y apoyo constante, quienes con sus consejos y sacrificios hicieron posible que alcanzara esta meta.

A mi familia, por alentarme en los momentos difíciles y celebrar cada uno de mis logros como propios.

A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos, orientarme y motivarme en cada etapa de mi formación profesional, contribuyendo de manera significativa a mi desarrollo académico.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto del uso de distintos colectores en el proceso de flotación de minerales de cobre, con el fin de identificar una alternativa que mejore la recuperación metalúrgica en la planta concentradora de Minera Chinalco, en el yacimiento Toromocho. Este depósito presenta una mineralización compleja debido a la presencia significativa de silicatos como serpentina y talco; este último adquiere propiedades hidrofóbicas que generan su flotación junto con los minerales valiosos, afectando la selectividad del proceso.

La metodología redonde la muestra analizada y trabajada consistió en experimental y aplicativo con 30kg de muestra, donde la recolección de datos se realizó aplicando la técnica de la observación, cuaderno de apuntes y reportes de ensayos químicos para evaluar el desempeño de dos colectores: XAP RENASA y XAP CHINO. Los ensayos se realizaron a pH 10 y con un tiempo de acondicionamiento de 3 minutos antes de la flotación.

Los resultados evidenciaron que ambos colectores lograron recuperaciones superiores al 85% de cobre. Sin embargo, el colector XAP RENASA mostró mayor selectividad, obteniendo un concentrado más limpio en comparación con el XAP CHINO, el cual permitió la recuperación de cobre, pero con mayor arrastre de minerales de ganga.

Se concluye que el colector XAP RENASA es una alternativa más eficiente para el tratamiento del mineral de Toromocho, ya que contribuye a mejorar la calidad del concentrado y optimizar el desempeño del proceso de flotación.

Palabras clave: colector, flotación, recuperación, selectividad, cobre

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effect of using different collectors in the copper mineral flotation process, in order to identify an alternative that improves metallurgical recovery in the concentrator plant of Minera Chinalco, located in the Toromocho deposit. This deposit presents a complex mineralization due to the significant presence of silicate minerals such as serpentine and talc; the latter acquires hydrophobic properties that cause it to float along with valuable minerals, thus affecting the selectivity of the process.

The methodology applied was experimental and practical, using a 30 kg sample. Data collection was carried out through observation, field notes, and chemical test reports to evaluate the performance of two collectors: XAP RENASA and XAP CHINO. The flotation tests were conducted at pH 10 with a conditioning time of 3 minutes prior to flotation.

The results showed that both collectors achieved copper recoveries above 85%. However, the XAP RENASA collector exhibited greater selectivity, producing a cleaner concentrate compared to XAP CHINO, which recovered copper but with a higher entrainment of gangue minerals.

It is concluded that the XAP RENASA collector is a more efficient alternative for processing Toromocho ore, as it contributes to improving concentrate quality and optimizing flotation process performance.

Keywords: collector, flotation, recovery, selectivity, copper.

INTRODUCCIÓN

La Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú S. A. lleva a cabo el procesamiento de minerales de cobre y molibdeno. La composición mineral es compleja debido a la presencia de silicatos que tienden a subir a la superficie y competir con los minerales de cobre al adherirse a las burbujas de aire durante el proceso de flotación. Esto resulta en una disminución de las recuperaciones y ocasiona problemas recurrentes en la operación. Por esta razón, se está llevando a cabo una serie de experimentos para evaluar diferentes factores con el objetivo de mitigar estos inconvenientes. El presente estudio aborda esta problemática. El enfoque de la investigación se estructuró de la siguiente manera:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, El problema consiste en formular y establecer los objetivos, hipótesis, variables, diseño de investigación, así como la justificación e importancia de investigar experimentalmente la aplicación de los colectores XAP RENASA y XAP CHINO.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, En este proceso, se han tenido en cuenta los antecedentes de investigaciones previas, presentando una exposición secuencial de las bases teóricas de la flotación de minerales. Se ha procedido a definir los términos básicos relacionados con este proceso. A partir de esta comprensión teórica, se han formulado las hipótesis y se han identificado las variables de estudio.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN, El proceso comienza con la identificación de la población relevante, seguida de la toma adecuada de muestras representativas. Posteriormente, se emplean métodos y técnicas de investigación para recopilar la información necesaria. Una vez obtenidos los datos, se procede a procesarlos de acuerdo con la metodología propuesta para analizar y validar los resultados.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN, Se estructura un resumen de la obtención de muestras como parte del trabajo de campo, detallando los métodos y

procedimientos utilizados para garantizar la representatividad de las muestras recolectadas. Posteriormente, se presentan los resultados de las pruebas metalúrgicas realizadas a través de tablas y gráficos, permitiendo una visualización clara de los datos obtenidos.

Luego, se procede a contrastar estadísticamente las hipótesis presentadas, utilizando herramientas y pruebas adecuadas para evaluar la significancia de los resultados. Finalmente, se concluye sobre la validez de las proposiciones planteadas en base a los análisis estadísticos realizados y a la interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas metalúrgicas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, Los resultados obtenidos se describen de manera concisa y sintética, resaltando los hallazgos más relevantes y las tendencias observadas en los datos recopilados. Se destacan los puntos clave que emergen de los análisis realizados, proporcionando una visión clara de los logros alcanzados en el estudio.

Además, se formulan recomendaciones para actividades futuras basadas en los hallazgos y conclusiones del informe actual. Estas recomendaciones se centran en áreas que requieren más investigación o en acciones que podrían mejorar el proceso o los resultados obtenidos hasta el momento. Se ofrece una guía para la continuación del trabajo, con el objetivo de profundizar en el tema y obtener aún más conocimientos o mejoras en el proceso estudiado

INDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE GRAFICOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema.....	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del problema	3
1.3.1.	Problema general	3
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
1.5.	Justificación de la investigación	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	5

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	6
2.2.	Bases teóricas - científicas	10
2.3.	Definición de términos básicos	20
2.4.	Formulación de hipótesis	21
2.4.1.	Hipótesis general.....	21
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	21
2.5.	Identificación de variables	21
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	22

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	23
3.2.	Nivel de investigación.....	23
3.3.	Métodos de investigación.....	24
3.4.	Diseño de investigación	24
3.5.	Población y muestra	25
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	28
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	28
3.9.	Tratamiento estadístico	29
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	30

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.	31
------	--	----

4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	32
4.3.	Prueba de hipótesis.....	55
4.4.	Discusión de resultados.....	58

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1 Análisis químico de la muestra 01	32
Tabla 2 Análisis químico de la muestra 02	33
Tabla 3 Parámetros utilizados para la primera prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA	33
Tabla 4 Parámetros utilizados para la segunda prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA	34
Tabla 5 Parámetros utilizados para la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA	34
Tabla 6 Parámetros utilizados para la primera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO .	35
Tabla 7 Parámetros utilizados para la primera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO .	35
Tabla 8 Parámetros utilizados para la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO ...	36
Tabla 9 Análisis químico promedio del yacimiento Orden de análisis	36
Tabla 10 Composición del mineral analizado.....	37
Tabla 11 Resultados de la primera prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA 2 g/t.....	40
Tabla 12 Resultado de la segunda prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA 4 g/t.....	42
Tabla 13 Resultados de la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA 6 g/t	44
Tabla 14 Resultados de la primera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO 2 g/t	46
Tabla 15 Resultados de la segunda prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO 4 g/t	48
Tabla 16 Resultados de la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO 6 g/t.....	50
Tabla 17 Comparación de la influencia de colectores PAX RENASA y PAX CHINO.....	52
Tabla 18 Comparación de recuperación en porcentaje	56

INDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1 Proceso de flotación en una celda Denver Sub A – 32.....	12
Figura 2 Clasificación de minerales metálicos y no metálicos en el proceso de flotación.....	12
Figura 3 Semiconductores.....	17
_Toc232371436Figura 4 Diagrama del potencial de corriente	19
Figura 5 proceso sistemático y continuo.....	25
Figura 6 Espectro de difracción de Rayos X del mineral Sukarno.	38
Figura 7 Curva Normal	57

INDICE DE GRAFICOS

	Página.
Gráfico 1 Efecto de los colectores en la recuperación de cobre era Chinalco.....	53
Gráfico 2 Efecto de los colectores en la selectividad del cobre	54
Gráfico 3 Efecto de los colectores en la selectividad del cobre	55

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La Compañía Minera Chinalco Perú S.A., ubicada en el distrito de Morococha, se dedica al procesamiento a gran escala de minerales de Cobre- Molibdeno y Plata mediante el método de flotación. Sin embargo, desde su inicio en 2016, ha enfrentado numerosos desafíos metalúrgicos debido a la composición mineralógica de su yacimiento, que está principalmente compuesto por minerales alterados, con una alta presencia de serpentina, lo cual dificulta el proceso de flotación bajo las condiciones habituales.

Durante el proceso de flotación, se observa la formación de espumas blancas con alto contenido de talco, lo que provoca que los minerales de cobre se concentren en la parte inferior de estas espumas, prolongando el tiempo de residencia en las celdas de flotación y resultando en recuperaciones que no superan el 17%. Además, la sedimentación en la etapa de espesamiento es muy lenta, lo que requiere una infraestructura adicional. Como resultado, los minerales de cobre son desplazados hasta el relave final, lo que aumenta el porcentaje en las colas.

Estos desafíos llevaron a la gerencia a solicitar el desarrollo de pruebas metalúrgicas para evaluar la captación de minerales de cobre en las burbujas a través del intercambio iónico de diversos colectores y con mayor tiempo de residencia.

Si se continúa utilizando los reactivos tradicionales, la empresa seguirá enfrentando problemas metalúrgicos, con bajas recuperaciones y una operación inestable. Esto se reflejará en una evacuación extremadamente incontrolable, sobresaturación del circuito al aumentar el tonelaje alimentado y una serie de dificultades operativas como bajas velocidades de sedimentación, ineficiencia en los flujos de las bombas, inestabilidad en los porcentajes de sólidos en la alimentación, entre otros.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El trabajo se realizó utilizando los materiales, insumos y laboratorios disponibles en las instalaciones de Minera Chinalco en Morococha. Esto garantizó que las pruebas y experimentos se llevaran a cabo en un entorno controlado y representativo de las condiciones reales de operación de la compañía. La colaboración directa con los recursos y expertos de la mina permitió obtener resultados precisos y relevantes para abordar los desafíos metalúrgicos identificados.

1.2.2. Delimitación de la temporal

El trabajo de investigación abarca un período de diez meses, desde marzo hasta diciembre de 2021. Este tiempo permitió realizar un estudio exhaustivo y detallado, así como llevar a cabo pruebas y experimentos a lo largo de un período significativo para obtener datos sólidos y conclusiones confiables. La extensión del período de investigación facilitó la exploración completa de los desafíos metalúrgicos identificados y la evaluación de diversas estrategias y soluciones posibles.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo contribuirá los Colectores xantato XAP RENASA Y XAP CHINO a la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera influye la caracterización mineralógica del mineral de cabeza en la eficiencia del proceso de concentración colectiva de cobre en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022?
- b) ¿Cómo afecta la asociación mineralógica del cobre con sulfuros u otros minerales a la respuesta metalúrgica frente al uso del colector XAP RENASA en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022?
- c) ¿Qué influencia tiene la composición y textura mineralógica del mineral tratado sobre la efectividad del colector XAP CHINO en la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la evaluación de los colectores XAP RENASA y XAP CHINO en la recuperación de cobre - en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la influencia de la caracterización mineralógica del mineral de cabeza en la eficiencia del proceso de concentración colectiva de cobre en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.
- b) Evaluar el uso del XAP RENASA en la asociación mineralógica del cobre con sulfuros u otros minerales sobre la respuesta metalúrgica frente al uso

de los colectores en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.

- c) Evaluar el uso del XAP CHINO en la asociación mineralógica del cobre con sulfuros u otros minerales sobre la respuesta metalúrgica frente al uso del colector XAP RENASA en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.

1.5. Justificación de la investigación

El trabajo de investigación justifica su ejecución en función de los siguientes criterios:

1.5.1. Justificación tecnológica

Con la aplicación del reactivo XAP RENASA Y XAP CHINO en la flotación de minerales de cobre realizada es a nivel de laboratorio en el que se ha demostrado que un tratamiento metalúrgico del mineral es necesario la adición de reactivos de flotación en especial el colector, para poder optimizar la producción.

1.5.2. Justificación Ambiental

Los minerales que se recuperan como desechos durante su extracción de baja ley pueden luego reciclarse y almacenarse dentro de parámetros de control ambiental para evitar efectos adversos.

1.5.3. Justificación Económico

El proceso de flotación se utiliza para tratar el mineral de cobre de baja ley obtenido de una minería intensiva (minería a cielo abierto), se debe lograr la máxima recuperación para darle valor comercial al concentrado y generar ganancias para la empresa.

1.6. Limitaciones de la investigación

La investigación presenta como limitaciones teóricas debido a que los reactivos empleados son muestras que las empresas de reactivos no alcanzaron a cada laboratorio para las corridas de pruebas, se hizo la primera, segunda y tercera reunión para analizar primeramente el tipo de mineral, así como también la granulometría el análisis químico de las muestras que se van a emplear. Por otro lado, presenta como limitante los equipos y materiales que no son calibrados ya que los laboratorios en las unidades son laboratorios para el seguimiento de las operaciones más no para realizar investigaciones que conlleven a tener una certeza del 99,999 %.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes internacionales

Riquelme y Torre (2022) en su tesis Evaluación de los colectores A 3418 y Z-6 para recuperar el cobre de los minerales mixtos de la Planta de Beneficios Jesús SAC Nazca.

El objetivo principal de la investigación fue analizar los colectores A 3418 y Z 6 para mejorar la recuperación de cobre en el proceso de flotación de minerales mixtos de cobre, a nivel de laboratorio, en la planta de beneficios Jesús S.A.C. de Nazca.

La planta de beneficios Jesús S.A.C. enfrenta desafíos en la eficiencia del proceso de flotación de minerales mixtos de cobre, lo que afecta la recuperación del cobre y, por ende, la rentabilidad de la operación. Se busca optimizar el uso de colectores para mejorar la recuperación del mineral en el proceso.

