

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en circuito Rougher 1, 2, 3
y 4 para la recuperación de Cobre de la empresa minera Chinalco –
Morococha**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Jimmy Martin ZEVALLOS FERNANDEZ

Bach. Estalin Juan MAURICIO VIDAL

Asesor:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en circuito rougher 1, 2, 3
y 4 para la recuperación de cobre de la empresa minera Chinalco –
Morococha**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Cayo PALACIOS ESPÍRITU
PRESIDENTE

Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ
MIEMBRO

Mg. Uldarico USURIAGA LÓPEZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 204-2024-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 del Sulfhidrato de Sodio (NaSH) en Circuito Rougher 1, 2,
3 y 4 para la Recuperación de Cobre de la Empresa Minera Chinalco –
Morococha**

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. ZEVALLOS FERNANDEZ, Jimmy Martin

Bach. MAURICIO VIDAL, Estalin Juan

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. BLAS ARAUCO, Antonio Florencio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

4 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 21 de octubre del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.10.2024 10:47:33 -05:00

DEDICATORIA

Con todo cariño a nuestros padres por el apoyo para hacernos de hombres de bien y darnos una profesión y a todos nuestros familiares por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Mediante la presente investigación expreso mis sinceros agradecimientos:

- A Dios por brindarme vida y salud.
- A mis padres por el apoyo incondicional en las diferentes etapas de formación académica y por ser el impulso para lograr mis proyectos de vida.
- A mi casa superior de estudios Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, especialmente a mis docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, quienes aportaron en mi formación profesional.
- A todos mis seres mas queridos por el apoyo en todas las etapas de mi formación profesional.

RESUMEN

El propósito de la tesis es realizar la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en circuito Rougher 1, 2, 3 y 4 en la recuperación de cobre de la Empresa Minera Chinalco. La investigación tiene un diseño experimental. La muestra lo constituye 54 kg que se muestreo en los circuitos de flotación rougher. La recolección de datos consistió en la toma de muestra en la alimentación, concentrado y relave. Se determino las recuperaciones por circuito, donde se dosificó NaSH a 20 g/t a L1 y L2 y 28 g/t a L3 y L4, para ver el efecto del NaSH en la recuperación de cobre.

Los resultados son los siguientes: el mineral tiene una gravedad específica de 2,89, el mayor contenido de cobre se encuentra en los contenidos finos en 30,46% que se encuentra por debajo de la malla 500, el ensaye químico del mineral tiene 0,65% de Cu, 5,0 g/t de Ag, 0,02% de Mo y 5,10% de Fe. El grado de liberación del mineral es 153 μm para un tiempo de molienda de 10 minutos, las recuperaciones de cobre están en el rango de 212 μm a 105 μm en la que se consigue recuperaciones de 93 a 96 % de cobre a nivel batch.

La dosificación del NaSH a 20 g/t, logra una recuperación de 79,85% de cobre, se controló el pH a 10,5 con ORP -35,9 mV. Y dosificando NaSH a 28 g/t se tiene una recuperación de 81,90% de cobre, el pH se controló en 10,5 y ORP es -34,9 mV. En conclusión, el NaSH influye en la recuperación.

Palabras claves: evaluación de NaSH, flotación rougher de cobre, circuito de flotación

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to carry out the evaluation of sodium sulfhydrylate (NaSH) in Rougher circuit 1, 2, 3 and 4 in the copper recovery of the Chinalco Mining Company. The research has an experimental design. The sample consists of 54 k that were sampled in the rougher flotation circuits. Data collection consisted of sampling the feed, concentrate and tailings. The recoveries were determined by circuit, where NaSH was dosed at 20 g/t to L1 and L2 and 28 g/t to L3 and L4, to see the effect of NaSH on copper recovery.

The results are the following: the mineral has a specific gravity of 2.89, the highest copper content is found in the fine contents at 30.46%, which is below the 500 mesh, the chemical assay of the mineral has 0.65% of Cu, 5.0 g/t of Ag, 0.02% of Mo and 5.10% of Fe. The degree of liberation of the mineral is 153 μm for a grinding time of 10 minutes, the recoveries of copper are in the range of 212 μm to 105 μm in which recoveries of 93 to 96% of copper are achieved at batch level.

The dosage of NaSH at 20 g/t achieves a recovery of 79.85% of copper, the pH was controlled at 10.5 with ORP -35.9 mV. And dosing NaSH at 28 g/t results in a recovery of 81.90% copper, the pH was controlled at 10.5 and the ORP is -34.9 mV. In conclusion, NaSH influences recovery.

Keywords: NaSH evaluation, copper rougher flotation and flotation circuit

INTRODUCCIÓN

El estudio trata de la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en circuito Rougher 1, 2, 3 y 4 en la recuperación de cobre de la Empresa Minera Chinalco. El problema que tenemos es la baja recuperación de cobre que se encuentra en 77,06%, esto debido a una deficiente dosificación del NaSH y la presencia de óxidos de cobre. Por tal motivo, el estudio se realiza en las líneas de flotación rougher 1, 2, 3 y 4, en la que se dosifica el NaSH a las líneas rougher bulk en 20 g/t, líneas 1 y 2, y 28 g/t a las líneas 3 y 4, después de las pruebas se tiene una recuperación de cobre 81,90% en los circuitos rougher 3 y 4. El grado de liberación del pórfido de cobre es 153 μm para un tiempo de molienda de 10 minutos. Y la recuperación de cobre se encuentra en el rango de 212 μm a 105 μm en la que se recupera cobre de 90 a 93% a nivel batch.

El estudio se realizó para mejorar la recuperación de cobre utilizando NaSH en la etapa de flotación rougher modificando la superficie de los óxidos de cobre en la flotación. De las evaluaciones de los circuitos se determinó que las mejores recuperaciones de cobre se tienen dosificando NaSH a 28 g/t.

El tipo de investigación es el diseño experimental, debido a que se controla el grado de liberación en la molienda, dosificación el reductor en la flotación en la que se controla el ORP del circuito y el pH en 10,5.

El desarrollo del estudio se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I, la identificación y determinación del problema, delimitación de la investigación, formulación del problema, formulación de objetivos, justificación de la investigación y limitaciones de la investigación.

Capítulo II, está formado por el marco teórico, antecedentes de estudio, bases teóricas científicas, definición de términos, formulación de hipótesis, identificación de variables y definición operacional de variables e indicadores.

Capitulo III, está configurado por la metodología y técnicas de investigación, en la que contiene el tipo de investigación, nivel de investigación, métodos de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación, técnicas de procesamiento y análisis de datos y la orientación ética.

Capitulo IV, en este capítulo se presenta los resultados y la discusión, en la que se tienen todos los resultados en función de los objetivos del estudio y de esta manera demostrando la hipótesis planteada.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Delimitación Teórica.....	2
1.2.2. Delimitación Espacial.....	2
1.2.3. Delimitación Temporal.....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problema específico.....	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
1.5.1. Justificación económica.....	4
1.5.2. Justificación práctica.....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudios	6
2.2.	Bases Teóricas – Científicas	9
2.2.1.	Cobre	9
2.2.2.	Pórfidos de cobre	10
2.2.3.	Flotación de minerales.....	11
2.2.4.	Flotación de cobre y molibdeno en minerales tipos pórfidos.....	12
2.2.5.	Circuito de flotación	15
2.2.6.	Sulfhídrido de sodio.....	17
2.2.7.	Factores que influyen en el proceso de flotación	20
2.3.	Definición de términos básicos	21
2.4.	Formulación de Hipótesis	21
2.4.1.	Hipótesis General	21
2.4.2.	Hipótesis Especifico	22
2.5.	Identificación de variables	22
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	23

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	24
3.2.	Nivel de investigación.....	24
3.3.	Métodos de investigación.....	24
3.4.	Diseño de investigación	25
3.5.	Población y muestra	26
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	28
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	28

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	29
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	32
4.3. Prueba de hipótesis.....	51
4.4. Discusión de resultados.....	53

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variables e indicadores de operación	23
Tabla 2.	Ensaye Químico.....	30
Tabla 3.	Gravedad específica de la muestra	31
Tabla 4.	Análisis de malla valorada de la muestra	31
Tabla 5.	Tiempo de molienda relacionado con el grado de liberación	32
Tabla 6.	Condiciones operacionales de las pruebas.....	34
Tabla 7.	Resultados de los ensayos de ley de cabeza, concentrado y relave de cobre	36
Tabla 9.	Recuperación de cobre en la línea 1 y 2	38
Tabla 10.	Resultados de ensayos de ley de cabeza, concentrado y relave de cobre	39
Tabla 11.	Resultados de ensayos de oxidación, % de cobre oxidado y % de fierro	40
Tabla 12.	Recuperación de cobre en la línea 3 y 4	41
Tabla 13.	Comparación de las recuperaciones de cobre.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Porfido de cobre.....	11
Figura 2.	Recuperación de Cu-Mo y otros minerales	13
Figura 3.	Recuperación de cobre con dextrina.....	14
Figura 4.	Recuperación de Mo con dextrina	14
Figura 5.	Recuperación de fierro en el concentrado cobre	15
Figura 6.	Circuito de flotación – 2 líneas de flotación.....	16
Figura 7.	Flotación rougher.....	17
Figura 8.	Formación de especies por disociación del NaSH.....	19
Figura 9.	Sulfhídrido de sodio.....	19
Figura 10.	Circuito de flotación Rougher líneas 1, 2, 3 y 4.....	26
Figura 11.	Puntos de muestreo.....	30
Figura 12.	Tiempo de molienda relacionado con el grado de liberación	33
Figura 13.	Evaluación del grado de liberación en la recuperación de cobre	34
Figura 14.	Recuperación de cobre por líneas.....	42
Figura 15.	Porcentaje de RatOx en la cabeza.....	43
Figura 16.	Promedio de Leyes de Cu en cabeza.	43
Figura 17.	Promedio de Leyes de Cu en cola y diferencias	44
Figura 18.	Recuperación de Cobre en el circuito rougher	44
Figura 19.	Leyes de cobre en el concentrado rougher bulk.	45
Figura 20.	Leyes de fierro en el concentrado rougher bulk	46
Figura 21.	Porcentaje de RatOx en la cabeza.....	47
Figura 22.	Promedio de Leyes de Cu en cabeza	47
Figura 23.	Promedio de Leyes de Cu en cola y diferencias	48
Figura 24.	Recuperación de Cobre en el circuito rougher	48
Figura 25.	Leyes de cobre en el concentrado rougher bulk	49
Figura 26.	Leyes de fierro en el concentrado rougher bulk.	50

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Minera Chinalco opera el yacimiento minero de Toromocho, donde se extrae minerales de pórfidos de cobre. El proceso de explotación y procesamiento de mineral es como sigue: El mineral de cobre se extrae de la mina, luego, se transporta al stockpile, una zona de almacenamiento con capacidad para 54 000 toneladas. Después pasa a la etapa de trituración donde se reduce el mineral en una chancadora primaria giratoria de 60'x 113', la reducción del mineral se realiza de un F_{80} de 1200 mm a un P_{80} de 180 mm. Seguidamente, pasa a la molienda un molino SAG de 40'x26', el mineral se reduce a un P_{80} 5739 μm . Y por último, la pulpa del molino SAG es bombeada a un nido de hidrocilones, y el overflow se alimenta a la flotación Rougher de cobre.

El problema que tenemos en el circuito de flotación (Rougher Bulk) es la recuperación de cobre que es 77,6%, siendo esta recuperación muy baja debido que no se está realizando un buen control con la dosificación del sulfhidrato de sodio

(NaSH) , además la presencia de óxidos de cobre, que se solubiliza e hidrata fácilmente con el agua dificulta la recuperación de cobre.

Ante este problema lo que se pretende realizar la evaluación del sulfhidrato de sodio en el circuito de flotación Rougher, para mejorar la recuperación de cobre, controlando la dosificación del NaSH que beneficia la recuperación de óxidos de cobre.

En la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en el circuito de flotación Rougher influyen muchos factores que afectan la eficiencia de operación como: Tamaño de partícula, pH, presencia de iones solubles, dosificación de colector, punto de adición, velocidad de agitación y tiempo de flotación. Y en el estudio se controlará el grado de liberación del mineral, dosificación de NaSH

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación Teórica

El estudio se centró en varios conceptos, teorías y fundamentos que subyacen al uso del sulfhidrato de sodio en la flotación de minerales de cobre.

1.2.2. Delimitación Espacial

La investigación se realizó en la planta concentradora área 220 flotación bulk de la Empresa Minera Chinalco en las líneas de flotación rougher de cobre 1, 2, 3 y 4 en el distrito de Morococha antigua perteneciente a la Región de Junín

1.2.3. Delimitación Temporal

El estudio se realizó durante 6 meses, que se dio inicio en el primer mes de abril del 2021 y culminó a fines del mes de setiembre del mismo año.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo realizar la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en el circuito rougher 1,2,3 y 4 en la recuperación de cobre de la Empresa Minera Chinalco – Morococha?