La investigación se desarrolló en el laboratorio de procesamiento de minerales, donde se evaluaron los colectores A-3418 y Z-6 bajo distintas dosificaciones. Se

ajustaron las dosis de estos reactivos en función de las pruebas experimentales realizadas, para determinar su impacto en la recuperación de cobre.

Resultados:

Ajustando la dosificación del Z-6 (aumentándola en 10 g/t) y reduciendo la dosificación del A-3418 (disminuyéndola en 10 g/t), se logró un incremento del 1.40% en la recuperación de cobre en comparación con la prueba estándar. Las características mineralógicas del mineral mixto de cobre se mostraron favorables para el proceso de flotación, lo que contribuyó a los resultados obtenidos en el laboratorio. Si ambas dosificaciones se reducen, la recuperación disminuye, y si ambas se incrementan en exceso, no se observa un aumento significativo en la recuperación de cobre, manteniéndose casi igual a la prueba estándar.

Conclusiones:

La evaluación de los colectores A-3418 y Z-6 permitió obtener la máxima recuperación de cobre posible, aumentando la dosificación de Z-6 y reduciendo la de A 3418. Este ajuste en la dosificación logró una mejora del 1.40% en la recuperación de cobre en el concentrado final. El ajuste en las dosificaciones tiene un impacto positivo en la evaluación económica del proceso de flotación, ya que resulta en un mayor contenido metálico en el concentrado y un menor consumo del reactivo A-3418, que es costoso. Esto representa una ventaja económica para la planta de beneficios Jesús S.A.C. La evaluación de los colectores y las características mineralógicas del mineral mixto permiten concluir que el proceso de flotación es eficiente bajo las condiciones ajustadas.

Loza (2009) en su tesis "Concentración por el método de flotación por espumas del mineral sulfurado de Cobre-Molibdeno del Proyecto Las Bambas" El objetivo principal de la investigación fue concentrar los minerales sulfurados de cobre (Cu) y

molibdeno (Mo) del Proyecto Las Bambas mediante el método de flotación por espumas. El fin era lograr una recuperación adecuada de los metales y obtener un concentrado de Cu Mo de calidad óptima.

El Proyecto Las Bambas, ubicado en Cusco, enfrenta el desafío de optimizar el proceso de concentración de minerales sulfurados de cobre y molibdeno para obtener un concentrado con una alta recuperación y calidad. Se buscó determinar las condiciones óptimas para la flotación de este mineral, un paso crucial para mejorar la eficiencia del proceso. La investigación se centró en el análisis de los tres yacimientos del Proyecto Las Bambas (Ferrobamba, Chalcobamba, y Sulfubamba). Se realizaron ensayos con las leyes de cabeza del mineral y se establecieron condiciones óptimas para la flotación, incluyendo el tamaño de malla, tipo de colector y tiempos de flotación. El colector principal utilizado fue el Z-11, y se determinó que el tiempo de flotación adecuado era de 4 minutos.

Resultados:

El mineral del Proyecto Las Bambas presenta características pórfidas de cobre y molibdeno, con presencia de oro (Au), plata (Ag), calcopirita, esfalerita, bornita, y molibdenita, y una ganga compuesta principalmente por cuarzo, feldespato, magnetita, hematita y pirita. Las leyes de cabeza ensayadas fueron: Cu = 2.17%, Au = 2.75 g/t, Mo = 119 ppm.

El tamaño óptimo de molienda determinado para este mineral es de 75% -200 malla. La cinética de flotación mostró que un tiempo de flotación de 4 minutos es adecuado para alcanzar una recuperación del 88.09% de cobre (Cu).

Conclusiones:

El mineral del Proyecto Las Bambas es flotable, debido a la configuración mineralógica favorable, lo que permite clasificarlo como adecuado para el proceso de flotación.

El uso del colector Z-11 y el ajuste del tiempo de flotación a 4 minutos, junto con el tamaño de molienda óptimo, son factores clave para lograr una recuperación de cobre de 88.09%.

La calidad del concentrado obtenido cumple con los estándares requeridos para los metales de interés, cobre y molibdeno, lo que contribuye a la viabilidad del proceso de flotación en el Proyecto Las Bambas. Loza M. Rivera y G. (2009). Magno (2022) en su tesis "Evaluación De Colectores RC 415 Y MX

945 En La Recuperación De Cobre"

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia de los colectores RC 415 y MX 945 en la recuperación de cobre en un proceso de flotación realizado en laboratorio.

En el proceso de flotación de cobre, la elección de colectores adecuados es clave para mejorar la recuperación del mineral. Se requería evaluar el comportamiento de dos colectores, RC 415 y MX 945, para determinar cuál de ellos proporciona una mejor recuperación y selectividad en el proceso de flotación de cobre.

Se realizaron pruebas de flotación a nivel de laboratorio con la adición de los colectores RC 415 y MX 945 al acondicionador, aplicando cada uno durante 3 minutos antes de proceder con la flotación. Se evaluaron las recuperaciones de cobre alcanzadas en los concentrados a un pH 10 para determinar la eficacia de cada colector.

Resultados:

El colector RC 415, de acción instantánea, mostró una alta selectividad y una recuperación del 85% de cobre en los concentrados, cuando se adicionó al acondicionador por 3 minutos, a un pH 10.

El colector MX 945, también de acción instantánea y adicionado al acondicionador por 3 minutos, alcanzó una recuperación acumulada de 86% de cobre. Aunque es menos selectivo que el RC 415, obtuvo una recuperación ligeramente superior.

Conclusiones:

Los colectores tienen una influencia significativa en la recuperación de cobre en el proceso de flotación. El RC 415 demostró ser muy selectivo, logrando una recuperación del 85% en los concentrados.

El MX 945 mostró una mayor recuperación acumulada de 86%, aunque su selectividad es menor en comparación con el RC 415.

Ambos colectores fueron efectivos en la mejora de la recuperación de cobre, con el MX 945 logrando una recuperación ligeramente superior, pero a costa de menor selectividad.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Flotación de minerales

La flotación por espuma es un proceso de concentración fisicoquímico complejo que permite la separación selectiva de una especie útil o de interés, de aquella sin valor o ganga a través de un sistema de transporte de burbujas de aire capaces de ascender a través de una mezcla agua- mineral denominada pulpa.

Las condiciones óptimas de flotación se logran mediante el adecuado acondicionamiento de la pulpa mineral con la adición de reactivos químicos de

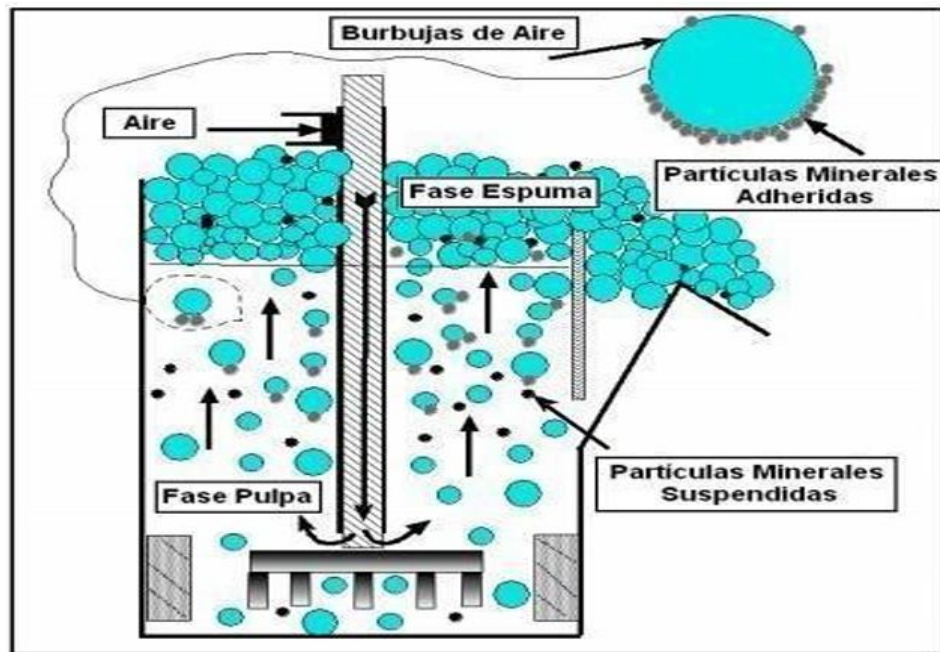
flotación – colectores, espumantes, depresores, activadores y modificadores e inyección de un flujo de aire.

La flotación es utilizada ampliamente para recuperar diversos tipos de minerales, principalmente sulfurados conteniendo especies de cobre, hierro, oro, plata, plomo, zinc, níquel, entre otros. Se dice que la flotación es el proceso más importante dentro de una planta de procesamiento de minerales, ya que es en este proceso donde se puede maximizar económicamente un yacimiento de minerales sulfurados.

Las características propias de cada mineral, la fisicoquímica del sistema y la química de los reactivos colectores resultan vitales para la eficiencia de la flotación, especialmente en sulfuros minerales complejos y/o alterados, por lo que cada yacimiento representa un problema particular para la selección de sus reactivos.

La flotación es un proceso que requiere una alta especialización y reactivos específicos con base al mineral que se desea recuperar. El proceso de selección de reactivos no sólo considera factores técnicos de desempeño como criterio principal en la decisión, también incorpora criterios relacionados con limitaciones medioambientales y de salud, logística, toxicidad, olor y costo- beneficio. (Codelco Educa, 2019).

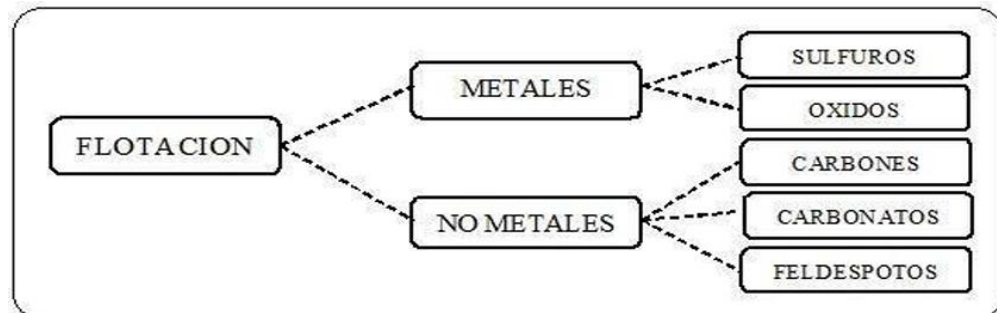
Figura 1 Proceso de flotación en una celda Denver Sub A – 32



Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Clasificación de flotación de minerales

Figura 2 Clasificación de minerales metálicos y no metálicos en el proceso de flotación



Fuente: Nota: Adaptado de representación esquemática de las pruebas de flotación. <https://www.researchgate.net/publication/326493656>

2.2.3. Tipos de reactivos

Los reactivos o agentes de flotación se clasifican en:

Espumantes;

Tiene como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de las celdas de flotación. Es dar consistencia y evitar que se unan entre sí (coalescencia) y cuando salga a la superficie no revienten.

Su misión es la hidrofobización selectiva de las superficies minerales, creando condiciones favorables a su adherencia a las burbujas de aire, disminuyendo la humectación, aumentando el ángulo de contacto con las burbujas. Por su capacidad de disociación en la pulpa, los colectores se dividen en dos grupos: IONIZABLES IONOGENOS:

Se disocian en iones NO IONIZABLES -NO IONOGENOS: Actúan de forma molecular. XANTATOS.

Los xantatos son sales sódicas o potásicas del ácido xántico o xantogénico. Este grupo de reactivos tiene una gran difusión debido a su bajo coste, sus fuertes propiedades colectoras y su alta selectividad. Son apropiados para la colección de sulfuros, minerales nativos y minerales oxidados previamente sulfurados. Se deben emplear en circuitos neutros o alcalinos ya que en medio ácido sufren hidrólisis. Se ha comprobado que las propiedades hidrofobizantes de los xantatos aumentan con la longitud de la cadena hidrocarbonada y con la ramificación. En la práctica se emplean en dosis que van desde los 5 a los 100 g/t.

Colectores;

Compuesto orgánico, contienen un grupo polar y uno no polar, el grupo no-polar está orientada hacia la fase acuosa ya q tal orientación resulta en la formación de una película hidrofóbica sobre la superficie del mineral.

Modificadores;

Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Su función es preparar la superficie del mineral para la adsorción o desorción de un cierto reactivo, es también crear condiciones propicias para que se pueda efectuar una flotación satisfactoria. O sea, cambia o modifica la superficie de los sulfuros o de la ganga, para favorecer o impedir que los reactivos colectores actúen sobre ellos, evitando de esta manera que floten.

Lista de modificadores:

Modificadores del medio o de pH

controlan la concentración iónica de las pulpas sus reacciones por medio de la acidez o basicidad.

Activadores

promueven las propiedades hidrofóbicas aumenta su flotabilidad.

Depresores

Aerofolizan los minerales impiden que se adhiera con la burbuja de aire disminuyendo su flotabilidad.

2.2.4. Flotación de sulfuros de cobre

Cayunao (2014) Los minerales sulfurados de cobre, por lo general, están acompañados por los minerales o compuestos de hierro. La pirita que es el principal mineral de hierro que se presenta en el cobre, varía dentro de límites considerables de un yacimiento a otro y puede estar presente en bajas cantidades de 3% y en altas cantidades de 20%, cabe mencionar que la pirita es muy flotable en medio ácido. Ya que existe una alta proporción se considera como desecho y acompaña a la mayoría de los sulfuros de cobre. Podemos decir que existe un gran número de reactivos y estudios

21 sobre flotación que se han efectuado para los minerales sulfurados de cobre, por esta razón tenemos en este campo una tecnología simple y eficiente.

2.2.5. Flotación de Óxidos de Cobre

Asto (2002) La flotación de minerales oxidados es muy importante, se tiene conocimiento por varios autores que los óxidos de cobre flotan directamente si este óxido se encuentra directamente asociado a la partícula, con ayuda de colectores de cadena larga de carbón. Existen reactivos colectores modificados especializados para la flotación de óxidos, pero no es rentable debido a su alta dosificación y elevado costo, debido a eso las plantas de concentración optan por el método de sulfurizar los óxidos por medio de reactivos modificadores. Entre los minerales oxidados de cobre que se presentan en la flotación mixta de cobre se tiene principalmente a la Malaquita $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$, Crisocola $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ y Cuprita Cu_2O . la flotación con sulfurización considera la influencia del oxígeno en la superficie del mineral. Los reactivos que se emplean para sulfurizar son: - Sulfuro de Sodio Na_2S - Sulfuro ácido de sodio (NaHS) - Sulfuro de bario (BaS) Estos reactivos forman una capa superficial al mineral oxidado de cobre, donde la parte del sulfuro se disgrega y se conecta con el colector para después adherirse a la burbuja de aire.