1.3.2. Problema específico

- ¿Cuáles son las características físicas y químicas del mineral de cobre que influye en la recuperación de cobre del circuito rougher 1,2,3 y 4 de la Empresa minera Chinalco- Morococha?
- ¿Cuál es el grado de liberación del mineral que influyen en la recuperación de cobre en los circuitos Rougher 1, 2, 3, y 4 de la Empresa Minera Chinalco- Morococha?
- ¿Cuál es la dosificación optima de NaSH que mejora la recuperación de cobre sin afectar el concentrado?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en la recuperación de cobre en las líneas 1, 2, 3 y 4 del circuito rougher de la Empresa Minera Chinalco – Morococha

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física y química del mineral de cobre que influye en la recuperación de cobre de la Empresa Minera Chinalco – Morococha

- Determinar el grado de liberación del mineral que influyen en la recuperación de cobre en los circuitos Rougher 1,2,3 y 4 de la Empresa Minera Chinalco – Morococha
- Determinar la dosificación óptima de NaSH para mejorar la recuperación de cobre de la Empresa Minera Chinalco – Morococha.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación económica

La investigación es relevante debido a la importancia económica y ambiental de maximizar la eficiencia de recuperación de cobre en los procesos de flotación. El conocimiento generado puede contribuir a mejorar los procesos metalúrgicos en la Empresa Minera Chinalco, optimizando la utilización de reactivos y rentabilidad de la operación.

1.5.2. Justificación práctica

Las razones por la que se realizó el estudio es determinar la influencia de la dosificación del sulfhidrato de sodio en la recuperación de cobre. Actualmente tiene una recuperación de 77,6% de cobre en los circuitos de flotación rougher utilizando el sulfuro de sodio. Al mejorar la recuperación de cobre utilizando NaSH, se beneficia la empresa teniendo una buena calidad de concentrado y recuperación.

1.6. Limitaciones de la investigación

En la ejecución del estudio se tuvo algunas limitaciones debido a que no se contó con el apoyo del metalurgista de la Empresa Minera Chinalco y algunos jefes de guardia, que laboran en las líneas de flotación Rougher de cobre.

No se tuvo acceso a todos los datos de las pruebas del circuito de flotación rougher, debido a que algunos datos son reservados para la empresa.

El trabajar en una contrata te limita realizar pruebas tanto en laboratorio como en la planta concentradora, por lo que se tuvo algunos datos por estar trabajando como apoyo durante el recojo de la las muestras.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios

Antecedente Internacional

Lobos (2015) presento la tesis “**Evaluación del uso de NaSH en el circuito de flotación selectiva de molibdeno de los Pelambres**”, que tiene como objetivo, Realizar una evaluación del uso de NaSH en la etapa Rougher de la flotación selectiva de los Pelambres, estudiando los mecanismos que inciden en un mayor consumo, y desarrollando alternativas que permitan disminuir el uso del reactivo. El estudio trata de ver la adición del exceso del sulfhidrato de sodio en la mejora de la calidad del concentrado de molibdeno el cual conlleva a un aumento de costo de la operación de planta, motivo por el cual ve la necesidad de evaluar este reactivo, en la etapa selectiva de flotación. Y llega a las siguientes conclusiones:

La recuperación de molibdeno en 95%, es debido a que la molibdenita se encuentra mayormente libre, y solo el 8% del mineral está asociada a la ganga, que perjudica la flotación. El cobre presente en el concentrado Rougher tiene un tamaño fino menor a 53 μ m, que se incorpora por arrastre en la flotación selectiva.

La cantidad de oxígeno en el gas de flotación aumenta un mayor consumo del sulfhidrato de sodio, por tal motivo se debe controlar el contenido de oxígeno del gas flotante, por lo que se sugiere no pasar de 2000 Nm³/h en la adición del flujo de gas en la planta de nitrógeno.

Los altos consumos de reactivo NaSH en la planta concentradora se deben a periodos de dosificación ineficiente el cual ocasiona altas dosificaciones de este reactivo en los cajones de transpaso rougher. Por lo que, se debe mejorar la dosificación en el cajón de acondicionamiento (ST-17) y de esta manera reducir la cantidad de NaSH.

Verdejo (2007) presentó la tesis **“Aumento de Recuperación y Disminución de Consumo de NaSH, vía Puesta en Operación Analizador de Leyes y Sensores de Potencial de Óxido - Reducción”**, que tiene como objetivo, evaluar la viabilidad de "Aumentar la Recuperación de Molibdeno y Disminuir el Consumo del Reactivo Depresante NaSH", mediante la implementación de un analizador de leyes en línea (XRA-1600) y sensores de potencial de óxido-reducción.

El analizador de leyes es un equipo que realiza análisis de múltiples elementos y mide el porcentaje de sólidos. Los sensores de potencial miden el potencial de óxido-reducción y el pH. Para que estos sensores fueran efectivos, se establecieron diversos parámetros detallados en el estudio.

La inversión necesaria para poner en funcionamiento estos equipos fue mínima, y el costo operativo adicional se estimó en 0,09 millones de dólares al año, es decir, un 2%. El ahorro derivado de reducir el consumo de NaSH de 5 kg a 4 kg por tonelada de concentrado colectivo fue de aproximadamente 300 mil dólares al año, lo que representa un 5% del costo total.

El aumento en la recuperación del molibdeno resultó en incrementos significativos en los ingresos, que en algunos casos alcanzaron hasta el 13%.

Económicamente, el estudio demostró que tanto la reducción en el consumo de reactivo como el aumento en la recuperación permiten incrementar considerablemente los ingresos a un costo despreciable para la división.

Antecedente nacional

Salcedo (2019) presentó la tesis “**Evaluación del reactivo Sulfhidrato de Sodio (NaHS) en la flotación de Mo de la minera Chinalco - Morococha, 2019**”, que tiene como objetivo, evaluar el efecto del reactivo Sulfhidrato de sodio (NaHS) en la flotación de Mo de la Minera Chinalco, en la que estudia el alto consumo del Anamol-D y NaCN en la flotación del molibdeno, en la que genera altos costos operacionales; para lo cual busca remplazar con un reactivo como el sulfhidrato de sodio (NaSH) y reducir los costos y mejorar la recuperación del molibdeno. El tipo de investigación es aplicativa correlacional. Llega a las siguientes conclusiones:

El concentrado de Cu-Mo llega a tener 16,40% Cu, 0,05% Mo, 122,9 g/T Ag, 24,10% de Fe, 0,29% As y 2,65% Zn, y un P₈₀ de concentrado de 85 micrometros.

Trabajando con Anamol-D y el NaCN en la flotación Cu-Mo se logra recuperar 52% de de molibdeno con 16 gramos por tonelada, si se reduce las dosificaciones a 8 g/T se recupera el 47% de molibdeno, en la que se observa el desplazamiento del molibdeno con el cobre.

En las pruebas en la que controla el pH, tiempo de acondicionamiento y NaSH, controlando el aire en 10 lb/min logra recuperar en 56% el molibdeno. Para lo cual se controló en 11,5 pH, tiempo de acondicionamiento de 1 min con dosificación del NaSH en 6 g/T.

Bailon (2023) presentó la **tesis de reducción del NaSH en el circuito de Molibdeno – las Bambas**. Tiene como problema el alto consumo de NaSH en el circuito de flotación de molibdeno. Como objetivo es reducir el consumo del NaSH en el circuito de flotación. Aplica el diseño experimental aplicada, realiza las pruebas a nivel laboratorio con pulpa del ingreso al circuito bulk, a 35% de sólidos en celdas de 2 litros, con 17 minutos de tiempo de flotación.

Realizada las pruebas llega a las siguientes conclusiones:

El consumo de NaSH se reduce al incrementar el tonelaje de tratamiento, las espumas de las celdas rougher son mas estables. El consumo de NaSH bajo de 6,52 k/t a 3,8 k/t.

A un pH de 7 el consumo de NaSH se incrementa a 21,67 k/t. Trabajando a un pH mayor a 11 el ión sulfhidrato pierde su capacidad de disolver colectores y se activen los contaminantes bajando la calidad del concentrado y recuperación.

A mayor concentración del NaSH de 10% a 30%, el consumo de NaSH disminuye.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. Cobre

Según Codelco (1976) menciona que, el cobre, es un metal de tono rojizo, y forma parte de la llamada “familia del cobre” junto con la plata y el oro. Estos elementos se destacan por ser excelentes conductores de la electricidad. Además, han desempeñado un papel crucial en la acuñación de monedas a lo largo de la historia.

Propiedades físicas

El cobre se moldea fácilmente, se estira, por ser un metal suave; y tiene resistencia a la corrosión; es buen conductor de calor.

Propiedades químicas

N° atómico	29
Masa atómica	63,54 (g/mol)
Punto de fusión	1083 °C
Densidad	8,96 (g/mol)

El cobre se utiliza para la generación y distribución eléctrica debido a que es un excelente conductor de energía eléctrica. En las telecomunicaciones es utilizado para la fabricación de cables telefónico y en el desarrollo de nuevas tecnologías para incrementar la eficiencia de transmisión de datos. También se utiliza en los equipos electrónicos, utensilios de cocina, joyería, arte etc.

2.2.2. Pórfidos de cobre

Según Ingemet (2007) Estos tipos de yacimientos son cobres de baja ley, de gran tonelaje y se encuentran de forma irregular. Este tipo de yacimiento se encuentra en la región junín Toromocho, dentro del distrito minero de Morococha. Este porfido de cobre se ha mineralizado en el terciario superior.

La mineralización de cobre se localiza en rocas ígneas intrusivas, porfiríticas intermedias a félsica, que han sido emplazadas a diferentes pulsaciones; con eventos de chimeneas brechosas producidas por reactivaciones.

Los profidos en el Perú tienen molibdeno como sub producto, tienen menor cantidad de oro. Además, los porfidos tienen otros elementos metálicos como plata, plomo y zinc. Sus valores en Toromocho es de 0,7% Cu y su reserva se estima desde 400 00 00 000 TM. Ver figura 1.

Chalcopyrita, pirita, cuarzo, son elementos minerales comunes en los porfidos. Alrededor de los porfidos de cobre se emplazan yacimientos

hidrotermales polimetálicos, como las vetas polímetálicas en Morococha fuera del pófido de Toromocho.

Figura 1. Porfido de cobre



Nota. Tomado de youtube. <https://acortar.link/3vsX5J>

2.2.3. Flotación de minerales

Al respecto Bravo (2004) menciona que la flotación de minerales representa un proceso de separación ampliamente empleado en la industria minera, que tiene como propósito de concentrar los minerales de valor a partir de una mezcla mineralógica, incrementando de esta manera el contenido de los minerales que son de interés y eliminando aquellos minerales no deseados. Este método se sustenta en las disparidades de las propiedades físico-químicas de los minerales, como la hidrofobicidad (su tendencia a repeler el agua) y su afinidad hacia ciertos reactivos químicos.

El procedimiento de flotación se inicia en la trituración y molienda del mineral para convertirlo en pulpa, la cual se mezcla con el agua y se le añaden reactivos químicos, tales como agentes espumantes y colectores. Estos reactivos alteran las características superficiales de los minerales. Luego, se introduce aire en la pulpa, generando burbujas que se adhieren a las partículas de los minerales

valiosos, permitiendo que floten en forma de espumas en la superficie de la pulpa. Al tiempo que las partículas indeseadas permanecen en el fondo. La espuma resultante se recolecta y se somete a un proceso posterior para la separación de los minerales.

La flotación de minerales representa una etapa esencial en la minería, ya que facilita la recuperación de minerales valiosos, como el cobre, el plomo, el zinc y otros, a partir de las menas minerales, simplificando así su posterior tratamiento.

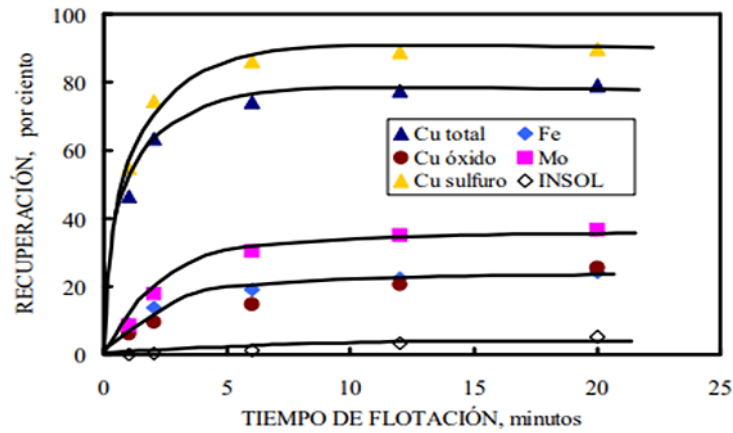
2.2.4. Flotación de cobre y molibdeno en minerales tipos pórfidos

Según López Valdivieso & Reyes Bahena (2016) manifiesta que las características de flotación de calcopirita, molibdenita y pirita, son minerales que tienen valor y la ganga no sulfurosa mas importantes en minerales de porfidos de cobre.