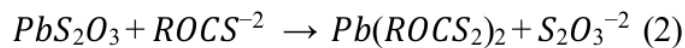
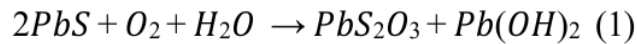
2.2.6. Teoría química de la oxidación superficial

La literatura experimental muestra que la superficie de galena tiende a oxidarse formando especies tiosulfato o sulfoxidadas, lo que concuerda con la hipótesis de que la capa de oxidación actúa como mediadora en la reacción con xantatos. (Nowak & Laajalehto, 2000).

La mayoría de las superficies de minerales sulfurados se oxidan cuando se exponen a agua alcalina, pero en el caso específico de la galena, varios estudios han

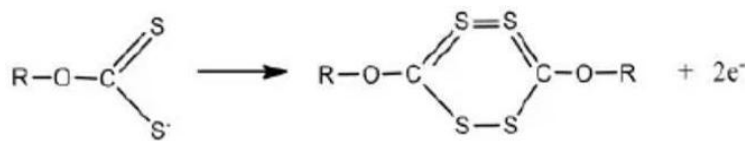
demostrado que la superficie está cubierta por agentes oxidantes, especialmente tiosulfato básico de plomo.

La reacción con xantato se produce debido a un mecanismo de intercambio iónico funcional mediado por una capa de oxidación. Este mecanismo propuesto se puede ver en la siguiente reacción:



2.2.7. Teoría de semiconductores

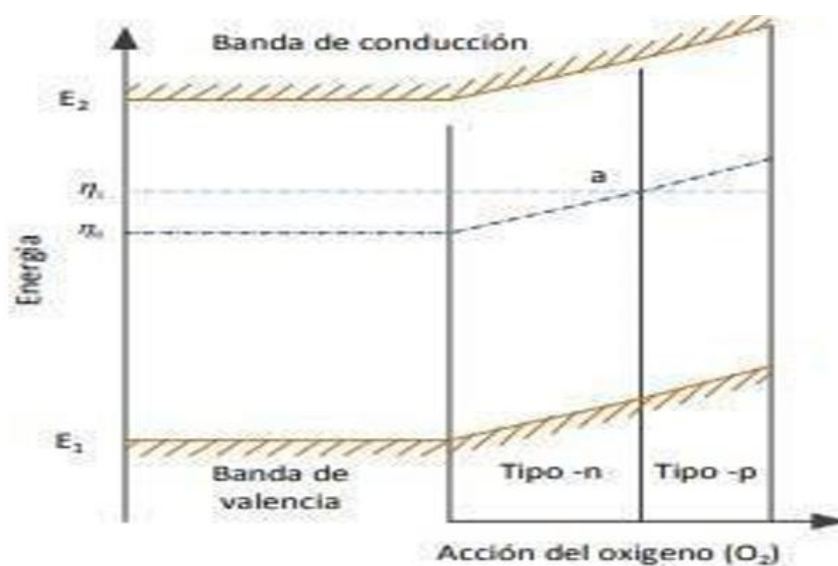
Los inicios de esta teoría datan de 1957 con las propuestas de Plaksin y sus estudios posteriores. Esta teoría plantea la ocurrencia de una reacción de oxidación del xantato (reactivo utilizado comúnmente en la flotación de sulfuros) en la superficie del mineral formándose un dímero, como se muestra a continuación.



Formación del dixantógeno a partir del ión xantato

Esta reacción produce un dixantógeno, el cual tiene propiedades de un semiconductor, permitiendo la flotación de sulfuros. Los materiales semiconductores de tipo n presentan una abundancia de electrones.

Figura 3 *Semiconductores*

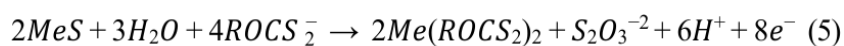


Fuente: Sutulov (1982)

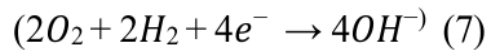
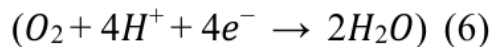
2.2.8. Teoría electroquímica

Basados en la literatura, el mecanismo más común de interacción entre xantato y sulfuros es de naturaleza electroquímica, donde los iones xantato son oxidados a dixantógeno o xantato metálico (Moudgil, Somasundaran & Soto, 1987; Fuerstenau & Han, 2003).

Basados en la literatura, el mecanismo más común de interacción entre xantato y sulfuros es de naturaleza electroquímica. Los Iones xantatos serán oxidados a dixantógeno o xantato del metal, según con una de las reacciones siguientes:



Para la trayectoria de oxidación del xantato, este proceso anódico precisa ser balanceado por una reacción catódica. Una de las funciones importantes del oxígeno en sistemas xantato/mineral sulfurado está basado en entregar la reacción catódica. De la reducción de oxígeno en ambiente acuoso el producto real puede ser H₂O o, OH⁻ de según con una de las reacciones:

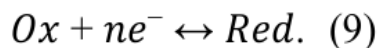


La primera reacción es más comprobada para describir el proceso en medio ácido (bajo acción catalítica de la superficie mineral). Pero la segunda reacción es más realista en medio alcalino.

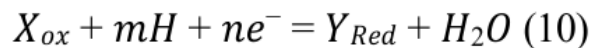
En esta reacción única en el equilibrio el potencial está dado por la ecuación de Nernst. Se muestra aquí, un ejemplo, para una reacción redox de cualquier tipo, el mecanismo de transferencia de e- puede representarse a través de la siguiente ecuación general:

$$E_{th} = E_{0th} - \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{Ox}{Red} \right) \quad (8)$$

una reacción Redox:



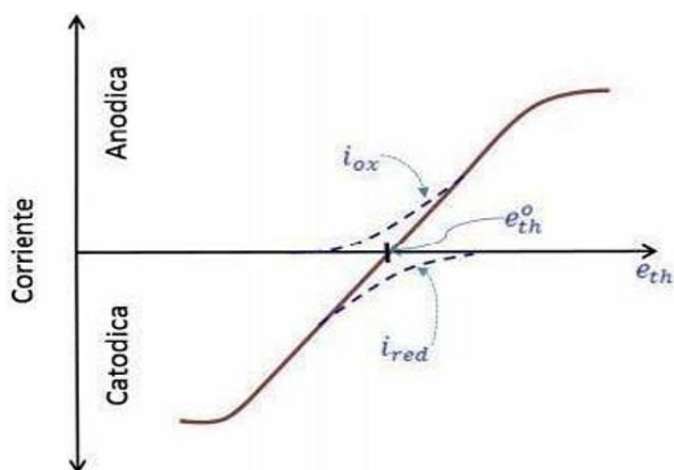
Aplicando la ecuación de NERST obtenemos:



En esta reacción desarrollada entonces, obtenemos un gráfico corriente potencial tal como se muestra a continuación:

$$E_h = E_{h0} - 0,059 \frac{mpH}{n} + 0,059 \lg \left(\frac{(Ox)_x}{(Red)_y} \right) \quad (11)$$

Figura 4 Diagrama del potencial de corriente



Fuente: Sutulov (1998)

2.2.9. Teoría para la adsorción física

Moudgil, et al. (1987). En su estudio de “Adsorción de minerales surfactants.

La adsorción es un Fenómeno Interfacial entre faces heterogéneas; es un proceso que puede ser descrito como distribución de especies entre dos fases en la interface. La acción de un colector (sustancia tensoactiva) es la unión o fijación de moléculas o iones del colector sobre la superficie del mineral.

La adsorción de colectores sobre una superficie mineral depende de varios factores como la carga superficial y la composición química superficial del mineral, la química en solución del mineral, de los surfactantes y del solvente. Por ello hay dos tipos de Adsorción.

Adsorción Física Se presenta cuando los iones se adsorben por fuerzas electrostáticas y enlaces hidrófobos, es decir por Interacciones Débiles de Van Der Waals entre las cadenas hidrocarburadas. La adsorción ocurre a través de diferencias individuales en la doble Contreras Sinchi 35 capa eléctrica cuando la concentración del surfactante es baja. Es decir, como la adsorción es una manifestación de la tensión superficial, solo trabaja la componente de dispersión como una atracción física. Si se

elimina la componente iónica de la tensión superficial la partícula se vuelve hidrófoba, como también se puede llegar a variar la componente iónica.

ADSORCIÓN FÍSICA	$\Delta H_{ads} < 10$ Kcal/mol (calor)
	Baja especificidad
	Energía de activación baja
	Posible adsorción en multicapas
	Fácil desorción (Reversible)

Características de la Adsorción Física (Fisiadsorción)

2.2.10. Variables del procedimiento de flotación

Existen muchas variables, pero las que más afectan la flotación de los minerales son las estas:

La granulometría de la mena.

- ✓ método y dosificación de reactivos de flotación.
- ✓ Densidad de la pulpa
- ✓ porcentaje de sólidos.
- ✓ Tiempo de residencia
- ✓ pH.
- ✓ Aireación y acondicionamiento de la pulpa
- ✓ Temperatura de la pulpa.

2.3. Definición de términos básicos

Colector

El colector es un reactivo químico fundamental en el proceso de flotación de minerales, cuya función principal es modificar la superficie de los minerales valiosos, haciéndolos hidrofóbicos para que puedan adherirse selectivamente a las burbujas de aire y ser transportados hacia la espuma, separándose así de la ganga.

Recuperación

La recuperación es uno de los indicadores más importantes en el proceso de flotación, ya que mide la eficiencia con la que los minerales valiosos son separados de la ganga y concentrados en el producto final. Se expresa generalmente como un porcentaje que representa la proporción del metal contenido en el mineral original que ha sido recuperado en el concentrado.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La dosificación adecuada de los colectores XAP RENASA y XAP CHINO contribuirá significativamente a la mejora en la recuperación de cobre en la Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La caracterización física y química del mineral interfiere significativamente en la flotación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.
- b) La dosificación del colector xantanto XAP (z6) tiene efecto en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.
- c) La dosificación del colector xantanto amílico de potasio tiene efecto en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Evaluación de colectores XAP renasa y XAP chino

Colectores Xantanto

Xantanto Amílico De Potasio

2.5.2. Variable dependiente

Recuperación de cobre

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente Colectores RC colectores Xantato Pax Z6 Y Xantato Amilico De Potasio)	Los reactivos colectores crean en la pulpa, las condiciones propicias para una óptima flotación y preparan la superficie de las partículas para adherirse a las burbujas de aire.	La función específica de los colectores es crear condiciones para la adherencia de las partículas de cobre a las burbujas de aire para su recuperación posterior por flotación.	Caracterización del mineral	Reconocimiento mineralógico
			Dosificación del Xantato Pax Z6	g/TM
			Dosificación del Xantato Amilico De Potasio)	g/TM
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente Recuperación de cobre	Proceso físico químico que permiten recuperar el mineral de cobre por adherencia de las partículas a las burbujas de aire.	Operación que consiste en la separación de los minerales deseados de los estériles, a través de la adherencia de las partículas finas valiosas a las burbujas de aire	Recuperación de cobre	%

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que hemos empleado es experimental aplicado, ya que implica la manipulación consciente de las variables objeto del estudio por parte del investigador. En este enfoque, el investigador actúa directamente sobre el objeto de estudio para comprender los efectos de estas acciones y probar sus hipótesis. Esta investigación se caracteriza por su naturaleza aplicada, ya que busca aplicar los resultados obtenidos en un contexto práctico.

3.2. Nivel de investigación

El presente estudio se desarrolló a nivel de laboratorio, bajo condiciones mínimas controladas, con el propósito de identificar las condiciones óptimas para el proceso investigado. La investigación se enmarca en el enfoque explicativo, debido a que trata de explicar la causa y el efecto, mediante la manipulación deliberada de variables para observar sus efectos sobre el resultado final. Este enfoque permitió analizar la influencia de diversos factores sobre la variable de interés, aportando información relevante y aplicable a contextos reales del campo de estudio.

3.3. Métodos de investigación

Empleamos el método científico, el cual se caracteriza por su naturaleza inductiva- deductiva, siendo esta lógica la más efectiva para generar conocimiento. Consideramos diferentes niveles de análisis, incluyendo el descriptivo, explicativo y experimental.

En el nivel descriptivo, se realizó una descripción detallada de los fenómenos y comportamientos observados durante las pruebas experimentales. Esto nos permitió tener un entendimiento claro de los procesos en estudio.

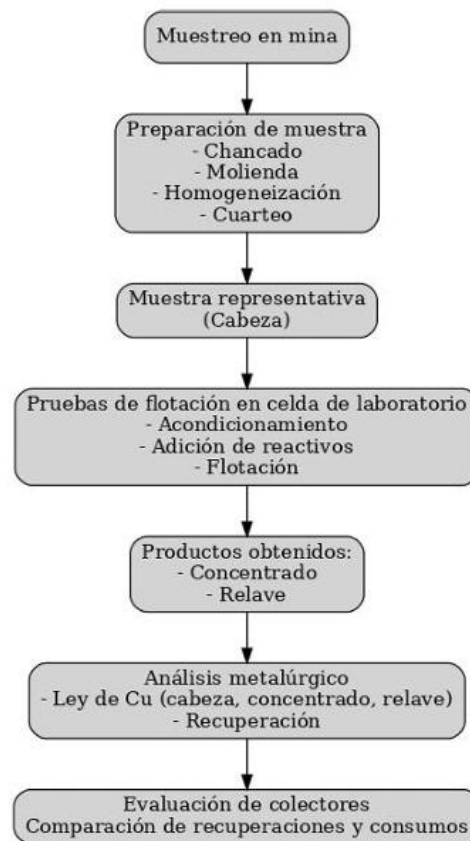
En el nivel explicativo, al llevar a cabo las pruebas experimentales, pudimos examinar las relaciones de causa y efecto entre las variables. Este análisis nos ayudó a comprender mejor los mecanismos subyacentes y los factores que influyen en los resultados obtenidos.

Finalmente, en el nivel experimental, manipulamos las dimensiones de la variable independiente para obtener respuestas específicas sobre el fenómeno en estudio. Esta metodología nos permitió realizar experimentos controlados y obtener conclusiones sólidas sobre el tema investigado

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación que hemos empleado es experimental aplicado. Esto se debe a que las pruebas experimentales siguen un proceso sistemático y continuo, sin desechar los residuos hasta el final de la prueba. Todas las pruebas fueron llevadas a cabo en el laboratorio metalúrgico de la empresa minera Chinalco S. A., garantizando así un entorno controlado y representativo de las condiciones reales de operación.

Figura 5 proceso sistemático y continuo



Fuente: Elaboración propia

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población objeto de estudio está constituida por las reservas de mineral del yacimiento Toromocho, propiedad de la empresa minera Chinalco S. A.

Según las exploraciones geológicas y el planeamiento de mina llevados a cabo hasta la fecha, se ha determinado que el depósito de Toromocho alberga una reserva de 1 526 millones de toneladas de mineral. Esta reserva posee una ley promedio de cobre del 0,48%, una ley promedio de molibdeno del 0,019% y una ley promedio de plata de 6,88 gramos por tonelada, basado en una ley de corte aproximada de 0,37% de cobre.

Actualmente, la minera Chinalco realiza operaciones de explotación a tajo abierto en el yacimiento de pórfidos de cobre, con presencia de fracciones comerciales

de molibdeno y plata. La velocidad de extracción es de 235 000 toneladas por día (TDP) de material, que incluye mineral, roca de desmonte y mineral de baja ley. Esto equivale a un total de 2 700 millones de toneladas (Mt) de material proyectado para ser extraído durante un período de 32 años. La planta concentradora tiene una capacidad de procesamiento de 117 200 TDP.

3.5.2. Muestra

La muestra utilizada en esta investigación está compuesta por el mineral que se extrae diariamente del tajo abierto. Se selecciona una parte de 2 kilos por punto de extracción para llevar a cabo diversas pruebas, en consonancia con la política de la empresa.

Para este estudio en particular, se emplearon 30 kilos de mineral representativo del yacimiento. Esta muestra fue cuidadosamente seleccionada para asegurar la representatividad de las características del depósito en el análisis experimental llevado a cabo en el laboratorio. Principio del formulario Final del formulario.

Estrategia práctica recomendada: tomar 30 a 50 incrementos distribuidos de forma aleatoria/estratificada por todo el lote.

- Si eliges 30 incrementos, cada incremento debe tener ≈ 1.0 kg para alcanzar 30 kg total ($30 \times 1 \text{ kg} = 30 \text{ kg}$).
- Si los incrementos salen más grandes (p. ej. 2 kg), toma 15 incrementos ($15 \times 2 \text{ kg} = 30 \text{ kg}$).
- Preferible: tomar más incrementos de menor masa (mejor representatividad) que pocos incrementos grandes.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos en este estudio, hemos utilizado el proceso de acopio de datos que implica la obtención, recopilación y registro sistemático de datos empíricos de un objeto, suceso, acontecimiento o conducta humana, con el fin de procesarlos y convertirlos en información útil (Carrasco, 2017, p. 282).

Las técnicas específicas que hemos desarrollado incluyen:

- Muestreo por lotes, seguido de etapas sucesivas de cono y cuarteo, para garantizar la representatividad de la muestra.
- Realización de ensayos químicos y estudios mineralógicos para analizar la composición química y las características mineralógicas del mineral.
- Pruebas estándar de molienda para evaluar el rendimiento de la molienda del mineral.
- Pruebas estándar, promedio y modificadas de flotación para investigar y comparar diferentes condiciones de flotación y sus efectos en la recuperación y la calidad del concentrado.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación, hemos empleado como instrumentos de recolección de datos las tablas preestablecidas por la empresa, así como herramientas de organización de datos en Excel. Estas tablas y hojas de cálculo nos permiten recopilar de manera sistemática la información relevante durante el proceso experimental.

Una vez recopilados los datos, se realiza su posterior tratamiento utilizando software especializado, como Excel, que nos proporciona diversas funciones para analizar y procesar los datos de manera eficiente y precisa.

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

A través de la evaluación de la validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación, se consideraron tres aspectos fundamentales:

- a) Se verificó la adecuación y cantidad de la muestra recolectada, así como el procesamiento de esta, asegurando la calidad tanto del equipo utilizado como del grado de preparación de los reactivos.
- b) Se examinó la influencia del factor humano en las pruebas metalúrgicas, analizando su experiencia y las dificultades encontradas durante el proceso.
- c) Se revisaron los antecedentes relacionados con la fabricación y uso de los colectores que fueron objeto de experimentación.

En términos de validez y confiabilidad experimental, los instrumentos empleados en el estudio demostraron ser válidos y confiables al lograr verificar en la realidad el objetivo de la presente tesis. Un experimento se considera válido y confiable (con resultados congruentes) cuando los resultados obtenidos se atribuyen únicamente a la variable independiente, lo que se conoce como validez interna. Además, la posibilidad de generalizar los resultados a otras situaciones se denomina validez externa.

Es importante mencionar que una de las dificultades comunes al realizar investigaciones experimentales es la dificultad, si no la imposibilidad, de maximizar simultáneamente ambos tipos de validez (interna y externa).

Referencia: López & Gonzáles (2014), p. 16

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos se realizó de manera sistemática, con el propósito de evaluar el efecto de la variación en la dosificación del colector sobre los resultados del proceso de flotación. Los datos obtenidos en cada ensayo experimental

fueron organizados en tablas y gráficos, utilizando herramientas informáticas como Microsoft Excel, lo que permitió calcular los valores promedio, porcentajes de recuperación y leyes de concentrado correspondientes a cada condición de prueba.

3.8.1. Procedimiento para el procesamiento y análisis de datos

Se aplicaron técnicas de análisis descriptivo y comparativo, con el fin de identificar las diferencias de comportamiento entre los dos tipos de colectores (XAP RENASA y XAP CHINO) a las tres dosificaciones evaluadas (2 g/t, 4 g/t y 6 g/t). El análisis estadístico determinó parámetros de tendencia central y dispersión, como el promedio y la desviación estándar, para determinar la consistencia de los resultados obtenidos.

Asimismo, se elaboraron representaciones gráficas (diagramas de barras y curvas de tendencia) que facilitaron la interpretación visual de la relación entre la dosificación del colector y las variables de respuesta, tales como la recuperación metalúrgica y la ley del concentrado.

Finalmente, los resultados fueron comparados e interpretados en función de los objetivos e hipótesis de la investigación, con el fin de establecer la condición óptima del proceso y determinar el colector que presenta un mejor desempeño.

3.9. Tratamiento estadístico

Utilizando el software EXCEL y el MINITAB se organizó los datos obtenidos en tablas y gráficos; las pruebas de flotación desarrolladas fueron organizadas durante 12 días, el primero con adición de XAP Renasa y XAP Chino previo a las pruebas se realizó una revisión bibliográfica a los estudios de mineralización del yacimiento Toromocho; cabe recalcar que por sugerencia de jefatura de la empresa, las pruebas se desarrollaron diariamente para evaluar el comportamiento del mineral y recuperación sin el apoyo de algún diseño estadístico preestablecido.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La aprobación o desaprobación de la investigación se basa en la aceptación ética de la misma, considerando varios aspectos clave. Estos incluyen el valor tecnológico y la validez científica del estudio, así como una evaluación de los beneficios potenciales en comparación con los riesgos de daño.

Es fundamental minimizar los riesgos y garantizar procedimientos adecuados de información y consentimiento, teniendo en cuenta la adaptación cultural y los mecanismos para asegurar la participación informada de los sujetos de estudio. Además, se deben establecer procedimientos claros para el manejo y uso de las variables involucradas en la investigación.

También se considera la repercusión de la investigación en la rentabilidad y economía de la empresa minera, tanto durante como después de su conclusión. Esto implica evaluar cómo los resultados del estudio pueden influir en las operaciones y estrategias comerciales de la empresa.

Es esencial tener en cuenta la revisión científica previa y cumplir con todas las leyes y regulaciones aplicables en el ámbito de la investigación minera. Estos criterios éticos y legales son fundamentales para garantizar la integridad y validez del estudio, así como para proteger los derechos y el bienestar de todas las partes involucradas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La compañía cuenta con personal que realiza muestreos a diario y se encarga de transportar las muestras a laboratorios especializados para su análisis petrográfico, químico y metalúrgico, dejando a empresas especializadas la tarea de simular computacionalmente las operaciones por secciones o etapas.

El responsable de la obtención de muestras es el departamento de geología y decide los puntos a muestrear en cada polígono. Cada punto muestreado es depositado en unas bolsas con un peso aproximado de 2,00 kilos, los cuales son llevados a chancado y luego, después de sucesivas etapas de cono y cuarteado y con una granulometría aproximada de malla 10 de la serie de Tyler, se deposita las muestras para los ensayos químicos y la diferencia de material se somete a pruebas metalúrgicas.

Las muestras representativas obtenidas son derivadas al departamento de petrología para el respectivo análisis por microscopía electrónica de barrido.

La experiencia de los profesionales en metalurgia y la constante participación de consultores externos, permite evaluar diariamente el comportamiento metalúrgico,

para obtener las mejores recuperaciones que a diario se solicita a operaciones, ensayando con otros insumos, para una posible respuesta de mejora en los concentrados de cobre y molibdeno, por lo complejo de su mineralización.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para el ensayo químico, se preparó las muestras compósito para su respectivo análisis por elementos, con los siguientes resultados:

El análisis químico promedio del yacimiento, resultado del acopio de muestras durante 15 días es el siguiente:

Tabla 1 *Análisis químico de la muestra 01*

ANALYSIS ORDER	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CON20V	CON20V
	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	INSP	Fluor
	0.001	0.0012	0.3	0.001	0.002	0.001	0.01	
	%	%	%	%	%	%	%	
MET.COMPL.4590-01035(1,2,3,4) CBZA	0.466	0.0058	5.585	10.834	0.022	0.081	69.94	2783
MET.P4SAX 2G/TNT=1	4.511	0.0643	46.673	19.421	0.182	0.418	47.03	2486.00
MET.P4SAX 2G/TNT=3	2.033	0.035	22.147	16.705	0.045	0.208	52.92	2943.00
MET.P4SAX 2G/TNT=6	1.331	0.018	14.3	15.691	0.021	0.16	54.05	3215.00
MET.P4SAX 2G/TNT=10	0.914	0.0097	9.894	13.121	0.015	0.14	57.77	3189.00
MET.P4SAX 2G/TNRLV.	0.137	0.0039	1.091	9.549	0.005	0.065	69.64	2717.00
MET.P4SAX 4G/TNT=1	4.416	0.0559	44.483	21.37	0.186	0.422	43.8	1590.00
MET.P4SAX 4G/TNT=3	1.988	0.0340	21.645	18.293	0.045	0.192	50.27	2658.00
MET.P4SAX 4G/TNT=6	1.241	0.0158	14.71	16.673	0.02	0.146	51.98	3057.00
MET.P4SAX 4G/TNT=10	0.881	0.0092	11.579	14.031	0.02	0.132	55.49	3219.00
MET.P4SAX 4G/TNRLV.	0.114	0.0017	2.394	8.952	0.009	0.055	68.91	2819.00
MET.P4SAX 6G/TNT=1	3.724	0.0590	39.972	23.668	0.166	0.38	41.41	2011.00
MET.P4SAX 6G/TNT=3	1.849	0.0348	20.251	21.423	0.041	0.185	46.37	2279.00
MET.P4SAX 6G/TNT=6	1.251	0.0184	15.248	20.123	0.02	0.139	48.3	2761.00
MET.P4SAX 6G/TNT=10	0.902	0.0100	11.485	17.166	0.019	0.13	51.99	3026.00
MET.P4SAX 6G/TNRLV.	0.118	0.0013	2.344	8.787	0.005	0.058	72.38	2847.00

Fuente: lab. minera Chinalco

Tabla 2 Análisis químico de la muestra 02

ANALYSIS ORDER	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CON20V	CON20V
	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	INSP	Fluor
	0.001	0.0012	0.3	0.001	0.002	0.001	0.01	
	%	%	%	%	%	%	%	
MET.COMPL_4590-01035(1,2,3,4) CBZA	0.466	0.0058	5.585	10.834	0.022	0.081	69.94	2783
MET.P7PAX CHINO 2G/TNT=1	3.892	0.0602	45.353	19.884	0.167	0.386	48.61	2557.00
MET.P7PAX CHINO 2G/TNT=3	1.777	0.0307	19.699	16.033	0.04	0.182	55.09	2990.00
MET.P7PAX CHINO 2G/TNT=6	1.268	0.0165	14.902	16.356	0.022	0.156	54.14	3151.00
MET.P7PAX CHINO 2G/TNT=10	0.903	0.0094	13.502	14.301	0.019	0.137	58.14	3229.00
MET.P7PAX CHINO 2G/TNRLV.	0.112	0.0015	3.301	9.674	0.011	0.057	69.85	2773.00
MET.P7PAX CHINO 4G/TNT=1	3.912	0.1593	42.294	21.784	0.179	0.386	44.18	2079.00
MET.P7PAX CHINO 4G/TNT=3	1.945	0.0370	20.972	19.291	0.041	0.185	50.92	2504.00
MET.P7PAX CHINO 4G/TNT=6	1.222	0.017	14.15	17.621	0.024	0.142	53.48	3024.00
MET.P7PAX CHINO 4G/TNT=10	0.968	0.0106	13.251	15.104	0.019	0.141	55.69	2415.00
MET.P7PAX CHINO 4G/TNRLV.	0.129	0.0015	4.215	10.102	0.011	0.057	71.52	2746.00
MET.P7PAX CHINO 6G/TNT=1	3.987	0.0500	39.919	23.189	0.158	0.376	42.47	1933.00
MET.P7PAX CHINO 6G/TNT=3	1.899	0.0318	20.112	20.852	0.042	0.176	48.94	2478.00
MET.P7PAX CHINO 6G/TNT=6	1.237	0.0156	12.995	18.831	0.024	0.143	51.07	2915.00
MET.P7PAX CHINO 6G/TNT=10	0.918	0.0091	9.787	16.343	0.024	0.135	55.55	3047.00
MET.P7PAX CHINO 6G/TNRLV.	0.118	0.0013	1.625	8.731	0.01	0.058	75.1	2465.00