Se ha realizado la aplicación de la dextrina como un agente inhibidor de la pirita en el proceso de flotación de cobre y molibdenita a pH inferior a 10 – 11, utilizando un mineral de tipo porfido de cobre con las siguientes características: 0,48% de contenido total de Cu, 0,40% de Cu en forma de sulfuro, 0,08% de Cu en forma de óxido, 2,1% de Fe y 0,048% de Mo. Este mineral se somete a una etapa de flotación primaria utilizando un colector tipo ditiocarbamato e hidromina. El concentrado primario de cobre-molibdeno es posteriormente sometido a un proceso de remolienda y diversas etapas de limpieza para obtener un concentrado de cobe molibdeno el pH se mantiene en 10,5 en la flotación primaria y varia de 11 a 11,5 en las etapas de limpieza. En la flotación primaria, se logra una recuperación del 75% de Cu total y del 51% de Mo. El tamaño de partícula K_{80} en la alimentación a la flotación primaria es de 150 micrometros. El cobre en este mineral se encuentra

principalmente en forma de calcopirita, con presencia adicional de covelita y calcosita.

Figura 2. Recuperación de Cu-Mo y otros minerales



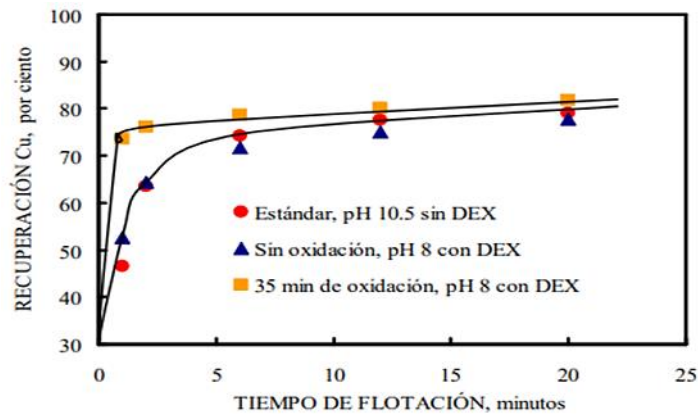
Nota. Datos tomados del X simposio de procesamiento de minerales

En la fig. 2 se muestra la recuperación en función del tiempo de los valores de cobre y molibdeno, así como de los minerales no deseados en el proceso de flotación estandar del mineral, utilizando la combinación de reactivos de flotación empleados en el circuito primario de la planta de concentración. Se observa que la recuperación de Cu total alcanza el 84%, principalmente en forma de azufre, mientras que la recuperación del molibdeno es del 40%.

La evaluación de la recuperación de cobre, molibdeno y hierro a lo largo del tiempo a un pH de 8, utilizando 10 g/t de dextrina como agente depresor de la pirita, se muestra en la figura 3, 4, 5, respectivamente. En estos gráficos, se comparan los resultados obtenidos con y sin preoxidación de la pulpa antes de la flotación con los resultados de la prueba estandar. La oxidación se llevó acabo mediante la inyección de aire, con el proposito de oxidar la pirita y permitir la adsorción de la dextrina.

Con la oxidación de la pulpa, la recuperación de la pirita disminuye en comparación con la situación sin oxidación, aunque sigue siendo un 10% mayor que en la prueba estandar. Esto se debe principalmente a la alta recuperación de agua en el concentrado, que la ineficiencia de la dextrina para depremir la pirita.

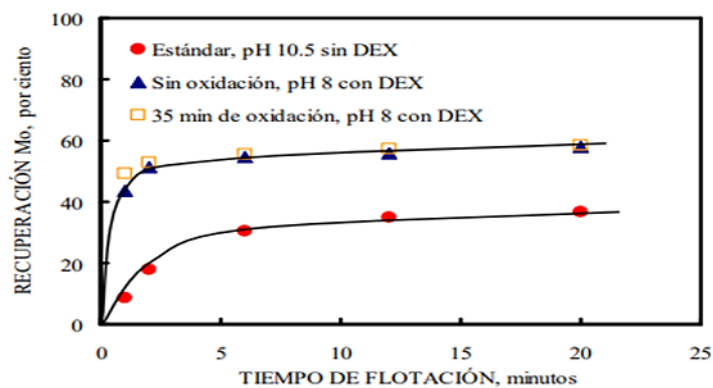
Figura 3. Recuperación de cobre con dextrina



Nota. Datos tomados del X simposio de procesamiento de minerales

En la figura 3 se se observa la flotación estandar de cobre, que tiene una recuperación 80%, se flotó sin la dosificación del colector dextrina. Así mismo, tenemos la recuperación de cobre con y sin preoxidación de pulpa, con adición del colector dextrina, en la que se tiene una recuperación de 84% y 78% de cobre respectivamente.

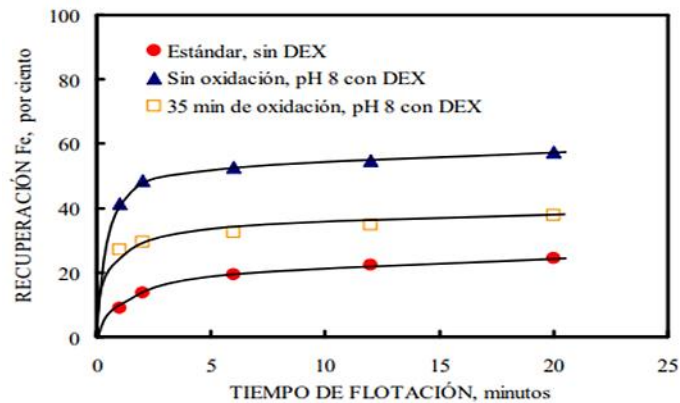
Figura 4. Recuperación de Mo con dextrina



Nota. Datos tomados del X simposio de procesamiento de minerales

En la figura 4, con la oxidación de la pulpa y la flotación a un pH 8, se observan mejoras significativas en la velocidad de flotación de cobre y en la recuperación del molibdeno en comparación con las condiciones estándar de flotación.

Figura 5. Recuperación de fierro en el concentrado cobre



Nota. Datos tomados del X simposio de procesamiento de minerales

En lo que respecta a la recuperación del hierro en la figura 5, esto depende en gran medida de la oxidación de la pulpa. Sin oxidación, la recuperación de hierro es un 30% mayor que en la operación estándar. Sin embargo, en estas condiciones, la dextrina no resulta eficaz para la supresión de la pirita.

La recuperación de pirita a través del agua que se recupera en el concentrado se ha controlado mediante la reducción de la dosis de espumante, lo que ha permitido obtener de la misma calidad de concentrado de cobre que en la flotación estándar.

2.2.5. Circuito de flotación

Según Fimbres (2019) menciona que la flotación de minerales constituye una operación destinada a la selección y separación de minerales deseados de aquellos no deseados, que se encuentran disueltos en una solución acuosa. Este proceso se realiza a través de celdas de flotación, donde reactivos específicos

permiten que los minerales de interés se separen y se once hacia la superficie, adheridos a burbujas de aire.

Es importante destacar que lograra obtener, en una sola celda de flotación, un concentrado completamente puro y un relave totalmente libre de los minerales de interes es una tarea dura. Por esta razón, la operación se lleva a cabo en bancos de flotación, los cuales constan de multiples celdas. En la mayoría de los casos, estas celdas se organizan en tres grupos distintos: las de cabeza (Rougher), las limpiadoras (cleaner) y las de colas (scavenger).

Figura 6. Circuito de flotación – 2 líneas de flotación



Nota. Fotografía tomada por Omar Fimbres (2019)

Celdas Rougher

Son celdas de primera etapa de operación y reciben la pulpa proveniente de los acondicionadores. En estas celdas, se realiza la primera flotación del mineral de interés. Sin embargo, los concentrados de esta etapa aún conservan ciertas impurezas como el hierro.

Figura 7. Flotación rougher



Nota. Fotografía tomada por Omar Fimbres (2019)

Celdas cleaner

Estas celdas reciben las espumas de las celdas rougher. Su principal objetivo es eliminar la mayor cantidad de impurezas. Para cumplir con su objetivo utiliza un conjunto de celdas limpiadoras. El concentrado final obtenido en la tercera etapa de limpieza se envía al espesador de concentrados.

Celdas Scavenger

Estas celdas tienen como objetivo recuperar los metales que no han sido captados en la celdas rougher, esto debido al tiempo insuficiente, falta de reactivos o algún efecto mecánico. A pesar de ello, las espumas generadas en estas celdas no pueden ser enviadas directamente al espesador de concentrados, ya que todavía contiene un nivel significativo de impurezas. Además, no se pueden desechar, dado que aun contienen minerales de valor. Por lo tanto, estas espumas vuelven a las celdas Rougher, como cabeza del proceso de flotación.

2.2.6. Sulfhídtrato de sodio.

Según Química industrial (2022) manifiesta, este reactivo se conoce también como hidrógeno sulfuroso de sodio, que tiene como compuesto químico como NaSH.

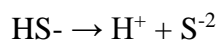
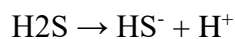
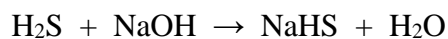
Tiene un color característico a sulfuro y se disuelve en agua. Y es muy soluble en agua y tiende a descomponerse en solución y produce el sulfuro de hidrógeno (H_2S), y posee un olor a huevo podrido y es extremadamente tóxico.

Este reactivo mayormente se utiliza como un agente reductor y para la síntesis de compuestos orgánicos.

Este reactivo se obtiene producto de la reacción del sulfuro de hidrógeno (H_2S) con el hidróxido de sodio (NaOH).

El proceso de producción implica la mezcla de sulfuro de hidrógeno con hidróxido de sodio en una solución acuosa.

Este reactivo sulfudizante es el más utilizado mediante la adición en la pulpa de la flotación alcalina siendo las siguientes reacciones:



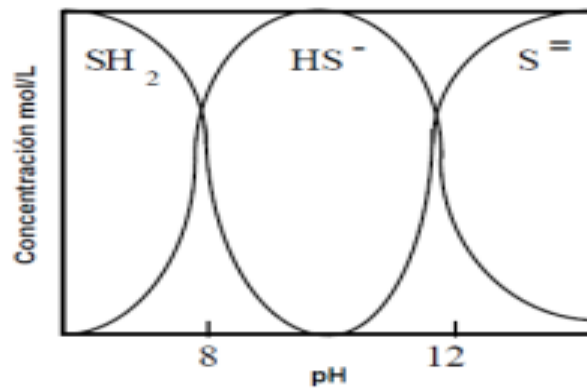
$$\text{Log} (\text{HS}^-)/(\text{H}_2\text{S}) = -7,0 + \text{pH}$$

$$\text{Log} (\text{S}^{2-})/(\text{HS}^-) = -13,9 + \text{pH}$$

Este reactivo NaSH experimenta hidrólisis y disociación (ver figura 8), y en la pulpa se genera la aparición de los iones OH^- , HS^- y S^{2-} , que reaccionan con la superficie del mineral, siendo HS^- y S^{2-} los iones más activos a pH 7 a 8. Al respecto el H_2S prevalece en el rango ácido, siendo altamente tóxico, y la disociación de H_2S se produce a un pH comprendidos entre 7,0 a 13,9.

Por otro lado, hay una tendencia de producción de HS^- a un pH de 8 -11. Este compuesto tiende a oxidarse aceleradamente en pulpa oxigenada, en donde diversos minerales ejercen acción catalítica para la oxidación.

Figura 8. Formación de especies por disociación del NaSH



Nota. Tomado de Gutiérrez 2017

Un exceso o déficit en la adición de NaSH puede ser perjudicial para el proceso de sulfidización, por lo que es crucial controlar tanto el pH como el potencial de pulpa durante la operación. Sin embargo, cuando se añade NaSH correctamente, en términos de dosis, potencial y pH, se puede obtener varios beneficios. Entre ellos, se destaca la precipitación de iones disulfetos en la solución, los cuales son desplazados como coloides para formar parte de los relaves. Además, el NaSH evita la oxidación de los sulfuros secundarios de cobre al formar una capa de sulfuros secundarios de cobre al formar una capa de sulfuro de cobre que activa las superficies de estos minerales y reduce la hidrofiliidad de la capa externa de minerales oxidados.

Figura 9. Sulfito de sodio



Nota. Imagen tomada de Hebel Mojin Biotechnology Co.

2.2.7. Factores que influyen en el proceso de flotación

Los diversos factores que tienen influencia el proceso de flotación son las siguientes. (Tecsop, 2018, p.74-78)

- **La mineralogía y composición.** La distribución de especies minerales la presencia de impurezas y la liberación mineralógica durante la molienda influyen en la susceptibilidad del mineral.
- **Tamaño de partícula.** La granulometría del mineral impacta en la cinética de flotación, la eficiencia de recolección y la selectividad del proceso. Un tamaño de partícula adecuada optimiza el contacto entre las partículas minerales y el reactivo.
- **pH.** La acidez o alcalinidad del agua del proceso afecta la carga superficial de las partículas minerales y la formación de complejos iónicos con el reactivo, lo que a su vez influye en la flotabilidad del mineral. Un pH óptimo es crucial para una flotación eficiente.
- **Dosificación de reactivos.** La cantidad de reactivo adicionada al circuito de flotación determina la disponibilidad del reactivo para interactuar con las partículas de mineral valioso y promover su flotación. Una dosificación adecuada es esencial para optimizar la recuperación del mineral valioso sin afectar negativamente la selectividad.
- **Velocidad de agitación.** La intensidad de la agitación en las celdas de flotación afecta la dispersión de las partículas minerales, el contacto entre estas y el reactivo, y la formación de agregados. Una velocidad de agitación adecuada optimiza la eficiencia de flotación y minimiza la pérdida del mineral valioso en la fase crucial.

- **El tiempo de residencia.** El tiempo de residencia del mineral en las celdas de flotación determina el tiempo disponible para que el reactivo interactúe con las partículas del mineral valioso y las promueva hacia la superficie. Un tiempo de flotación adecuado garantiza una recuperación óptima sin sobretratamiento innecesario.

2.3. Definición de términos básicos

- **Circuito de flotacion.** Son conjunto de celdas que cumplen la función de recuperar el mineral de valor económico y la ganga enviar a la relavera.
- **Mineral de cobre.** Son yacimientos de sulfuros que se encuentra en cavidades y deseminadas en forma de porfidos conjuntamente con otros elementos como hierro, plomo, zinc, molibdeno, silicatos, etc.
- **ORP.** Mide la energía química de oxidación y reducción de las condiciones de la pulpa. 2OH^- acidifica el medio y se produce mas iones H^+ , y la disminución lo alcaliniza generando iones OH^- , parecido al pH pero no son similares.
- **Sulfhidrato de sodio.** Reactivo utilizado para la sulfidización de la superficie de minerales oxidados de cobre.
- **Recuperacion.** Es la cantidad de mineral valiosos obtenido de un mineral, que se expresa en porcentaje y tiene un valor económico.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Con la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en la líneas 1, 2, 3 y 4 se determinará la recuperación del cobre de la Empresa minera Chinalco – Morococha.

2.4.2. Hipótesis Especifico

- Con la caracterización física y química del mineral de cobre se determinará la recuperación de cobre de la Empresa minera Chinalco – Morococha
- Con la determinación del grado de liberación del mineral se recuperará el cobre en los circuitos Rougher 1, 2, 3 y 4 de la Empresa Minera Chinalco – Morococha
- Con la dosificación óptima de NaSH se podrá mejorar la recuperación de cobre de la Empresa Minera Chinalco – Morococha

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

- Evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en el circuito rougher 1, 2, 3 y 4.

2.5.2. Variable dependiente

- Recuperación de cobre en la Empresa minera Chinalco

2.5.3. Variable interviniente

- Grado de liberación
- Densidad de pulpa
- Dosificación de reactivos
- rpm
- % de sólidos

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Variables e indicadores de operación

Ítem	Variables	Dimensiones	Indicadores
V.I	Evaluación del sulfhidrato de sodio en el circuito Rougher	Caracterización física y química del mineral	Ge, %M°
		Grado de liberación	μm
		Dosificando NaSH en el circuito 1,2,3 y 4	Diferencia de recuperaciones
V.D	Recuperación de cobre	Cobre recuperado	%Cu

Fuente: Elaboración por los investigadores

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo al enfoque, el estudio es **cuantitativo**, esto debido a que se toman datos del proceso de flotación de las líneas 1, 2, 3 y 4 del circuito rougher. El **tipo de investigación** es **experimental**, porque se realiza la manipulación de variables como dosificación de colector, punto de adición, control de la densidad de pulpa, tamaño de partícula y pH. Todo lo mencionado tiene influencia en la flotación de cobre.

3.2. Nivel de investigación

De acuerdo al enfoque, el estudio se ubica en el nivel explicativo, debido a que se va tratar de explicar las causas que genera la recuperación de cobre. Esto es, al circuito de flotación rougher líneas 1, 2, 3 y 4.

3.3. Métodos de investigación

Se aplica el método inductivo y deductivo debido a que se busca determinar el efecto de la dosificación del reactivo NaSH en el circuito de flotación Rougher líneas 1,2,3 y 4 que constan de 7 celdas cilíndricas de 300 m³ cada una de las celdas.

Para cumplir con los objetivos de la tesis se va realizar la caracterización física y química del mineral que ingresa al proceso de flotación, en la que se determina la gravedad específica del mineral, análisis granulométrico de malla valorada y el ensayo químico por elementos. Así mismo, se realiza la determinación del grado de liberación del mineral y la influencia del NaSH en la recuperación de cobre para un $K_{80}=153 \mu\text{m}$, y por ultimo se realiza la prueba de dosificación de NaSH en los circuitos de flotación 1, 2, 3 y 4, a los dos primeros circuitos se adiciona 20 g/t de NaSH y a los dos circuitos restantes se la adiciona el NaSH a 28 g/t. Esta dosificación se controla con una probeta de 100 ml.

3.4. Diseño de investigación

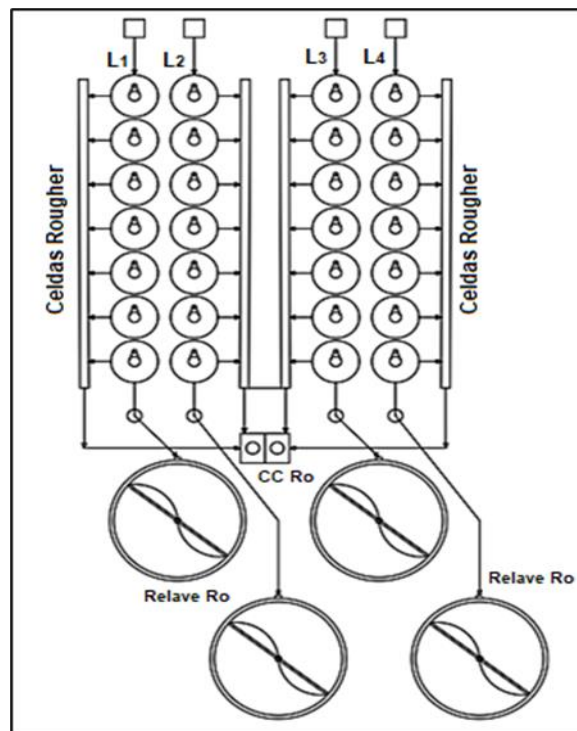
El diseño de investigación es **experimental aplicado**, esto debido a que se da soluciones a los problemas reales, como el caso de la flotación de cobre bulk en el circuito rougher de las líneas 1, 2, 3, y 4. El estudio se realizó directamente en el circuito de flotación rougher, en los circuitos de flotación 1, 2, 3 y 4 en la que se dosifica el colector NaSH.

Las pruebas experimentales se realizan a nivel industrial, dosificando el colector NaSH a las líneas 1 y 2 en 20 g/t y a las líneas 3 y 4 la dosificación del NaSH se realiza a 28 g/t.

Los datos se obtienen del muestreo realizado en la entrada de la alimentación a las líneas 1, 2, 3 y 4, también se obtiene los datos de muestreo en las canaletas de concentrado bulk y por ultimo los datos de las colas en el cajón de mezcla de colas.

A continuación, presentamos el diseño en la que se va obtener los datos en el circuito de flotación Rougher de la Empresa minera Chinalco.

Figura 10. Circuito de flotación Rougher líneas 1, 2, 3 y 4



Nota. Imagen referencial de planta área 220

3.5. Población y muestra

Población

La población está constituida por la Planta Concentradora de la Empresa Minera Chinalco – Morococha, el tonelaje de mineral que ingresa a la planta de concentración de 4 930 TM/h de minerales de pórfidos de cobre, que son reducidos y enviados al circuito de flotación.

Muestra

La muestra lo constituye el producto de los circuitos de flotación Rougher 1, 2, 3 y 4, cuya cantidad de pulpa muestreada cada 30 minutos de cada guardia, esto consiste en el muestreo en el cajón de alimentación a los circuitos, tubo de descarga de concentrados de cada circuito rougher y relave de cada circuito. El muestreador en cada muestreo contiene 58 gramos de sólidos secos, y durante 11

horas se tiene 3,828 kilos/guardia haciendo total por 24 horas 7,656 Kg/día. Por los días muestreados se tiene un total de:

$$N= 54 \text{ Kg}$$

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

Observación de campo. Mediante esta técnica se determinó los puntos de muestreo en los circuitos de flotación Rougher 1, 2, 3 y 4.

Entrevista no estructurada. Esta técnica lo utilizamos para recabar información especializada que se realiza a los supervisores de planta y al metalurgista que labora en la empresa.

Procedimiento de muestreo. Se aplicará los procedimientos estandarizados para la obtención de la muestra.

Procedimientos de análisis químico. Se utilizará los procedimientos de ensayos químicos para determinar las leyes del cobre.

Instrumento de recolección de datos

Cuaderno de campo. Lo utilizamos para tomar apuntes de datos como la densidad de pulpa, porcentaje de sólidos, pH y caudal de pulpa.

Dosificador de reactivos. Este equipo se utiliza para la dosificación de reactivos al circuito.

Muestreador. Se utilizará un muestreador de copas para sacar la pulpa del circuito de flotación.

Celdas circulares. Se utilizará las celdas instaladas en el circuito de flotación que constituyen las líneas 1, 2, 3 y 4.

Reporte de laboratorio. Este instrumento nos reporta las leyes de cabeza, concentrado y relave.

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

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron seleccionados, validados por los ingenieros que laboran en planta, estos instrumentos son confiables debido a que se utilizan frecuentemente en plantas de proceso.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos que se obtienen del análisis de ley de cabeza, concentrado y relave se procesaron con el Microsoft Excel, creando las tablas de ensaye químico, de igual manera se generaron las figuras como grado de molienda, recuperación de cobre, entre otros.

3.9. Tratamiento estadístico

El procesamiento de datos consistió en determinar el promedio de las recuperaciones de cobre, varianza y para la prueba de hipótesis se utilizó el diseño de comparación simple mediante el t-student.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Se aplicará la orientación ética conforme a los principios del investigador, respetando las fuentes y referencias bibliográficas. A demás, se mantendrá la confiabilidad de los datos recopilados y se evitará el plagio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Para cumplir con los objetivos planteados y de esta manera demostrar la hipótesis del estudio, se realizó la planificación en el circuito de flotación bulk/colectiva, que se realizó de la siguiente manera:

Se ubico los puntos de muestreo de las líneas 1, 2, 3 y 4, siendo la caja de alimentación a los circuitos, en este punto se determina la ley de cabeza. También se determinó el punto de muestreo del concentrado bulk de cada línea de flotación, siendo el canal de recepción de concentrado final, alimento a las celdas cleanear y, por último, se determinó el punto de muestreo de las colas de las celdas rougher, el punto es alimento a los cajones de la mezcla de las 4 colas rougher.

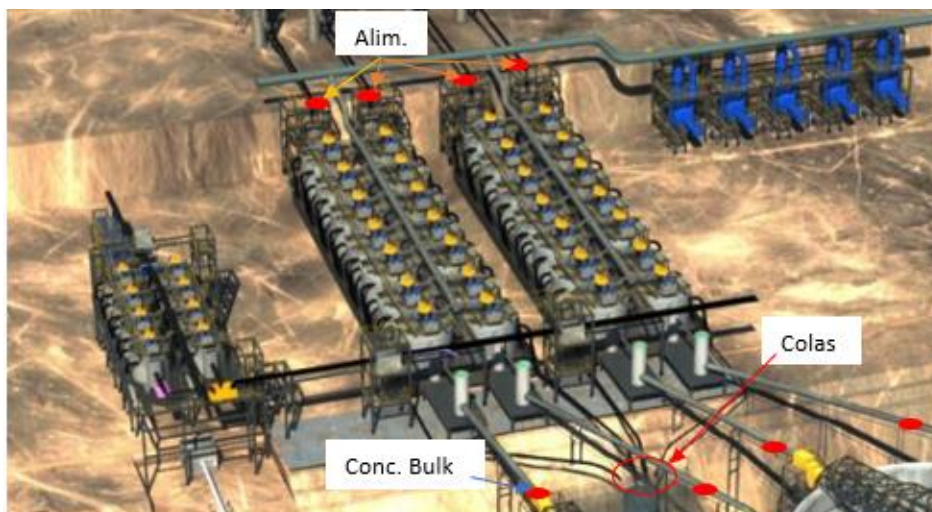
Ubicado los puntos de muestreo, se separó los muestreadores tipo copa para cada circuito, de igual manera los baldes para las muestras de cada circuito, haciendo un total de 12 baldes.

El reactivo NaSH se prepara en tanque al 23% en un volumen de 330 m³, desde este punto se dosifica a los circuitos de flotación rougher.

El periodo de evaluación consistió en 6 días de operación, dosificando el reactivo NaSH a la línea 3 y 4, en 28 g/T y a las líneas 1 y 2 en 20 g/T.

En la figura se presenta los puntos de muestreo en el circuito rougher bulk

Figura 11. Puntos de muestreo.