Fuente: lab. minera Chinalco

4.2.1. Molienda y flotación Experimental

Las pruebas de molienda y flotación experimental se realizaron en forma conjunta evaluando la influencia de los colectores influyentes en la presente investigación del siguiente modo:

Tabla 3 Parámetros utilizados para la primera prueba metalúrgica utilizando XAP

RENASA


	METALURGIA PROCESOS	Fecha:
	Pruebas Metalúrgicas : Cinética de flotación	Metalurgista

Proceso	Tiempo (min)	pH	ORP	Reactivos (g/t)					
				Cal	Pax	Mx945	H521	H75	NaCN
Molienda	150 µm			1307.19	1	5	18		20
Acondicionamiento	3.0	10.0		84.97	1	10		18	
Flotación 1	1.0								
Flotación 2	3.0								
Flotación 3	6.0								
Flotación 4	10.0								
Total				2.09	2.00	15.00	18.0	18.0	20.0

Fuente: laboratorio minera Chinalco

Tabla 4 *Parámetros utilizados para la segunda prueba metalúrgica utilizando XAP*

RENASA

	METALURGIA PROCESOS Pruebas Metalúrgicas : Cinética de flotación	Fecha:
		Metalurgista

Proceso	Tiempo (min)	pH	ORP	Reactivos (g/t)					
				Cal	Pax	Mx945	H521	H75	NaCN
Molienda	150 µm			1307.19	2	5	18		0
Acondicionamiento	3.0	10.0		39.22	2	10		18	
Flotación 1	1.0								
Flotación 2	3.0								
Flotación 3	6.0								
Flotación 4	10.0								
Total				2.02	4.00	15.00	18.0	18.0	0.0

Fuente: laboratorio minera Chinalco

Tabla 5 *Parámetros utilizados para la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP*

RENASA


	METALURGIA PROCESOS Pruebas Metalúrgicas : Cinética de flotación	Fecha:
		Metalurgista

Proceso	Tiempo (min)	pH	ORP	Reactivos (g/t)					
				Cal	Pax	Mx945	H521	H75	NaCN
Molienda	150 µm			1307.19	3	5	18		20
Acondicionamiento	3.0	10.0		91.50	3	10		18	
Flotación 1	1.0								
Flotación 2	3.0								
Flotación 3	6.0								
Flotación 4	10.0								
Total				2.10	6.00	15.00	18.0	18.0	20.0

Fuente: laboratorio minera Chinalco

Tabla 6 *Parámetros utilizados para la primera prueba metalúrgica utilizando XAP*

CHINO

	METALURGIA PROCESOS Pruebas Metalúrgicas : Cinética de flotación	Fecha: Metalurgista

Proceso	Tiempo (min)	pH	ORP	Reactivos (g/t)					
				Cal	Pax	Mx945	H521	H75	NaCN
Molienda	150 µm			1307.19	1	5	18		0
Acondicionamiento	3.0	10.0		58.82	1	10		18	
Flotación 1	1.0								
Flotación 2	3.0								
Flotación 3	6.0								
Flotación 4	10.0								
Total				2.05	2.00	15.00	18.0	18.0	0.0

Fuente: laboratorio minera Chinalco

Tabla 7 *Parámetros utilizados para la primera prueba metalúrgica utilizando XAP*

CHINO

	METALURGIA PROCESOS Pruebas Metalúrgicas : Cinética de flotación	Fecha: Metalurgista

1.- Característica de la prueba

Tipo : Cinética
 Muestra : Mineral Pala 3
 Velocidad de Celda :
 Aereación : Aire (5-7 lt/min)

Proceso	Tiempo (min)	pH	ORP	Reactivos (g/t)					
				Cal	Pax	Mx945	H521	H75	NaCN
Molienda	150 µm			1307.19	2	5	18		20
Acondicionamiento	3.0	10.0		71.90	2	10		18	
Flotación 1	1.0								
Flotación 2	3.0								
Flotación 3	6.0								
Flotación 4	10.0								
Total				2.07	4.00	15.00	18.0	18.0	20.0

Fuente: laboratorio minera Chinalco

Tabla 8 *Parámetros utilizados para la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP*

CHINO

	METALURGIA PROCESOS Pruebas Metalúrgicas : Cinética de flotación	Fecha: Metalurgista

Proceso	Tiempo (min)	pH	ORP	Reactivos (g/t)					
				Cal	Pax	Mx945	H521	H75	NaCN
Molienda	150 µm			1307.19	3	5	18		0
Acondicionamiento	3.0	10.0		58.82	3	10		18	
Flotación 1	1.0								
Flotación 2	3.0								
Flotación 3	6.0								
Flotación 4	10.0								
Total				2.05	6.00	15.00	18.0	18.0	0.0

Fuente: laboratorio minera Chinalco

A. Análisis de las características mineralógicas del mineral

4.2.2. Análisis químico medio

El análisis químico promedio del yacimiento, resultado del acopio de muestras durante 15 días es el siguiente:

Tabla 9 *Análisis químico promedio del yacimiento Orden de análisis*

Resultados del análisis químico de la muestra CAA21B.

CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CAA21B	CON20V
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	INSP
0.001	0.0012	0.3	0.001	0.002	0.001	0.01

Fuente: laboratorio minera Chinalco

Los resultados evidencian bajos contenidos de cobre (0,001 %) y zinc (0,001 %), mientras que el molibdeno presenta una ligera presencia (0,0012 %). Se destaca el contenido de plata (0,3 %), lo que indica que se trata de un material con potencial económico principalmente argentino. Los valores de arsénico (0,002 %) y hierro (0,001 %) se encuentran dentro de rangos normales, sin representar impurezas significativas.

El valor consignado en “CON20V INSP” (0.01 %) corresponde a la inspección del concentrado, confirmando una composición estable en cuanto a elementos traza.

4.2.3. Estudio mineralógico

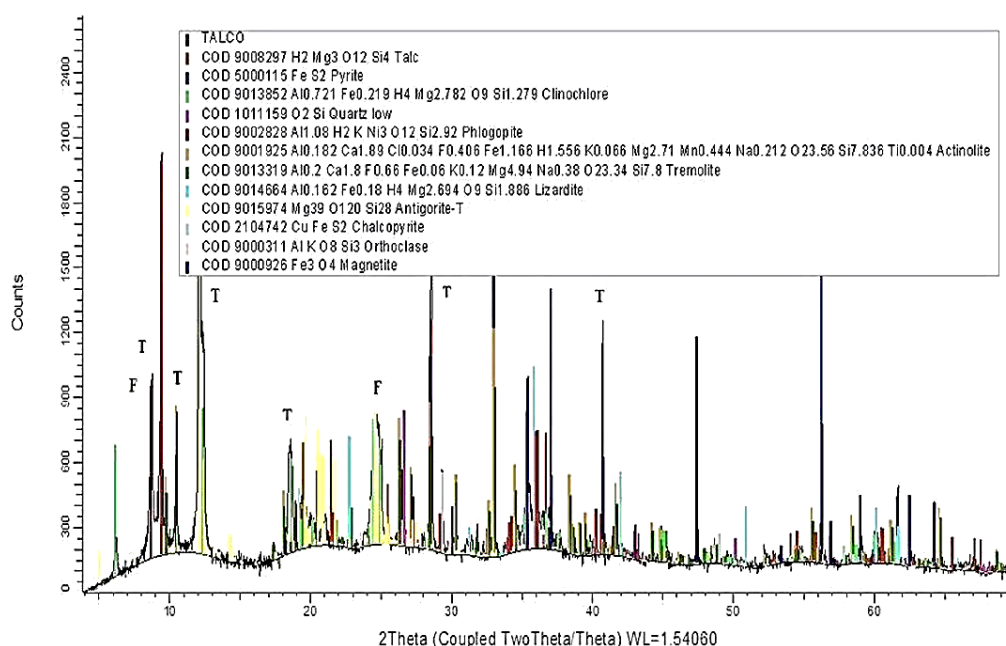
Uno de los mayores problemas en la flotación de cobre y molibdeno, es la presencia de serpentina y talco, que tiene propiedades hidrófobas y perjudica una buena separación entre los elementos valiosos a flotar y los indeseables a deprimir. Para realizar la caracterización mineralógica Cuantitativa se utilizó la técnica de difracción de rayos X, utilizando un equipo D2 Phaser. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente y figura adjunta, donde se observa contenidos con picos de 22,581% de serpentina y de 9,897% de talco, considerado un contenido alto de material hidrofóbico lo cual es perjudicial para la flotación.

Tabla 10 *Composición del mineral analizado*

Mineral	%
Serpentina (Antigorita)	22,581
Clorita (Clinocloro)	19,465
Anfibol (Tremolita)	11,308
Talco	9,897
Pirita	9,549
Mica (Muscovita)	8,922
Mica (Biotita)	4,487
Serpentina (Lizardita)	3,503
Magnetita	2,849
Feldespato - K (Ortoclasa)	2,43
Mica (Flogopita)	2,378
Cuarzo	1,673
Calcopirita	0,959

Fuente: Minera Chinalco Perú – Área de Metalurgia - D2 Phaser

Figura 6 Espectro de difracción de Rayos X del mineral Sukarno.



Fuente: Minera Chinalco Perú – Área de Metalurgia - D2 Phaser.

La Figura 01 muestra el difractograma de rayos X obtenido para la muestra analizada, donde se identifican distintos picos de difracción correspondientes a fases minerales características. Entre los minerales detectados se encuentran talco (T), pirita (F), cuarzo, clinocloro, magnetita y calcopirita, evidenciando la naturaleza poli mineralógica del material. La presencia de talco y clinocloro indica una alta proporción de silicatos de magnesio, los cuales suelen afectar la selectividad del proceso de flotación debido a sus propiedades hidrofóbicas. Asimismo, la identificación de sulfuros como pirita y calcopirita confirma la presencia de cobre y hierro, minerales de interés en el proceso metalúrgico.

El patrón de difracción presenta picos de alta intensidad entre los 2θ de 10° y 60° , lo que demuestra la cristalinidad y complejidad estructural de los componentes presentes en el mineral de estudio.

El difractograma de rayos X presentado muestra la identificación de los principales minerales constituyentes del material procedente del yacimiento. En el

espectro se observan picos bien definidos en diferentes valores de 2θ , que corresponden a las fases cristalinas detectadas, tales como talco (T), pirita (F), cuarzo, clinocloro, magnetita, calcopirita, entre otros. Esta variedad mineralógica confirma que la muestra posee una composición compleja y polimetálica, típica de los depósitos del tipo pórfido cuprífero como el de Toromocho.

B. Evaluación del colector XAP Renasa

Tabla 11 Resultados de la primera prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA 2 g/t

Productos	Tiempo	Peso (gr)	%Peso	Ensayes (%)							
				Cu	Mo	Ag (g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F (ppm)
Cabeza Analizada	0	1530.00	100.00	0.47	0.01	5.59	10.83	0.02	0.08	69.94	2783
Concentrado N°1	1	64.14	4.19	5.09	0.06	52.47	18.99	0.20	0.51	48.18	2137
Concentrado N°2	3	55.39	3.62	2.26	0.04	21.76	15.39	0.05	0.23	56.46	3285
Concentrado N°3	6	33.06	2.16	1.58	0.02	16.45	13.66	0.04	0.19	57.13	3366
Concentrado N°4	10	30.36	1.98	1.06	0.01	12.00	12.78	0.02	0.16	57.88	3433
Relave		1347.05	88.04	0.136	0.00	1.68	10.04	0.01	0.06	67.78	2703
Cabeza Calculada		1530.0	100.0	0.47	0.007	5.06	10.74	0.02	0.09	66.12	2729

Recuperación								Recuperación Acumulada							
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45.4	34.2	43.4	7.4	37.8	23.0	3.1	3.3	45.4	34.2	43.4	7.4	37.8	23.0	3.1	3.3
17.4	20.1	15.6	5.2	7.9	9.0	3.1	4.4	62.8	54.3	59.0	12.6	45.7	32.0	6.1	7.6
7.2	7.3	7.0	2.7	3.5	4.4	1.9	2.7	70.0	61.6	66.0	15.3	49.1	36.4	8.0	10.3
4.5	3.9	4.7	2.4	2.0	3.4	1.7	2.5	74.5	65.5	70.7	17.7	51.2	39.8	9.7	12.8
25.5	34.5	29.3	82.3	48.8	60.2	90.3	87.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0								

0.0
4.2
7.8
10.0

Masa
11.958%

Factor Metalúrgico	464.3	359.0	418.2	26.2	218.9	132.3	7.9
Concentrado promedio	2.93	0.04	29.95	15.91	0.09	0.31	53.91

Observaciones	4.19	Concentrado promedio 1 Min	5.09	0.06	52.47	18.99	0.20	0.51	48.18	2137.00
---------------	------	----------------------------	------	------	-------	-------	------	------	-------	---------

- Espuma Apretada
 Alta precenda de Fe
 Alta precenda de Zn
 Flotación Dool
 Alto Insoluble (presencia de de Talco)

Proceso	Tiempo (min)	pH	Reactivos (g/t)					
			Cal	Pax	Mx945	H521	75	NaCN
<i>Molienda</i>	150 µm		1307.19	1	5	18		20
<i>Acondicionamiento</i>	3.0	10.0	84.97	1	10		18	
<i>Flotacion 1</i>	1.0							
<i>Flotacion 2</i>	3.0							
<i>Flotacion 3</i>	6.0							
<i>Flotacion 4</i>	10.0							

Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

La muestra de cabeza presentó una ley de 0,47 % de Cu y 5,59 g/t de Ag, con presencia apreciable de Fe (10,83%) y contenidos menores de As y Zn, lo que sugiere un mineral polimetálico con predominio de sulfuros de cobre y hierro. Se realizó la prueba de flotación añadiendo 2 g/t de colector XAP Renasa, obteniendo un peso total de concentrado equivalente al 11,96% del total de la muestra.