Nota. Imagen referencial del circuito Rougher

4.1.1. Determinación de las características físicas y químicas del mineral de cobre.

a) Ensayo químico

El análisis químico de la muestra de mineral de cabeza que ingresa a la operación es la siguiente.

Tabla 2. Ensayo Químico

%Cu	Ag g/t	% Mo	% Fe
0,65	5,00	0,02	5,10

Nota. Datos de reporte de laboratorio

En la tabla 2 se observa que el mineral que ingresa al circuito rougher bulk tiene una ley 0,65% de cobre, 0,02% de molibdeno y 5,00 gr/T de plata.

b) Gravedad específica

La gravedad específica se determinó por el método de la fiola, para lo cual se utilizó una fiola de 250 ml, balanza electrónica, luna de reloj, pizeta, una espátula y se utilizó 25 gr de mineral. Se determinó la gravedad específica del mineral. Ver tabla 3

Tabla 3. Gravedad específica de la muestra

Muestra	Peso muestra	Peso de la fiola	Peso de F+M	Peso de F+H ₂ O	Ge
Mineral	25	83	108	282,6	2,89

Nota: Elaboración propia

4.1.2. Análisis granulométrico de alimentación a la celda rougher

A continuación, presentamos el análisis granulométrico de malla valorado del mineral que ingresa al proceso de flotación.

Tabla 4. Análisis de malla valorada de la muestra

Malla	Micrones	% Peso	% Cu	% Mo
+70 M	208	10,14	0,224	0,014
+100 M	147	10,17	0,310	0,013
+140 M	104	11,06	0,336	0,014
+ 200 M	74	14,44	0,417	0,021
+ 325 M	43	8,27	0,581	0,023
+ 500 M	25	15,46	0,728	0,026
- 500 M	-25	30,46	1,010	0,028
Total		100,00	0,65	0,02

En tabla 3 vemos el análisis de malla valorada de la muestra molida a un K80= 153 μ m, que indica que el mayor contenido de cobre se encuentra en las fracciones más finas con un porcentaje en peso de 30,46 %, que se encuentra por

debajo de la malla 500. Y deducimos que a mayor liberación mayor contenido metálico.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Influencia del grado de liberación en la flotación con NaSH

Los factores que tiene influencia en la flotación de cobre bulk son los siguientes:

- Grado de liberación
- Dosificación de depresores: NaCN, Cal.
- Dosificación de colector: PAX, AP 9950
- NaSH (Modificador de superficie de los óxidos de cobre)
- Espumante: H75

Tiempo de molienda

Presentamos el grado de liberación adecuado para un tiempo de molienda de 10 minutos, en esta prueba se replica la granulometría de 153 μm obtenida en planta.

Tabla 5. Tiempo de molienda relacionado con el grado de liberación

Tiempo	Malla	K ₈₀ μm
0	48	300
5	65	212
10	100	153
15	150	106
20	200	74

La ecuación para la determinación del tiempo de molienda es:

$$Y = -11,16X + 280,6$$

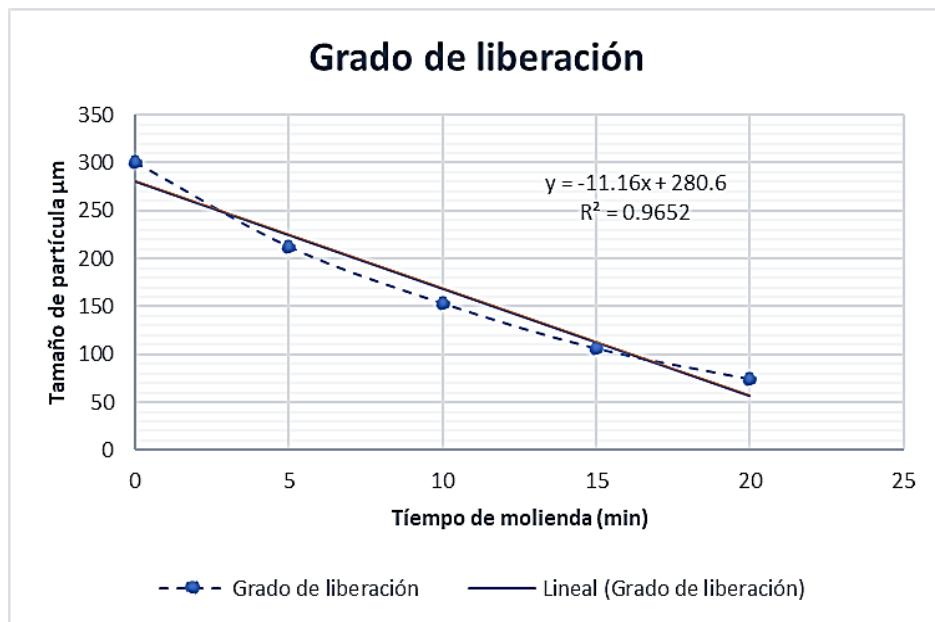
Donde:

Y = tiempo de molienda

X = Tamaño de partícula

Con esta ecuación se determina el tiempo de molienda, lo presentamos en la siguiente figura 12

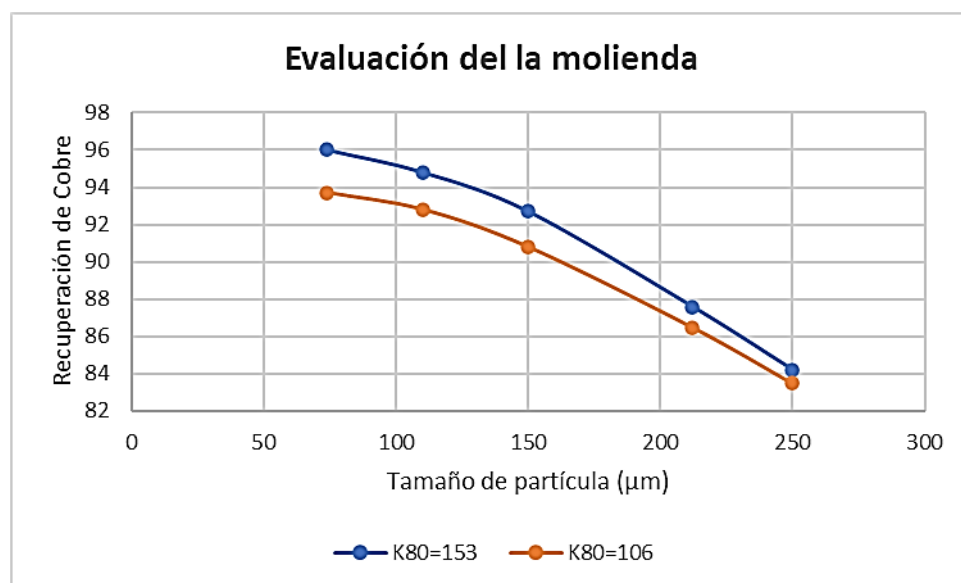
Figura 12. Tiempo de molienda relacionado con el grado de liberación



Nota. Figura generada de la cinética de molienda

Se evalúa el grado de liberación de partícula en función a la recuperación de cobre.

Figura 13. Evaluación del grado de liberación en la recuperación de cobre



De la evaluación se determina que las recuperaciones de cobre se encuentran en el rango de 212 µm a 105 µm, descartando tamaño de partículas finas y gruesas. Dentro del rango determinado se tiene recuperaciones de 93 a 96 % de cobre.

4.2.2. Evaluación de la dosificación de NaSH en el circuito rougher 1, 2, 3 y 4

La evaluación del reactivo sulfhidrato de sodio (NaSH) en el circuito de flotación de cobre colectiva se realizó a nivel industrial teniendo en cuenta las siguientes condiciones de operación.

Tabla 6. Condiciones operacionales de las pruebas

Parámetros	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
Molienda				
D ₈₀ , µm	153	153	153	153
NaCN, g/t	25	25	25	25
Cal, g/t	250	250	250	250
AP 9950 g/t	16	16	16	16
Flotación Rougher				

Tiempo de flotación	27	27	27	27
pH	10,5	10,5	10,5	10,5
% Sólidos	30	30	30	30
PAX, (Z-11) g/t	16	16	16	16
NaSH g/t	20	20	28	28
H75, g/t	18	18	18	18

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

A. Prueba de dosificación de NaSH en los circuitos de flotación rougher de cobre 1 y 2

La prueba se dio inicio el 24 de abril en los dos turnos, en la que se ensayó la ley de cabeza, ley de concentrado, ley de relave, grado de oxidación, el porcentaje de cobre oxidado y el porcentaje de fierro en el concentrado.

La prueba se realiza en los circuitos rougher de cobre 1 y 2, la dosificación del NaSH es de 20 g/t y se realiza el control de pH en la caja de alimentación a los circuitos 1 y 2, los restos de los parámetros se mantiene constante.

pH promedio durante la prueba	11.0
ORP promedio alimentación líneas 1 y 2 con NaSH	-35.9 mv

Este potencial nos indica condicione favorables para realizar la flotación e minerales (-35 mV). Los resultados de los ensayos en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de los ensayos de ley de cabeza, concentrado y relave de cobre

FECHAS	GUARDIAS	leys de Cu Cabeza		leys de Cu Conc		leys de Cu Relave	
		L1	L2	L1	L2	L1	L2
24/04/2021	A	0,623	0,616	6,24	5,28	0,152	0,129
24/04/2021	B	0,796	0,835	6,53	5,68	0,154	0,154
25/04/2021	A	0,660	0,657	6,62	6,74	0,195	0,172
25/04/2021	B	0,637	0,645	6,99	7,24	0,109	0,133
26/04/2021	A	0,663	0,628	6,87	7,45	0,193	0,149
26/04/2021	B	0,628	0,630	7,23	6,90	0,153	0,169
27/04/2021	A	0,610	0,600	8,38	7,02	0,163	0,179
27/04/2021	B	0,645	0,631	6,08	7,46	0,123	0,175
28/04/2021	A	0,675	0,686	6,42	7,29	0,144	0,141
28/04/2021	B	0,659	0,626	6,69	6,94	0,163	0,128
29/04/2021	A	0,742	0,705	5,91	7,70	0,140	0,131
29/04/2021	B	0,631	0,663	9,05	9,37	0,109	0,104
30/04/2021	A	0,609	0,619	7,24	8,13	0,091	0,087
30/04/2021	B	0,659	0,623	6,25	7,14	0,132	0,123

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

Observamos que la ley de cabeza oscila entre 0,60 a 0,83% de cobre, el concentrado colectivo (Bulk) de 5,28 a 9,37% y los relaves rougher están entre 0,087 a 0,195% de cobre.

También se presenta los ensayos de oxidación, el porcentaje de cobre oxidado y el porcentaje de fierro en el concentrado de cobre en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de oxidación, % de cobre oxidado y % de fierro en el concentrado de cobre

FECHAS	GUARDIAS	Oxidación		% Cu Ox.		% Fe Conc	
		L1	L2	L1	L2	L1	L2
24/04/2021	A	0,10	0,07	15,41	11,69	25,68	30,09
24/04/2021	B	0,08	0,08	9,80	9,58	28,41	32,35
25/04/2021	A	0,11	0,12	16,97	17,50	20,20	22,11
25/04/2021	B	0,07	0,08	11,62	11,78	17,50	24,58
26/04/2021	A	0,12	0,12	18,55	18,63	22,35	25,09
26/04/2021	B	0,11	0,10	17,20	16,03	21,54	24,34
27/04/2021	A	0,13	0,11	20,82	18,83	19,72	26,62
27/04/2021	B	0,09	0,08	14,42	12,68	22,35	26,41
28/04/2021	A	0,11	0,10	15,85	15,01	23,48	24,00
28/04/2021	B	0,09	0,08	13,05	12,62	20,22	21,35
29/04/2021	A	0,12	0,11	16,58	15,74	22,99	21,81
29/04/2021	B	0,06	0,06	9,35	8,30	19,19	22,06
30/04/2021	A	0,07	0,07	11,17	10,82	24,10	25,11
30/04/2021	B	0,08	0,05	11,68	8,51	26,19	27,71

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

El grado de oxidación de cobre durante la operación en estas líneas es de 0,05 a 0,11, el porcentaje de óxidos de cobre es 8,51 a 20,83%; además se determinó el porcentaje de fierro en el concentrado en el rango de 17,50 – 30,09 %. Las recuperaciones por guardias se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Recuperación de cobre en la línea 1 y 2

FECHAS	GUARDIAS	Rec. Cu		Rec. Cu 20g/t NaSH
		L1	L2	
24/04/2021	A	77,5	81,0	79,3
24/04/2021	B	82,6	83,8	83,2
25/04/2021	A	72,6	75,8	74,2
25/04/2021	B	84,2	80,9	82,5
26/04/2021	A	72,9	77,8	75,4
26/04/2021	B	77,3	75,0	76,1
27/04/2021	A	74,7	72,0	73,4
27/04/2021	B	82,6	74,0	78,3
28/04/2021	A	80,5	81,0	80,7
28/04/2021	B	77,1	81,0	79,1
29/04/2021	A	83,1	82,8	83,0
29/04/2021	B	83,7	85,3	84,5
30/04/2021	A	86,1	86,9	86,5
30/04/2021	B	81,7	81,7	81,7

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

En la tabla 9 se observa recuperaciones variables siendo el promedio de recuperación 79,85% de cobre de las dos líneas L₁ y L₂, la recuperación máxima de 86,5% y la recuperación mínima de 73,4%.