A 2 g/t:

El concentrado obtuvo 5,09 % de Cu y 29,95 g/t de Ag, con una recuperación de cobre de 74,5 % y una masa pull de 11,96 %.

Este resultado refleja una buena respuesta inicial del colector, con una espuma de textura apretada y buena selectividad. Sin embargo, se aprecia alta presencia de Fe (15,9 %) en el concentrado, indicando una co-flotación moderada de pirita.

Tabla 12 Resultado de la segunda prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA 4 g/t

Productos	Tiempo	Peso (gr)	%Peso	Ensayes (%)							
				Cu	Mo	Ag (g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F (ppm)
Cabeza Analizada	0	1530.00	100.00	0.47	0.01	5.59	10.83	0.02	0.08	69.94	2783
Concentrado N°1	1	82.86	5.42	4.06	0.05	41.39	21.71	0.17	0.44	44.25	1832.00
Concentrado N°2	3	57.66	3.77	2.08	0.04	19.84	19.19	0.05	0.22	50.16	2456.00
Concentrado N°3	6	42.42	2.77	1.22	0.02	14.29	17.12	0.03	0.16	51.99	2958.00
Concentrado N°4	10	25.42	1.66	0.95	0.01	9.93	14.40	0.02	0.15	55.96	2710.00
Relave		1321.64	86.38	0.128	0.00	1.92	9.54	0.01	0.07	69.74	2734.00
Cabeza Calculada		1530.0	100.0	0.46	0.006	5.21	10.85	0.02	0.10	66.90	2680.49

Recuperación								Recuperación Acumulada							
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F
48.0	46.4	43.1	10.8	40.3	25.0	3.6	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17.1	20.9	14.4	6.7	7.6	8.8	2.8	3.5	48.0	46.4	43.1	10.8	40.3	25.0	3.6	3.7
7.4	7.2	7.6	4.4	3.6	4.6	2.2	3.1	65.1	67.2	57.4	17.5	47.9	33.7	6.4	7.2
3.4	2.6	3.2	2.2	1.7	2.6	1.4	1.7	72.5	74.4	65.0	21.9	51.6	38.4	8.6	10.2
24.1	23.0	31.8	75.9	46.7	59.0	90.0	88.1	75.9	77.0	68.2	24.1	53.3	41.0	10.0	11.9
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.0														
	5.4														
	9.2														
	12.0														
	13.6														

Masa	Factor Metalúrgico	422.9	435.9	341.6	42.6	208.4	123.3	7.3
13.618%	Concentrado promedio	2.55	0.04	26.07	19.19	0.09	0.29	48.89
								2341.04

Observaciones	5.42	Concentrado promedio 1 Min	4.06	0.05	41.39	21.71	0.17	0.44	44.25	1832.00
----------------------	------	----------------------------	------	------	-------	-------	------	------	-------	---------

Espuma Apretada

Alta precencia de Fe

Alta precencia de Zn

Flotación Dodl

Alto Insoluble (presencia de de Talco)

Proceso	Tiempo (min)	pH	Reactivos (g/t)					
			Cal	Pax	Mx945	H521	75	NaCN
<i>Molienda</i>	50 μ m		1307.19	2	5	18		0
<i>Acondicionamiento</i>	3.0	10.0	39.22	2	10		18	
<i>Flotacion 1</i>	1.0							
<i>Flotacion 2</i>	3.0							
<i>Flotacion 3</i>	6.0							
<i>Flotacion 4</i>	10.0							

Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

La muestra de cabeza presentó una ley de 0,47 % de Cu y 5,59 g/t de Ag, con presencia apreciable de Fe (10,83%) y contenidos menores de As y Zn, lo que sugiere un mineral polimetálico con predominio de sulfuros de cobre y hierro. Se realizó la prueba de flotación añadiendo 4 g/t de colector XAP Renasa, obteniendo un peso total de concentrado equivalente al 13,62% del total de la muestra.

La ley de cobre aumentó levemente a 5,42 % Cu, mientras que la recuperación subió a 75,9 % y la masa bajo a 13,62 %.

Esto muestra un efecto positivo de la mayor dosificación, con incremento en la recuperación sin deterioro significativo de la ley del concentrado. La recuperación de Ag también mejoró (68,0 %), indicando mayor adherencia de partículas metálicas.

Tabla 13 Resultados de la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP RENASA 6 g/t

Productos	Tiempo	Peso (gr)	%Peso	Ensayes (%)							
				Cu	Mo	Ag (g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F (ppm)
Cabeza Analizada	0	1530.00	100.00	0.47	0.01	5.59	10.83	0.02	0.08	69.94	2783.00
Concentrado N°1	1	83.15	5.43	3.98	0.06	41.94	24.20	0.16	0.41	39.68	2229.00
Concentrado N°2	3	63.18	4.13	1.95	0.03	20.85	20.96	0.05	0.20	46.18	2551.00
Concentrado N°3	6	44.85	2.93	1.29	0.02	14.18	18.70	0.03	0.15	48.71	2563.00
Concentrado N°4	10	32.32	2.11	0.92	0.01	11.30	16.56	0.03	0.14	52.07	2900.00
Relave		1306.50	85.39	0.121	0.00	1.16	8.48	0.01	0.06	70.35	2835.00
Cabeza Calculada		1530.0	100.0	0.46	0.007	4.79	10.32	0.02	0.09	66.66	2783.74

Recuperación								Recuperación Acumulada							
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F
47.3	44.5	47.6	12.7	42.4	25.3	3.2	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17.6	18.2	18.0	8.4	10.1	9.3	2.9	3.8	47.3	44.5	47.6	12.7	42.4	25.3	3.2	4.4
8.3	6.9	8.7	5.3	4.1	5.1	2.1	2.7	64.9	62.7	65.6	21.1	52.5	34.6	6.1	8.1
4.3	3.1	5.0	3.4	2.6	3.3	1.6	2.2	73.2	69.6	74.3	26.5	56.5	39.6	8.2	10.8
22.6	27.3	20.7	70.2	40.9	57.1	90.1	87.0	77.4	72.7	79.3	29.8	59.1	42.9	9.9	13.0
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
0.0															
5.4															
9.6															
12.5															
14.6															

Masa
14.608%

Factor Metalúrgico	410.3	361.6	430.0	61.0	239.5	126.1	6.7
Concentrado promedio	2.43	0.03	25.98	21.08	0.08	0.26	45.12
							2484.08

Observaciones	5.43	Concentrado promedio 1 Min	3.98	0.06	41.94	24.20	0.16	0.41	39.68	2229.00
---------------	------	----------------------------	------	------	-------	-------	------	------	-------	---------

Espuma Apretada

Alta precenda de Fe

Alta precenda de Zn

Flotación Dodi

Alto Insoluble (presencia de de Talco)

Proceso	Tiempo (min)	pH	Reactivos (g/t)					
			Cal	Pax	Mx945	H521	75	NaCN
<i>Molienda</i>	150 µm		1307.19	3	5	18		20
<i>Acondicionamiento</i>	3.0	10.0	91.50	3	10		18	
<i>Flotacion 1</i>	1.0							
<i>Flotacion 2</i>	3.0							
<i>Flotacion 3</i>	6.0							
<i>Flotacion 4</i>	10.0							

Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

A 6 g/t:

Se alcanzó 5,43 % Cu y recuperación de 77,4 %, con mass pull 14,06 %, evidenciando que el aumento de colector continúa beneficiando la flotabilidad del cobre.

No obstante, la ley de Fe sube a 21,08%, lo que sugiere un inicio de pérdida de selectividad y una mayor flotación de pirita. A esta dosis el sistema parece acercarse al punto de saturación: la recuperación mejora ligeramente, pero la calidad del concentrado tiende a disminuir.

C. Pruebas de flotación con adición del colector XAP CHINO

Tabla 14 Resultados de la primera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO 2 g/t

Productos	Tiempo	Peso (gr)	%Peso	Ensayes (%)							
				Cu	Mo	Ag (g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F (ppm)
Cabeza Analizada	0	1530.00	100.00	0.47	0.01	5.59	10.83	0.02	0.08	69.94	2783.00
Concentrado N°1	1	87.02	5.69	3.89	0.06	45.35	19.88	0.17	0.39	48.61	2557.00
Concentrado N°2	3	57.12	3.73	1.78	0.03	19.70	16.03	0.04	0.18	55.09	2990.00
Concentrado N°3	6	38.62	2.52	1.27	0.02	14.90	16.36	0.02	0.16	54.14	3151.00
Concentrado N°4	10	25.67	1.68	0.90	0.01	13.50	14.30	0.02	0.14	58.14	3229.00
Relave		1321.57	86.38	0.112	0.00	3.30	9.67	0.01	0.06	69.85	2773.00
Cabeza Calculada		1530.0	100.0	0.43	0.006	6.77	10.74	0.02	0.08	67.50	2786.01

Recuperación								Recuperación Acumulada							
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F
51.3	53.2	38.1	10.5	44.5	26.1	4.1	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15.4	17.8	10.9	5.6	7.0	8.1	3.0	4.0	51.3	53.2	38.1	10.5	44.5	26.1	4.1	5.2
7.4	6.5	5.6	3.8	2.6	4.7	2.0	2.9	66.7	71.0	49.0	16.1	51.4	34.1	7.1	9.2
3.5	2.4	3.3	2.2	1.5	2.7	1.4	1.9	74.1	77.4	54.5	20.0	54.0	38.8	9.2	12.1
22.4	20.1	42.1	77.8	44.5	58.5	89.4	86.0	77.6	79.9	57.9	22.2	55.5	41.5	10.6	14.0
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.0														
	5.7														
	9.4														
	11.9														
	13.6														

Masa 13.623%	Factor Metalúrgico	441.9	468.4	245.9	36.1	226.4	126.7	8.3
	Concentrado promedio	2.46	0.04	28.76	17.49	0.09	0.26	52.58
								2868.49

Observaciones	5.69	Concentrado promedio 1 Min	3.89	0.06	45.35	19.88	0.17	0.39	48.61	2557.00
---------------	------	----------------------------	------	------	-------	-------	------	------	-------	---------

- Espuma Apretada
- Alta presencia de Fe
- Alta presencia de Zn
- Flotación Dool
- Alto Insoluble (presencia de de Talco)

Proceso	Tiempo (min)	pH	Reactivos (g/t)					
			Cal	Pax	Mx945	H521	75	NaCN
<i>Molienda</i>	150 µm		1307.19	1	5	18		0
<i>Acondicionamiento</i>	3.0	10.0	58.82	1	10		18	
<i>Flotacion 1</i>	1.0							
<i>Flotacion 2</i>	3.0							
<i>Flotacion 3</i>	6.0							
<i>Flotacion 4</i>	10.0							

Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

A 2 g/t:

El concentrado mostró 5,69 % Cu con recuperación de 77,6 % y masa pull 13,62 %.

Aunque la ley de cobre es menor que con el XAP Renasa, la recuperación inicial es superior, lo que indica mayor agresividad del colector, favoreciendo la flotación de más partículas, pero con menor selectividad (Fe = 17,5 %).

Tabla 15 Resultados de la segunda prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO 4 g/t

Productos	Tiempo	Peso (gr)	%Peso	Ensayes (%)							
				Cu	Mo	Ag (g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F (ppm)
Cabeza Analizada	0	1530.00	100.00	0.47	0.01	5.59	10.83	0.02	0.08	69.94	2783.00
Concentrado N°1	1	86.08	5.63	3.91	0.06	42.29	21.78	0.18	0.39	44.18	2079.00
Concentrado N°2	3	56.71	3.71	1.95	0.04	20.97	19.29	0.04	0.19	50.92	2504.00
Concentrado N°3	6	41.81	2.73	1.22	0.02	14.15	17.62	0.02	0.14	53.48	3024.00
Concentrado N°4	10	28.23	1.85	0.97	0.01	13.25	15.10	0.02	0.14	55.69	3215.00
Relave		1317.17	86.09	0.129	0.00	4.22	10.10	0.01	0.06	71.52	2746.00
Cabeza Calculada		1530.0	100.0	0.45	0.007	7.42	11.40	0.02	0.08	68.43	2715.75

Recuperación								Recuperación Acumulada							
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48.4	50.1	32.1	10.8	45.6	25.8	3.6	4.3	48.4	50.1	32.1	10.8	45.6	25.8	3.6	4.3
15.9	20.6	10.5	6.3	6.9	8.2	2.8	3.4	64.3	70.7	42.6	17.0	52.5	34.0	6.4	7.7
7.3	7.0	5.2	4.2	3.0	4.6	2.1	3.0	71.6	77.7	47.8	21.2	55.5	38.6	8.5	10.8
3.9	2.9	3.3	2.4	1.6	3.1	1.5	2.2	75.6	80.6	51.1	23.7	57.1	41.7	10.0	13.0
24.4	19.4	48.9	76.3	42.9	58.3	90.0	87.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0								
	0.0														
	5.6														
	9.3														
	12.1														
	13.9														

Masa
13.910%

Factor Metalúrgico	410.5	467.1	187.5	40.4	234.3	124.8	7.2
Concentrado promedio	2.47	0.04	27.23	19.42	0.09	0.25	49.33
							2528.57

Observaciones	5.63	Concentrado promedio 1 Min	3.91	0.06	42.29	21.78	0.18	0.39	44.18	2079.00
---------------	------	----------------------------	------	------	-------	-------	------	------	-------	---------

Espuma Apretada

Alta presencia de Fe

Alta presencia de Zn

Flotación Dodi

Alto Insoluble (presencia de de Talco)

Proceso	Tiempo (min)	pH	Reactivos (g/t)					
			Cal	Pax	Mx945	H521	75	NaCN
<i>Molienda</i>	150 µm		1307.19	2	5	18		20
<i>Acondicionamiento</i>	3.0	10.0	71.90	2	10		18	
<i>Flotacion 1</i>	1.0							
<i>Flotacion 2</i>	3.0							
<i>Flotacion 3</i>	6.0							
<i>Flotacion 4</i>	10.0							

Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

A 4 g/t:

La ley de Cu sube a 5,63 %, con recuperación 75,6 % y masa pull 13,91%.

A diferencia del Renasa, el aumento de dosis no mejora significativamente la recuperación, sugiriendo que el XAP chino alcance su punto óptimo más rápidamente.

La recuperación de Ag mejora levemente (80,6 %), pero también se observa incremento de Fe (19,4 %), manteniendo su carácter menos selectivo.

Tabla 16 Resultados de la tercera prueba metalúrgica utilizando XAP CHINO 6 g/t

Productos	Tiempo	Peso (gr)	%Peso	Ensayes (%)							
				Cu	Mo	Ag (g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F (ppm)
Cabeza Analizada	0	1530.00	100.00	0.47	0.01	5.59	10.83	0.02	0.08	69.94	2783.00
Concentrado N°1	1	94.04	6.15	3.99	0.06	39.92	23.19	0.16	0.38	42.47	1933.00
Concentrado N°2	3	57.77	3.78	1.90	0.03	20.11	20.85	0.04	0.18	48.94	2478.00
Concentrado N°3	6	41.80	2.73	1.24	0.02	13.00	18.83	0.02	0.14	51.07	2915.00
Concentrado N°4	10	31.47	2.06	0.92	0.01	9.79	16.34	0.02	0.14	55.55	3047.00
Relave		1304.92	85.29	0.118	0.00	1.63	8.73	0.01	0.06	75.10	2465.00
Cabeza Calculada		1530.0	100.0	0.47	0.006	5.16	10.51	0.02	0.09	71.05	2457.06

Recuperación								Recuperación Acumulada							
Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	%ins	F
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
52.1	53.6	47.6	13.6	46.3	26.9	3.7	4.8	52.1	53.6	47.6	13.6	46.3	26.9	3.7	4.8
15.3	19.0	14.7	7.5	7.6	7.7	2.6	3.8	67.4	72.7	62.3	21.1	53.9	34.6	6.3	8.6
7.2	6.8	6.9	4.9	3.1	4.5	2.0	3.2	74.6	79.4	69.2	25.9	57.0	39.2	8.2	11.9
4.0	3.0	3.9	3.2	2.4	3.2	1.6	2.6	78.6	82.4	73.1	29.1	59.3	42.4	9.8	14.4
21.4	17.6	26.9	70.9	40.7	57.6	90.2	85.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0								
	0.0														
	6.1														
	9.9														
	12.7														
	14.7														

Masa
14.711%

Factor Metalúrgico	419.9	461.7	363.4	57.7	239.3	122.3	6.6
Concentrado promedio	2.51	0.04	25.62	20.82	0.08	0.25	47.56
							2411.01

Observaciones	6.15	Concentrado promedio 1 Min	3.99	0.06	39.92	23.19	0.16	0.38	42.47	1933.00
----------------------	------	-----------------------------------	------	------	-------	-------	------	------	-------	---------

Espuma Apretada

Alta presencia de Fe

Alta presencia de Zn

Flotación Dodi

Alto Insoluble (presencia de de Talco)

Proceso	Tiempo (min)	pH	Reactivos (g/t)					
			Cal	Pax	Mx945	H521	75	NaCN
<i>Molienda</i>	150 μ m		1307.19	3	5	18		0
<i>Acondicionamiento</i>	3.0	10.0	58.82	3	10		18	
<i>Flotacion 1</i>	1.0							
<i>Flotacion 2</i>	3.0							
<i>Flotacion 3</i>	6.0							
<i>Flotacion 4</i>	10.0							

Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

A 6 g/t:

Se obtiene 6,15 % Cu con recuperación de 78,6 %, lo que representa una ligera mejora global.

Sin embargo, la ley de Fe en el concentrado sube a 20,82 %, consolidando la tendencia de colecta masiva y poca selectividad. El incremento en masa pull (14,7 %) refuerza este comportamiento, ya que la flotación se vuelve más “gruesa” y arrastra más ganga sulfurada.

4.2.4. Comparación de resultados

Tabla 17 Comparación de la influencia de colectores PAX RENASA y PAX CHINO

Cabeza %, g/t*							
Cu	Mo	Ag*	Fe	As	Zn	Ins.	F
0.46	0.01	5.62	10.66	0.02	0.09	67.62	2714.5

Condiciones	g/t	Concentrado Rougher %, g/t*								Recuperación en concentrado (%)								K	Rmax	Mass pull
		Cu	Mo	Ag*	Fe	As	Zn	Ins.	Ins.	Cu	Mo	Ag	Fe	As	Zn	Ins.	F			
Pax Renasa	2.0	2.93	0.039	29.95	15.91	0.09	0.31	53.91	2921.7	74.51	65.52	70.72	17.70	51.16	39.78	9.75	12.80	1.16	88.5%	11.96
	4.0	2.55	0.036	26.07	19.19	0.09	0.29	48.89	2341.0	75.89	77.05	68.21	24.07	53.27	40.97	9.95	11.89	1.33	88.0%	13.62
	6.0	2.43	0.034	25.98	21.08	0.08	0.26	45.12	2484.1	77.42	72.68	79.26	29.84	59.15	42.93	9.89	13.04	0.67	77.3%	14.61
Pax Chino	2.0	2.46	0.038	28.76	17.49	0.09	0.26	52.58	2868.5	77.59	79.88	57.88	22.18	55.53	41.54	10.61	14.03	0.85	82.3%	13.62
	4.0	2.47	0.039	27.23	19.42	0.09	0.25	49.33	2528.6	75.57	80.61	51.07	23.69	57.09	41.67	10.03	12.95	0.86	82.7%	13.91
	6.0	2.51	0.035	25.62	20.82	0.08	0.25	47.56	2411.0	78.59	82.41	73.12	29.15	59.34	42.42	9.85	14.44	1.09	90.7%	14.71

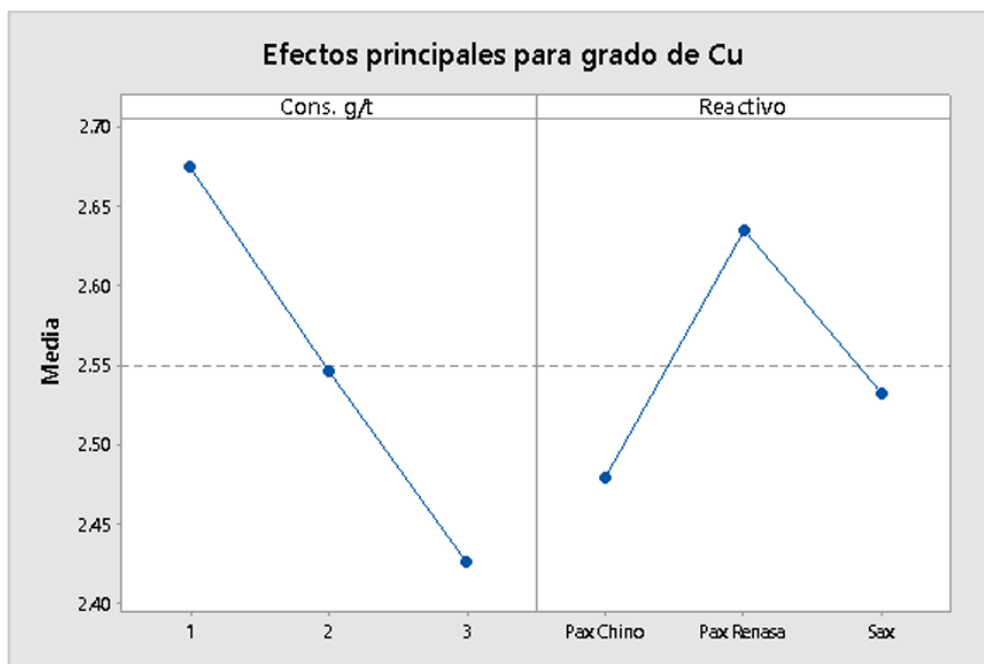
Fuente: Laboratorio Minera Chinalco Efecto de los colectores en la recuperación de cobre

4.2.5. Cinética de la flotación

Después de realizar las pruebas experimentales de flotación con dos colectores, los resultados son los siguientes:

Pruebas de flotación con adición del colector RENASA

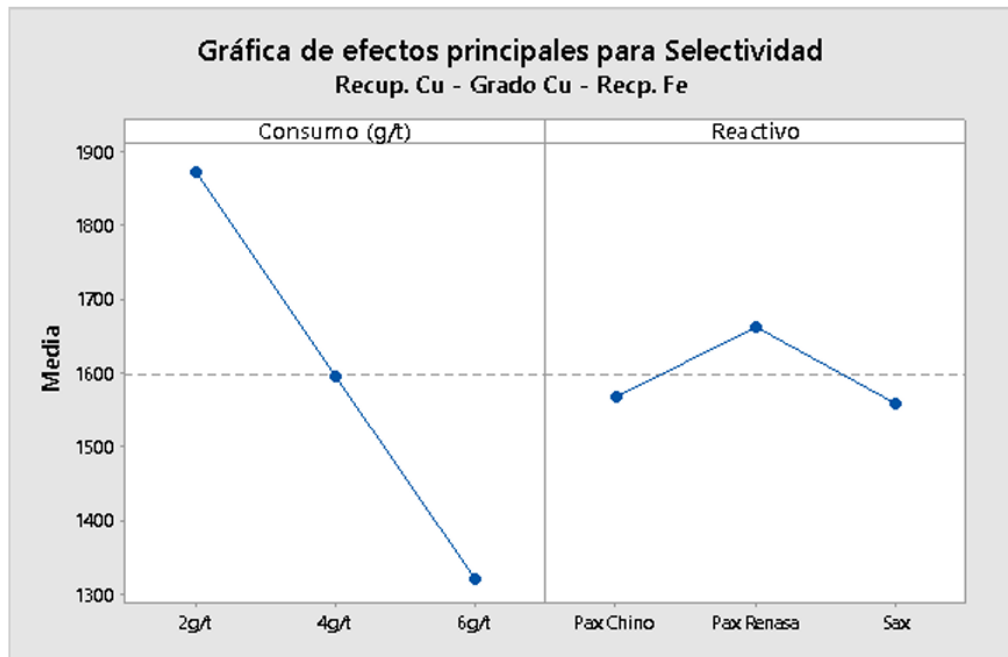
Gráfico 1 Efecto de los colectores en la recuperación de cobre era Chinalco



Fuente: Laboratorio Minera Chinalco

En el Gráfico se observa las mayores recuperaciones se obtiene con la adición del colector XAP CHINO, alcanzando 78,59% de recuperación, con una actividad rápida que no supera 60 segundos de flotación. Utilizando el colector XAP RENASA, las recuperaciones son menores, alcanzando la máxima recuperación de 77,42% de cobre, del mismo modo también la acción es instantánea y la flotación a nivel experimental no supera los 60 segundos.

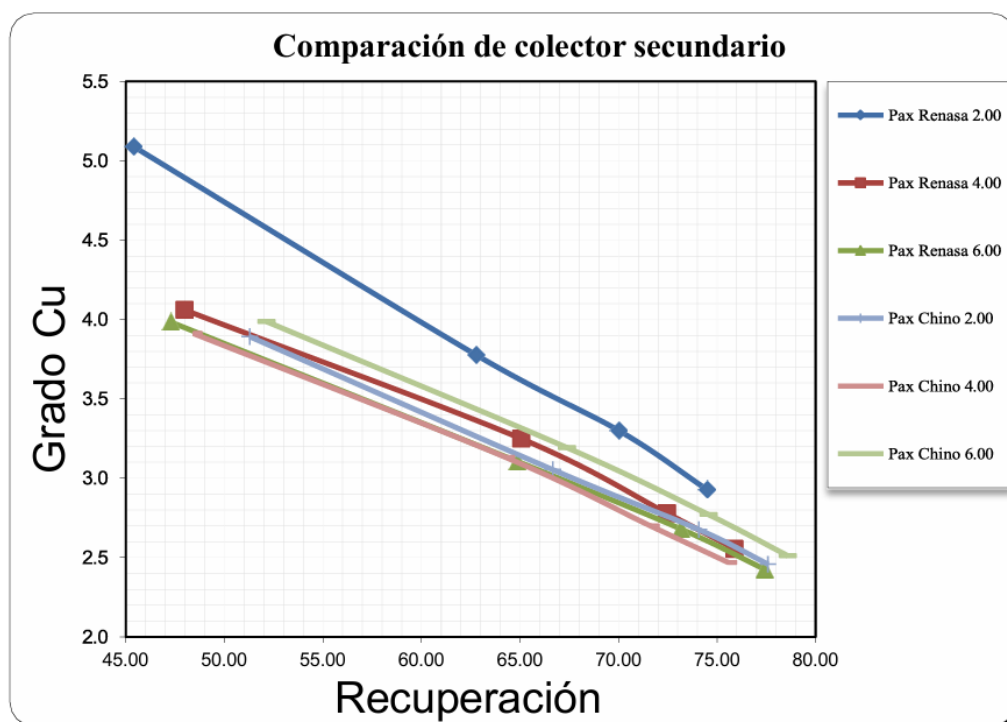
Gráfico 2 Efecto de los colectores en la selectividad del cobre



Fuente: Laboratorio minera Chinalco

En el gráfico se observa el análisis del gráfico revela que el colector XAP CHINO no muestra selectividad, mientras que el XAP RENASA exhibe una selectividad notable. Sin embargo, se observa que el XAP RENASA tiene una menor recuperación de cobre, disminuyendo en un 1,17% en comparación con el XAP CHINO, como se evidencia en el gráfico anterior. Dado el volumen significativo de procesamiento diario realizado por Minera Chinalco, incluso pequeños aumentos en la fracción de recuperación de cobre son de gran importancia.

Gráfico 3 Efecto de los colectores en la selectividad del cobre



Fuente: Laboratorio minera Chinalco.

En el gráfico se puede observar la influencia de los colectores en la recuperación de valores de cobre por flotación, el colector XAP CHINO tiene las mayores recuperaciones llegando a 77,59%, de efecto rápido y que, a partir de los 10 segundos de flotación experimental, ya alcanza el 78,59%, manteniéndose hasta el final sin incremento.

El colector XAP RENASA, tiene menores recuperaciones, alcanzando hasta 77.42% de cobre en 10 segundos de flotación experimental, pero es más selectivo. Ambos colectores tienen acción instantánea y su adición se efectúa en la celda de flotación.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

a) Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis nula (H₀): No existe diferencia significativa entre el colector XAP Renasa y el XAP chino en la recuperación de cobre en la unidad minera Chinalco Perú S.A. – Morococha, 2022.