B. Prueba de dosificación de NaSH en los circuitos de flotación Rougher 3 y 4

Esta prueba se realizó a la par con las líneas 1 y 2, la dosificación de reactivo de NaSH se realizó en el feed box de las líneas 3 y 4 del circuito rougher, se dosificó 28 g/t de NaSH. También se hizo mediciones de pH en el circuito y ORP estando en condiciones operacionales de la flotación

pH promedio durante la prueba	11.0
ORP promedio alimentación líneas 3 y 4 NaSH	-34.5 mv

Los resultados se presentan en la tabla 10

Tabla 10. Resultados de ensayos de ley de cabeza, concentrado y relave de cobre línea 3 y 4

FECHAS	GUARDIAS	leys de Cu Cbza		leys de Cu Conc		leys de Cu Rlve	
		L3	L4	L3	L4	L3	L4
24/04/2021	A	0,604	0,593	5,71	5,66	0,109	0,105
24/04/2021	B	0,801	0,770	6,17	5,57	0,133	0,129
25/04/2021	A	0,666	0,638	7,23	5,97	0,158	0,129
25/04/2021	B	0,672	0,584	7,08	6,88	0,116	0,109
26/04/2021	A	0,684	0,619	6,66	6,54	0,133	0,169
26/04/2021	B	0,670	0,687	7,32	7,65	0,146	0,165
27/04/2021	A	0,650	0,658	7,06	6,11	0,183	0,167
27/04/2021	B	0,624	0,697	8,47	7,12	0,124	0,144
28/04/2021	A	0,700	0,694	8,33	8,42	0,138	0,120
28/04/2021	B	0,666	0,655	8,18	6,88	0,122	0,115
29/04/2021	A	0,741	0,741	7,99	6,58	0,132	0,095
29/04/2021	B	0,641	0,658	10,42	8,74	0,095	0,102
30/04/2021	A	0,577	0,581	9,35	7,14	0,139	0,096
30/04/2021	B	0,610	0,610	8,63	6,77	0,092	0,121

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

En esta prueba la ley de cabeza de cobre oscila en el rango de 0,577 a 0,801%, nos da una calidad de concentrado entre 6,54 a 9,35% y el relave rougher oscila entre 0,092 a 0,169% de cobre.

Las mediciones realizadas durante la operación son el grado de oxidación, el porcentaje de cobre oxidado y el porcentaje de hierro en el concentrado de cobre ver tabla 11.

Tabla 11. Resultados de ensayos de oxidación, % de cobre oxidado y % de hierro en el concentrado de cobre

FECHAS	GUARDIAS	Oxidación		% Cu Ox.		% Fe Conc	
		L3	L4	L2	L3	L3	L4
24/04/2021	A	0,09	0,08	14,74	14,17	25,97	21,73
24/04/2021	B	0,07	0,09	8,490	11,56	28,36	24,17
25/04/2021	A	0,11	0,12	17,12	18,34	22,31	19,38
25/04/2021	B	0,08	0,08	12,05	13,70	21,49	18,26
26/04/2021	A	0,12	0,11	17,69	17,29	27,56	23,96
26/04/2021	B	0,12	0,13	18,51	19,21	26,62	24,86
27/04/2021	A	0,11	0,12	16,92	18,24	27,11	26,53
27/04/2021	B	0,09	0,08	13,94	11,91	24,01	20,96
28/04/2021	A	0,10	0,11	14,43	15,13	23,41	22,98
28/04/2021	B	0,09	0,08	12,91	11,76	22,69	20,99
29/04/2021	A	0,10	0,10	13,36	12,96	21,70	20,01
29/04/2021	B	0,06	0,06	9,520	9,73	21,12	19,91
30/04/2021	A	0,08	0,08	13,69	13,77	21,04	21,91
30/04/2021	B	0,08	0,07	12,30	12,13	22,94	20,98

Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

El grado de oxidación generada en la pulpa es de 0,06 a 0,13 que ha generado la oxidación de cobre en el rango de 9,73 a 19,21%. La cantidad de hierro presente en el concentrado de cobre colectiva oscila entre 18,25 a 28,36%. Se presenta en la tabla 11 los resultados de las recuperaciones.

Tabla 12. Recuperación de cobre en la línea 3 y 4

FECHAS	GUARDIAS	Rec. Cu		Rec. Prom. Cu 20g/t NasH
		L1	L2	
24/04/2021	A	83,5	83,8	83,7
24/04/2021	B	85,2	85,2	85,2
25/04/2021	A	78,0	81,5	79,8
25/04/2021	B	84,1	82,6	83,4
26/04/2021	A	82,2	74,6	78,4
26/04/2021	B	79,8	77,7	78,7
27/04/2021	A	73,8	76,7	75,2
27/04/2021	B	81,3	81,0	81,1
28/04/2021	A	81,6	83,9	82,8
28/04/2021	B	82,9	83,8	83,4
29/04/2021	A	83,6	88,5	86,0
29/04/2021	B	86,0	82,9	84,4
30/04/2021	A	77,1	84,6	80,8
30/04/2021	B	85,8	81,6	83,7

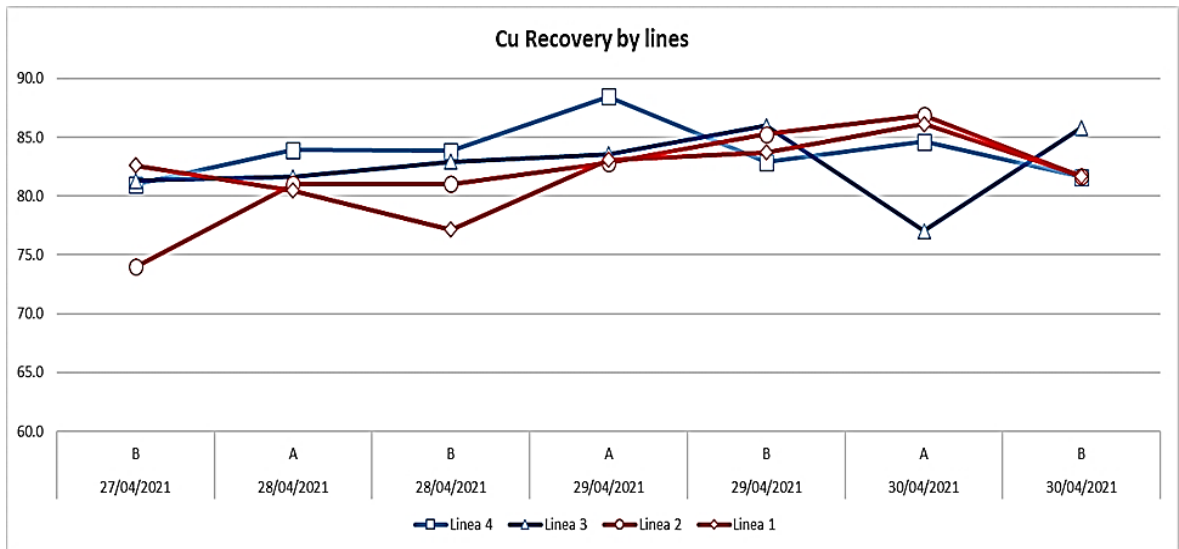
Nota. Datos obtenidos de laboratorio metalúrgico de Chinalco

En la tabla 12 observamos que las recuperaciones de cobre son variables, siendo el promedio de recuperación 81,9% de cobre, siendo la recuperación máxima de 86,0% y la recuperación mínima de 75,2%.

4.2.3. Resultados de la evaluación de dosificación de NaSH en las líneas Rougher

En la figura 13 presentamos las recuperaciones de cobre por líneas desde el día 27 de abril.

Figura 14. Recuperación de cobre por líneas



Nota. La figura muestra los resultados de las recuperaciones de cobre por línea (2021)

En la figura 14 se observa que las más altas recuperaciones de cobre se producen en las líneas 3 y 4 por encima de 85% y en las líneas 1 y 2 se encuentra por debajo de 85%.

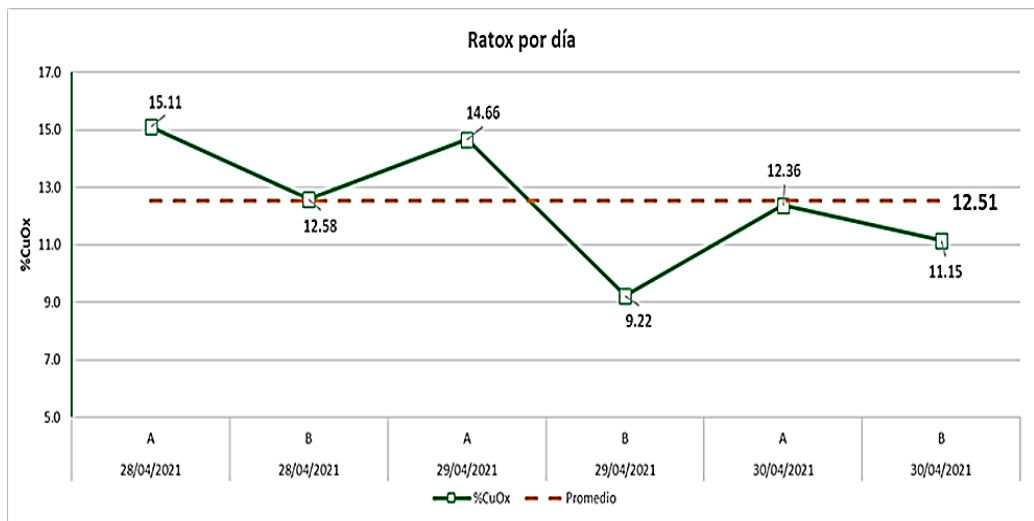
A. Resultados de evaluación de dosificación de NaSH en líneas Rougher 1 y 2

Los parámetros de pH y ORP medidos fueron:

pH promedio durante la prueba	11.0
ORP promedio alimentación líneas 1 y 2 con NaSH	-35.9 mv

El promedio de RatOx de pulpa que ingreso a planta en el periodo de prueba fue 12,51%, con máximo de 15,11% y mínimo de 9.22% (figura 14).

Figura 15. Porcentaje de RatOx en la cabeza

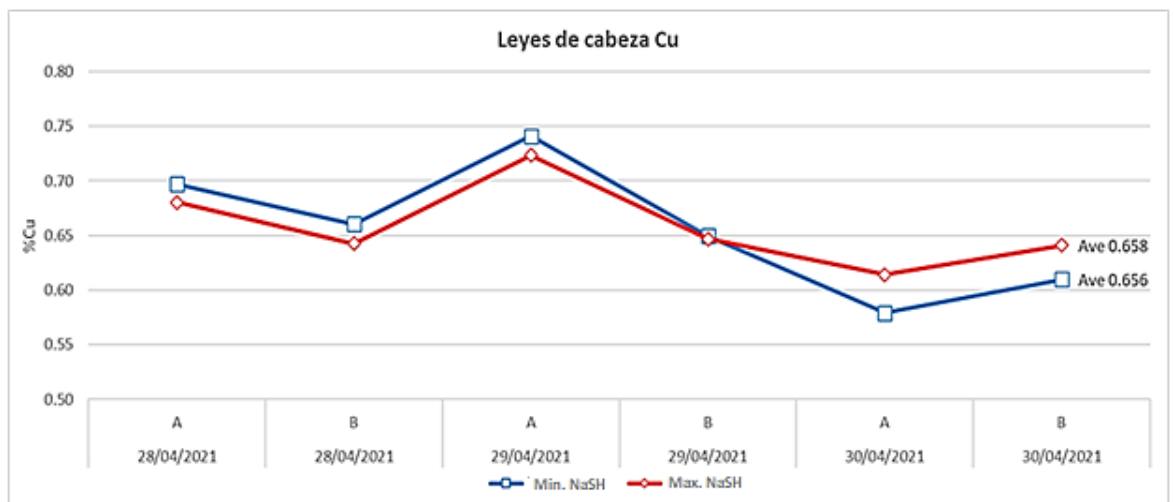


Nota. La figura muestra el RatOx de óxidos de cobre (2021)

Se comparó el promedio de los parámetros de las líneas 1 y 2 con 20 g/t de NaSH versus el promedio de los parámetros de las líneas 3 y 4 (28 g/t de NaSH).