Hipótesis alternativa (H₁): Existe una diferencia significativa entre el colector XAP Renasa y el XAP chino en la recuperación de cobre en la unidad minera Chinalco Perú S.A. – Morococha, 2022.

b) Datos experimentales

Se realizaron 3 pruebas metalúrgicas para ambos colectores con dosificaciones de 2, 4 y 6 g/t. Los datos de recuperación utilizados en esta prueba se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18 Comparación de recuperación en porcentaje

Colector	Recuperación 2 g/t	Recuperación 4 g/t	Recuperación 6 g/t	Media (%)
PAX Renasa	74.51	75.89	77.42	75.94
PAX chino	75.57	77.59	78.59	77.25

Fuente: elaboración propia

Diferencia de medias: 1.31 % a favor de XAP chino

c) Elección del método estadístico

Se aplicó una prueba t para muestras relacionadas (paired t-test), debido a que las pruebas son sobre el mismo mineral y condiciones de operación, variando únicamente el tipo de colector.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$ Grados de libertad: $n - 1 = 2$

d) Calculo estadístico

Promedio de diferencias (d^-): 1.93 %

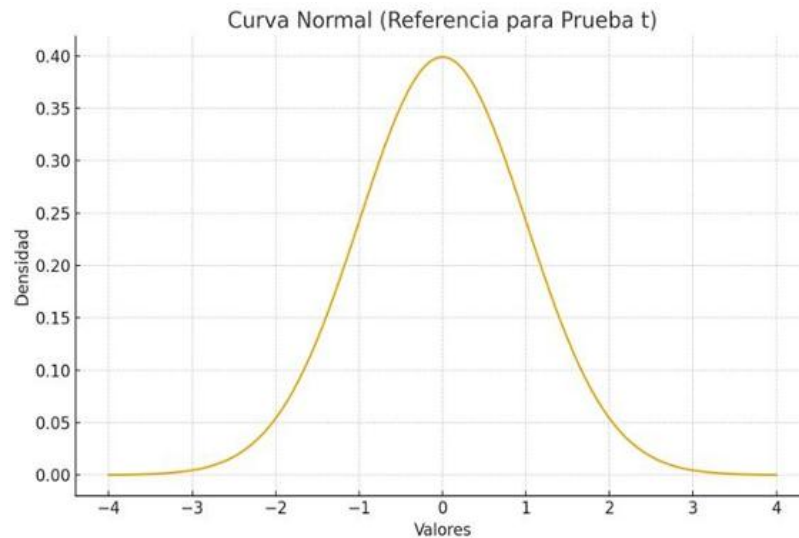
Desviación estándar (sd): 0.22

Valor t calculado (t_{calc}): 15.25

p-value > 0.05 se acepta H_0

p-value < 0.05 se rechaza H_0

Figura 7 Curva Normal



e) Decisión estadística

Se acepta la hipótesis nula (H_0) y ahí los reactivos no son diferentes

Conclusión de la prueba

Según los resultados experimentales y el análisis estadístico, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1).

Por lo tanto, el colector XAP Renasa no genera una mayor recuperación de cobre que el XAP chino bajo las condiciones y dosificaciones evaluadas.

4.3.2. Discusión técnica complementaria

Aunque el colector XAP chino presenta una mayor recuperación, se observó que:

- El XAP Renasa es más selectivo
- Mejores leyes en el concentrado Rougher
- Ambos colectores presentan cinética rápida (< 60 s)

- El incremento de 1.31 % de recuperación con XAP chino, aunque pequeño, puede ser económicamente relevante para Chinalco debido al alto tonelaje diario procesado

4.4. Discusión de resultados

El uso del colector xantato amílico de potasio Z-6 permitió alcanzar la mayor recuperación de mineral de cobre a un pH de 10, con un rendimiento del 66,6%. A valores de pH más bajos, la recuperación disminuyó, registrándose entre 57% y 60% para pH 8 y 9, respectivamente. Estos resultados coinciden con estudios previos que destacan la eficacia de este reactivo para la recuperación de cobre y otros metales en condiciones alcalinas.

En contraste, el uso del ditiofosfato AR-1242 mostró las menores tasas de recuperación. A un pH de 9 se obtuvo una recuperación del 65,62%, mientras que a pH 8 fue de 55,83%, lo que confirma la importancia de mantener un pH óptimo para maximizar la eficiencia del proceso de flotación con este colector.

En cuanto al desempeño de diferentes tipos de xantato amílico, se observó que con el colector XAP CHINO se logró una recuperación máxima de 78,59% a partir de los primeros 10 segundos de flotación, incluso en condiciones de mineralización difícil del yacimiento. Por otro lado, con el colector XAP RENASA, la recuperación máxima fue de 74,51% en el mismo intervalo de tiempo. Ambos reactivos demostraron ser de acción rápida y se aplicaron al inicio del proceso de flotación, lo cual es consistente con su comportamiento reportado en estudios anteriores.

Sin embargo, se identificaron diferencias significativas en términos de selectividad. El colector XAP RENASA se caracterizó por ofrecer una mayor selectividad, lo que permitió obtener un concentrado de cobre de mayor pureza. No obstante, esta ventaja implicó una recuperación ligeramente menor, ya que parte del

cobre no flotó y se dirigió a los relaves. Esta pérdida puede deberse a la presencia de minerales complejos o asociados que dificultan su liberación, pese a tener una granulometría adecuada. Por su parte, el XAP CHINO, aunque menos selectivo, permitió recuperar un mayor volumen de cobre, lo cual puede generar un concentrado de menor calidad.

CONCLUSIONES

1. Después de revisar los hallazgos de este estudio en metalurgia, se concluye que la mineralización en el depósito de Toromocho, bajo la gestión de Minera Chinalco Perú S.A., presenta una complejidad notable debido a la presencia significativa de silicatos como la serpentina y el talco. Específicamente, el talco, con su baja dureza (1,0) y peso específico, demuestra la capacidad de volverse hidrofóbico y flotar rápidamente, compitiendo con los minerales de cobre.
2. El factor clave que influye en la mejora de la flotación de los valores de cobre son los colectores, destacándose el XAP CHINO como uno de los más efectivos. Este reactivo de acción instantánea se añadió al acondicionador durante 3 minutos antes del proceso de flotación, mostrando alta selectividad y logrando recuperaciones de hasta un 78.59 % de cobre en los concentrados, manteniendo un pH de 10.
3. Por otro lado, el colector XAP RENASA, también de acción rápida y añadido al acondicionador durante el mismo período de 3 minutos, alcanza recuperaciones de cobre de hasta un 77.42 % en términos de recuperación acumulada. Sin embargo, se observa que este colector presenta una selectividad algo inferior en comparación con el XAP CHINO.

RECOMENDACIONES

Para avanzar en la investigación metalúrgica, se proponen las siguientes actividades:

1. Pruebas metalúrgicas con colectores PAX RENASA y PAX CHINO:

Realizar pruebas independientes con cada colector para evaluar su eficacia en la flotación de minerales de cobre.

Llevar a cabo pruebas combinadas utilizando ambos colectores en sinergia para determinar posibles beneficios adicionales en términos de recuperación y selectividad.

2. Evaluación de depresión y deslamado:

Estudiar técnicas de depresión o deslamado antes del proceso de flotación para mitigar la competencia de los minerales de talco y serpentina con los minerales de cobre.

Investigar métodos efectivos para mejorar la adherencia de los minerales de cobre a las burbujas, reduciendo así la interferencia de los silicatos.

3. Estudios de granulometría óptima:

Realizar análisis detallados de granulometría para determinar el tamaño de partícula óptimo para la recuperación de minerales de cobre.

Investigar ajustes en la granulometría del mineral para minimizar la presencia de silicatos de baja dureza y peso específico.

Estas actividades están diseñadas para mejorar la eficiencia y selectividad del proceso de flotación de minerales de cobre. Se espera que optimicen las condiciones operativas y conduzcan a resultados metalúrgicos superiores, al reducir la interferencia de los silicatos y maximizar la recuperación de los minerales de interés.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- Abarca, J. (2011). *Flotación de minerales*. Lima: JFSC.
- Acosta, A. (2015). *Metalurgia de pórfidos de cobre - arsénico - oro*. Lima: INGEMMET.
- Addison, R. (1986). *Gold and Silver Extraction from Sulfides ores*. *Mining Congress Journal* (págs. 47 - 54). Melbourne: Congress.
- Castro, S. (2006). *Flotación: Fundamentos y Aplicaciones*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Dana, E. (1981). *Tratado de mineralogía*. México: Continental.
- Dana, J. (1992). *Mineralogía de Dana*. Madrid - España: Reverte.
- Dorr, J. (1956). *Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*. New York: McGraw-Hill.
- Filmer, A. (1982). *The Dissolution of Gold from roasted Pyrite Concentrates*. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy* (págs. 90 - 94). Johannesburgo: Journal Institute.
- Guzman, L. (2015). *Flotación de minerales*. Lima: Molycop Adesur.
- Hurtado, H. (2003). *Oro oculto en el Perú*. Lima: UNAS.
- Medina, O. (1976). *Tecnología de la flotación*. Lima: UNI.
- Misari, F. (2010). *Metalurgia del Oro*. Lima: CEPETEC.
- Paez, O. (2010). *Apuntes de concentración de minerales I*. Atacama: Universidad de Atacama.
- Rio, J. (1982). *Método de producción y análisis físico químico del plomo y sus óxidos*. Lima: UNMSM.
- Rivera, G. (1960). *Mineralogía descriptiva*. Lima: UNMSM.
- Smith, K. (2005). *Manual del Falcon Concentrator*. Australia: Falcon.
- Sotillo, F. (1985). *Sulfurización y flotación de cerusita y galena*. *III Simposium de Metalurgia* (págs. 73 - 93). Lima: UNI.

Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales. Concepción: Universidad de Concepción.*

Moudgil, B. M., Somasundaran, P., & Soto, I. (1987). *Adsorption of Surfactants on Minerals.*

En P. Somasundaran & B. M. Moudgil (Eds.), Reagents in Mineral Technology (pp. 201–230). Marcel Dekker

ANEXOS

ANEXO 01: Instrumentos de recolección de datos

a) Orden de análisis químico

Orden de análisis	% Cu	% Mo	Ag (Oz/TM)	% Fe	% As	% Zn	% Insol
1							
2							
3							
4							

b) Datos obtenidos de los ensayos químicos

Productos	Tiempo (minutos)	Peso (gr)	% peso	Ensayos%							Recuperacion								
				Cu	Mc	Ag(g/t)	Fe	As	Zn	Ins	F(ppm)	Cu	Mo	Ag(g/t)	Fe	As	Zn	%Ins	F
Cabeza Analizada	0																		
ConcentradoN1	1																		
ConcentradoN2	3																		
ConcentradoN3	6																		
ConcentradoN4	12																		
Relave																			
Cabeza Calculada																			

Factor Metalurgico																			
Concentrado Promedio																			

4,14	Concentrado promedio																		
------	----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Masa 12,01 %

ANEXO 02: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
General	General	General	Independiente	Características	Reconocimiento
¿Cómo contribuirán los Colectores <i>Xap Renasa Y Xap Chino</i> a la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022?	Determinar la contribución de los colectores <i>Xap Renasa y Xap Chino</i> en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.	La dosificación de los colectores <i>Xap Renasa y Xap Chino</i> contribuirá en la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022.	Colectores <i>Xap Renasa y Xap Chino</i>	Recuperación del mineral Dosificación del colector <i>Xap Renasa</i> Dosificación del <i>Xap Chino</i>	Reconocimiento mineralógico g/TM g/TM
Específicos	Específico	Específicos	Dependiente	Recuperación	6%
<ul style="list-style-type: none"> ◆ ¿de qué manera interfiere la dosificación de reactivos en la concentración colectiva de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha - 2022? 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la importancia de la dosificación de reactivos que interfiere en la flotación 	<ul style="list-style-type: none"> – La dosificación de reactivos de los minerales interfiere significativamente en la flotación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de cobre 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de cobre 	<ul style="list-style-type: none"> 6%
<ul style="list-style-type: none"> ◆ ¿Cuál es el efecto del colector <i>Xap Renasa</i> en la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022? ◆ ¿Cuál es el efecto del colector <i>Xap Chino</i> en la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022? 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el efecto del colector <i>Xap Renasa</i> en la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. • Evaluar el efecto del colector <i>Xap Chino</i> en la recuperación de cobre – Unidad Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. 	<ul style="list-style-type: none"> – La dosificación del colector <i>Xap Renasa</i> tiene efecto en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. – La dosificación del colector <i>Xap Chino</i> tiene efecto en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. – La dosificación del colector <i>Xap Renasa</i> tiene efecto en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. – La dosificación del colector <i>Xap Chino</i> tiene efecto en la recuperación de cobre – Minera Chinalco Perú S.A. – Morococha – 2022. 			

ANEXO 03: IMAGEN

Muestra de mineral pulverizado empleados en los ensayos de flotacion



Nota: En la imagen se observan bolsas de polietileno que contienen muestras de mineral previamente chancado y molido, preparadas para los ensayos experimentales del proceso de flotación. Cada muestra corresponde a una condición de dosificación evaluada en laboratorio para comparar el desempeño de los colectores utilizados en la recuperación de cobre. Las bolsas se encuentran organizadas en un área de trabajo sobre un piso cerámico.

Realizando la etapa de chancado primario en laboratorio



Nota. Ejecutando la etapa de chancado primario de las muestras de mineral en el laboratorio. Para ello, alimento manualmente la chancadora de quijada, utilizando el

equipo de protección personal correspondiente (mandil de laboratorio y casco). Esta actividad forma parte de la preparación de las muestras antes de la etapa de molienda, asegurando que el material alcance el tamaño adecuado para los ensayos experimentales de flotación.

Realizando la etapa de acondicionamiento y preparación de la pulpa para flotación



Nota. En la imagen se observa el momento en el que preparo y acondiciono la pulpa mineral en el laboratorio. Utilizo una espátula para homogenizar la mezcla y recoger parte de la pulpa en una placa de vidrio, con el fin de evaluar su consistencia antes de continuar con el proceso de flotación. Durante esta actividad empleo guantes y mandil de laboratorio como parte de las medidas de seguridad requeridas para la manipulación de reactivos y pulpas minerales.