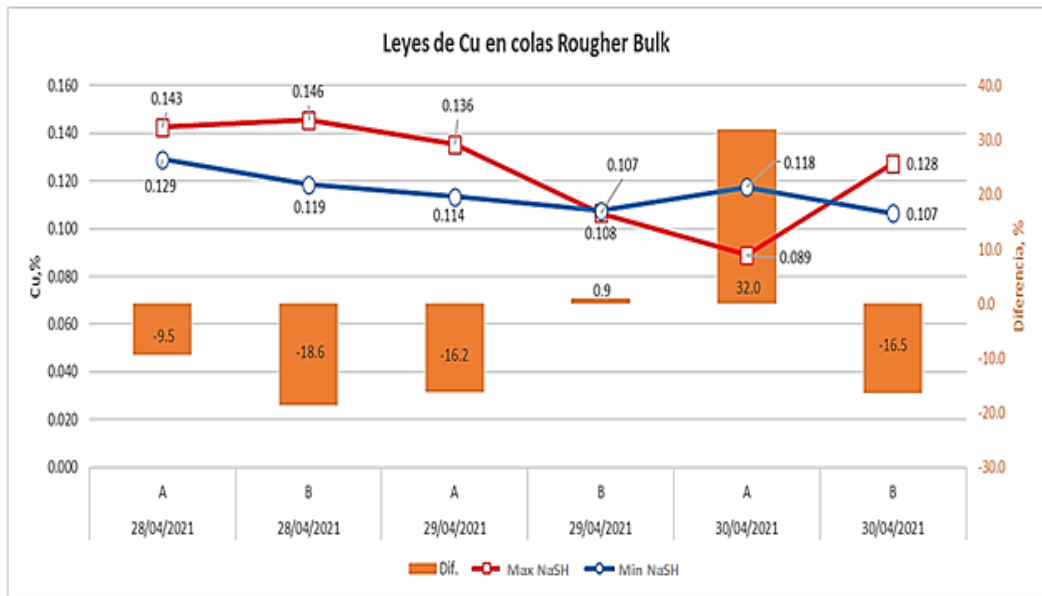
- Se aprecia leyes de cabeza similares en las líneas con dosificación mayor en NaSH y menor dosificación en NaSH (figura 16).
- Observamos que no hay una diferencia significativa entre el promedio de las colas dosificaciones altas y bajas de NaSH (figura 17).

Figura 16. Promedio de Leyes de Cu en cabeza.



Nota. La figura muestra el resultado de ley de cabeza de cobre por línea (2021)

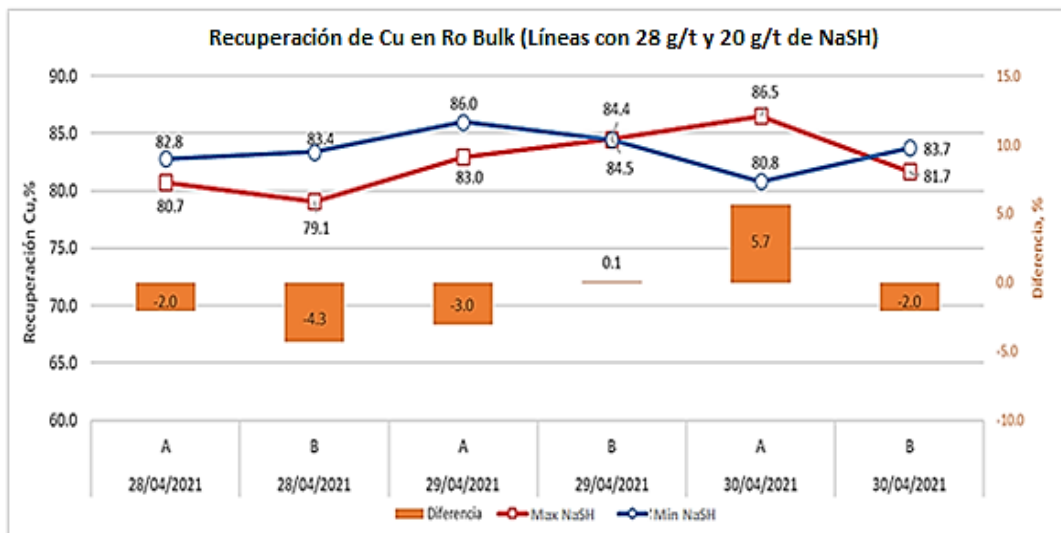
Figura 17. Promedio de Leyes de Cu en cola y diferencias



Nota. La figura muestra las recuperaciones de cobre con alto NaSH y bajo NaSH (2021)

- Con respecto a la recuperación de cobre en el circuito rougher, no se obtuvo un incremento significativo de recuperación dosificando NaSH a 28 g/t con respecto a 20 g/t NaSH (figura 18).

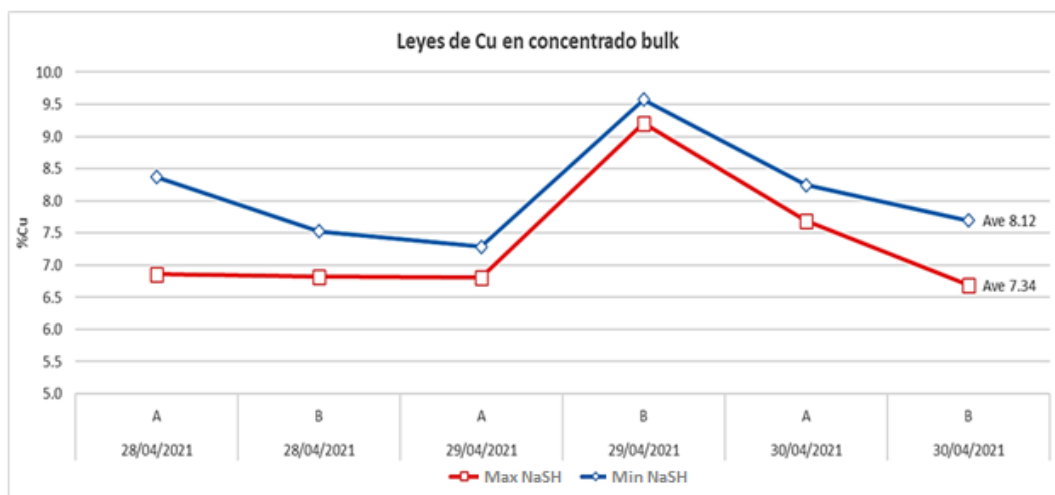
Figura 18. Recuperación de Cobre en el circuito rougher



Nota. La figura muestra el resultado de recuperaciones de cobre (2021)

- En relación al **% de Cobre en el concentrado rougher**, el promedio de las líneas 3 y 4 (con 28 g/t de NaSH) fue **7.34%** versus el promedio de las líneas 1 y 2 (con 20 g/t de NaSH) fue **8.12%**, hubo disminución de **0.78%** en el grado de Cobre incrementando la dosificación de NaSH (figura 19).

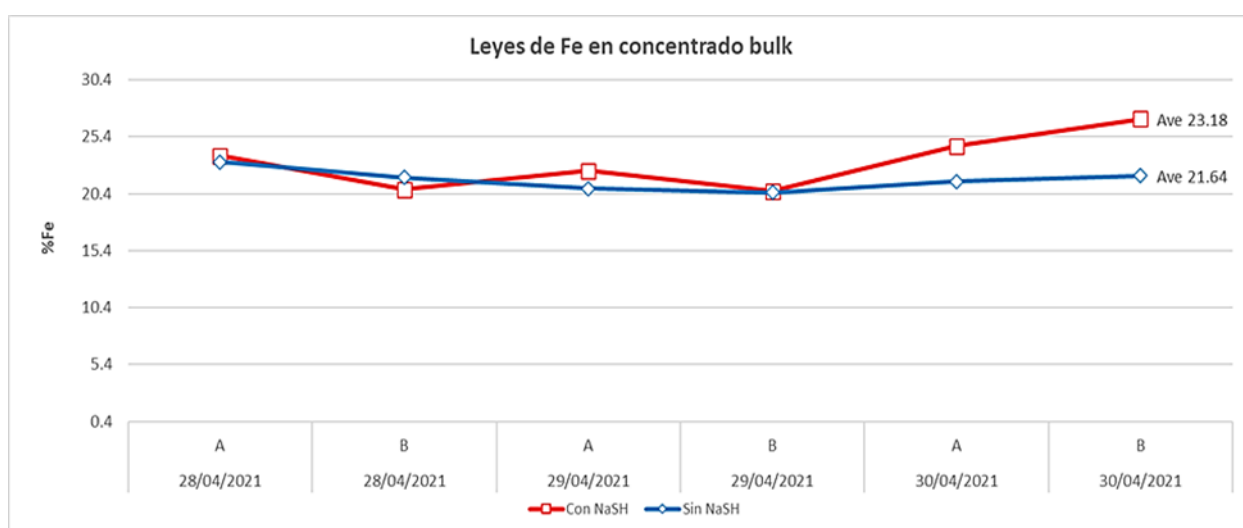
Figura 19. Leyes de cobre en el concentrado rougher bulk.



Nota. La figura muestra ley de concentrado bulk (2021)

- Con respecto al **% de Hierro en el concentrado Rougher bulk**, el promedio de las líneas 1 y 2 (con 28 g/t de NaSH) fue **2,38%** versus el promedio de las líneas 3 y 4 (con 20 g/t de NaSH) fue **21,64%**, se tuvo un ligero impacto en el Hierro en el último día de prueba, sin embargo, en los dos primeros días se mantuvo similar (figura 20).

Figura 20. Leyes de hierro en el concentrado rougher bulk



Nota. La figura muestra el resultado de ley de hierro en el concentrado bulk (2021)

B. Resultados de evaluación de dosificación de NaSH en líneas Rougher 3 y

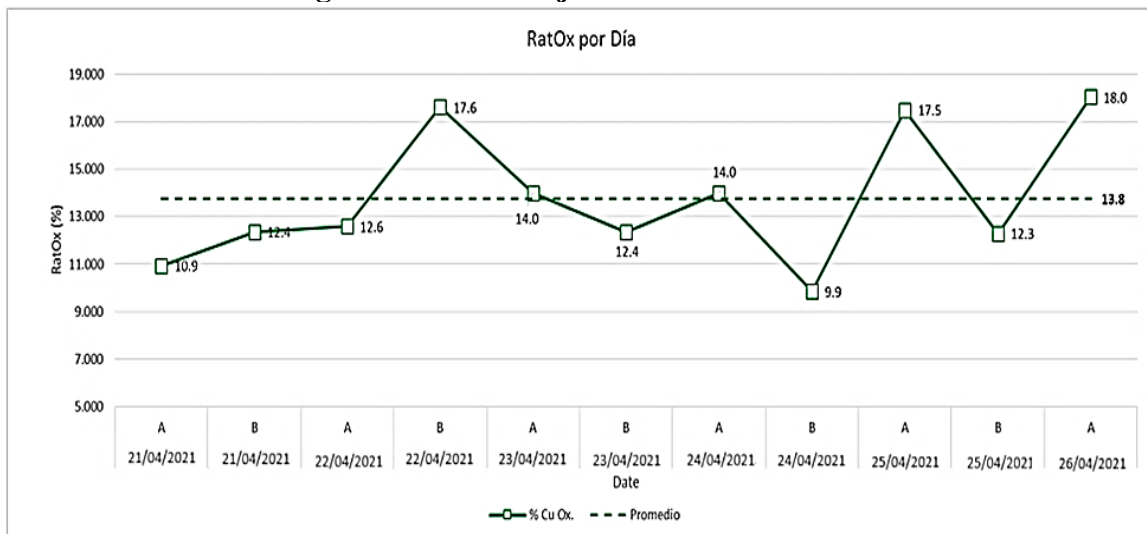
4

Los parámetros de pH y ORP medidos fueron:

pH promedio durante la prueba	10,7
ORP promedio alimentación líneas 3 y 4 con 28 g/t NaSH	-25,3 mv

El promedio de RatOx de pulpa que ingreso a planta en el periodo de prueba fue de 13,8% en promedio, con máximo de 18% y mínimo de 9,9% (figura 21).

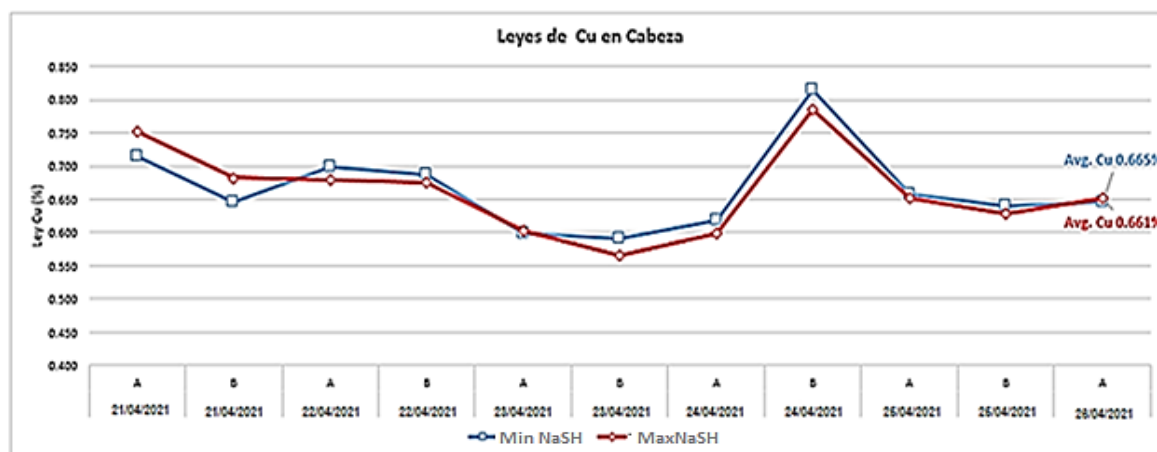
Figura 21. Porcentaje de RatOx en la cabeza



Nota. La figura muestra el resultado de RatOx del cobre (2021)

- Se comparó el promedio de los parámetros de las líneas 1 y 2 (20 g/t de NaSH) versus el promedio de los parámetros de las líneas 3 y 4 (con 28 g/t de NaSH).
- Se aprecia leyes de cabeza similares entre las líneas dosificación de alto en NaSH y bajo en NaSH (figura 22).

Figura 22. Promedio de Leyes de Cu en cabeza



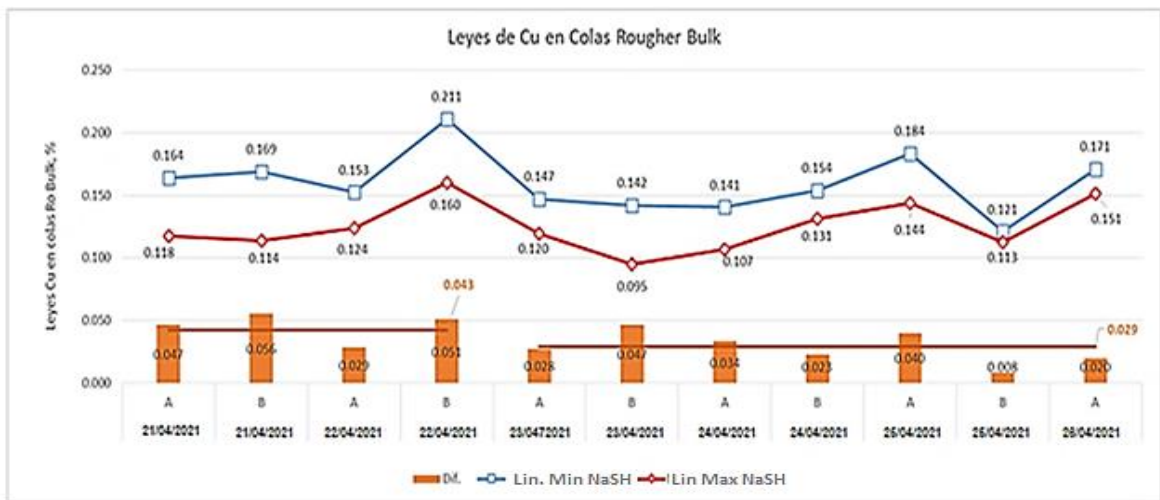
Nota. La figura muestra ley de cobre en la cabeza por línea (2021)

- Los promedios de las leyes de cabeza son similares por lo que se observa no hay variación con mínimo dosificación de NaSH y con máxima

dosificación de NaSH, que nos arroja promedios de ley de cabeza 0,665% y 0,661%

- En la figura 23 se aprecia una diferencia significativa entre el promedio de las colas con adición 20 g/t de NaSH, las colas son más bajas en las líneas donde se adicione 28 g/t el NaSH.

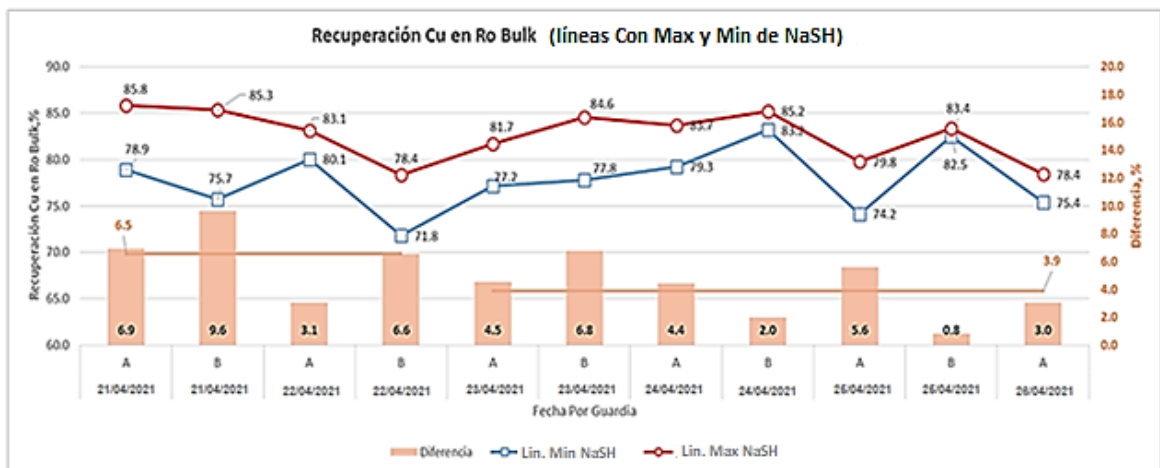
Figura 23. Promedio de Leyes de Cu en cola y diferencias



Nota. La figura muestra leyes de cobre en las colas Ro por línea (2021)

En esta figura se aprecia una diferencia significativa del promedio de las colas 0,054 con 20 g/t de NaSH, y las colas son más bajas en donde se adicionó 28 g/t de NaSH.

Figura 24. Recuperación de Cobre en el circuito rougher

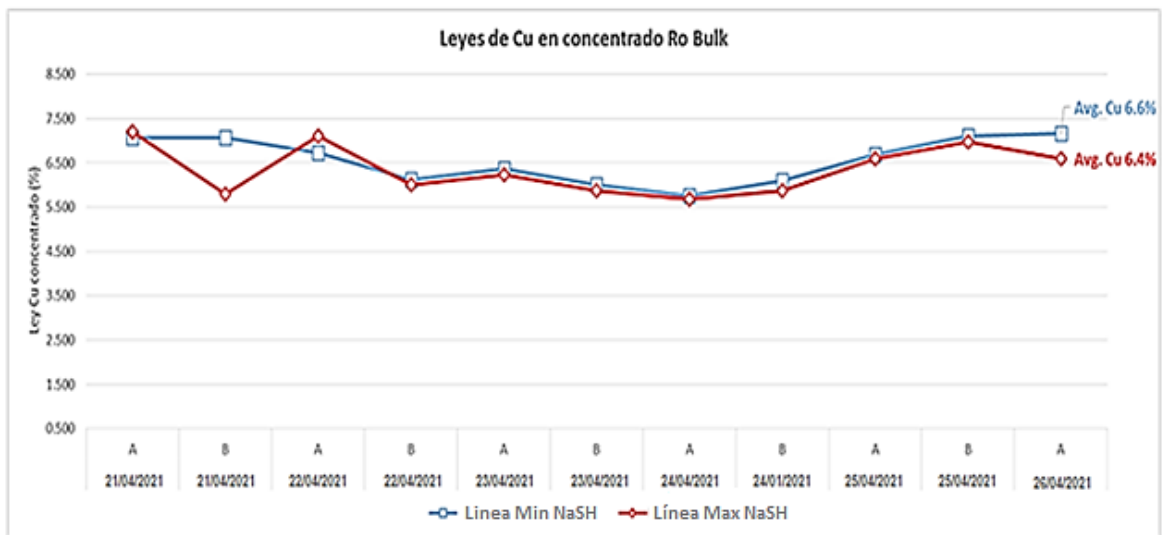


Nota. La figura muestra el resultado de las recuperaciones de cobre por línea (2021)

En la figura 24 se observa la *recuperación de cobre en el circuito rougher*, se obtuvo en promedio **+4,9%** de recuperación dosificando NaSH.

Con respecto al *% de Cobre en el concentrado rougher*, el promedio de las líneas 1 y 2 (con mínima dosificación de NaSH) fue **6,6%** versus el promedio de las líneas 3 y 4 (con dosificación máxima de NaSH) fue **6,4%**, no se tuvo impacto significativo en el grado de Cobre (figura 25).

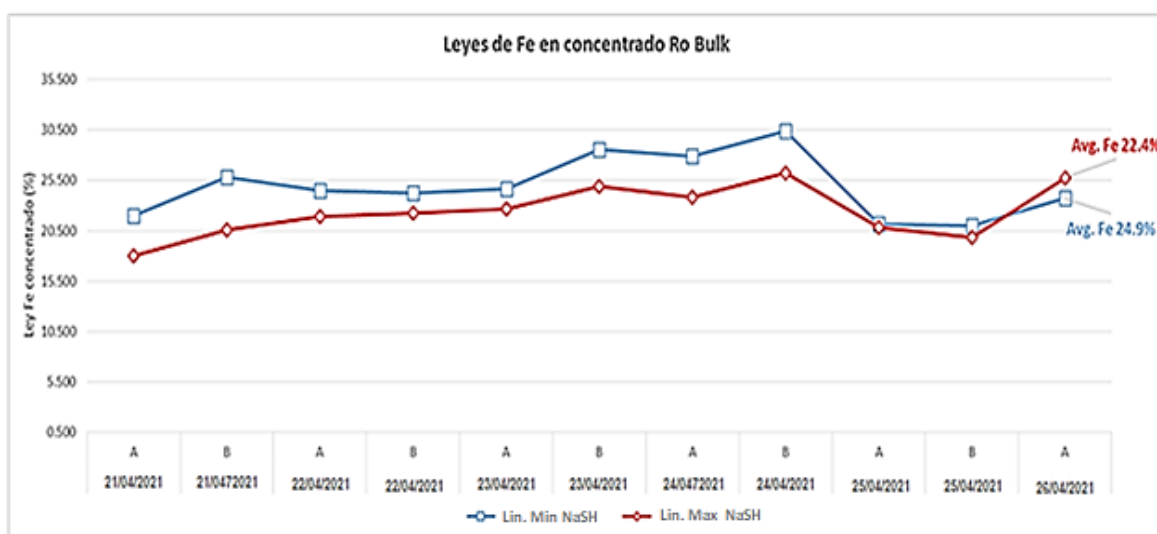
Figura 25. Leyes de cobre en el concentrado rougher bulk



Nota. La figura muestra el resultado de las recuperaciones de cobre por línea (2021)

En relación al *% de Fierro en el concentrado Rougher bulk*, el promedio de las líneas 1 y 2 (con mínimo NaSH) fue **24,9%** versus el promedio de las líneas 3 y 4 (con máximo NaSH) fue **22,4%**, se tuvo un ligero impacto en el Fierro en la *no activación* de Fe (figura 26).

Figura 26. Leyes de fierro en el concentrado rougher bulk.



Nota. La figura muestra la ley de fierro en el concentrado Ro bulk por línea (2021)

4.2.4. Comparación de las recuperaciones de cobre

Tabla 13. Comparación de las recuperaciones de cobre

FECHAS	GUARDIAS	Rec. Cu 20 g/t NaSH	Rec. Cu 28 g/t con NaSH	DIF.
24/04/2021	A	79,3	83,7	4,4
24/04/2021	B	83,2	85,2	2,0
25/04/2021	A	74,2	79,8	5,6
25/04/2021	B	82,5	83,4	0,8
26/04/2021	A	75,4	78,4	3,0
26/04/2021	B	76,1	78,7	2,6
27/04/2021	A	73,4	75,2	1,9
27/04/2021	B	78,3	81,1	2,8
28/04/2021	A	80,7	82,8	-2,0
28/04/2021	B	79,1	83,4	-4,3
29/04/2021	A	83,0	86,0	-3,0
29/04/2021	B	84,5	84,4	0,1
30/04/2021	A	86,5	80,8	5,7
30/04/2021	B	81,7	83,7	-2,0

Nota. Datos obtenidos de los reportes de laboratorio

En la tabla 13 se observa, que las mejores recuperaciones de cobre se obtienen dosificando el NaSH a 28 g/t que nos da una recuperación de 81,9% de cobre en comparación a las líneas L1 y L2 del circuito de flotación rougher en la que se dosificó 20 g/t de NaSH que tiene una recuperación de 79,85% de cobre.

4.3. Prueba de hipótesis

Para la demostración del trabajo de investigación realizamos la contrastación de la hipótesis de estudio.

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Hipótesis Nula (Ho)

La evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) no influye en la recuperación del cobre en el circuito de flotación rougher 1, 2, 3 y 4 de la Empresa minera Chinalco – Morococha 2023

Hipótesis Alterna (H1)

La evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) influye en la recuperación del cobre en el circuito de flotación rougher 1, 2, 3 y 4 de la Empresa minera Chinalco – Morococha 2023

De la tabla 12 de recuperación de cobre lo utilizamos para la prueba de hipótesis aplicamos el diseño de comparación.

$$n_1=14$$

$$n_2=14$$

$$\bar{y}_1=79,85$$

$$\bar{Y}_2=81,90$$

$$S^2=16,06$$

$$S^2= 9,18$$

$$S_1= 4,00$$

$$S_2= 3,03$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,10\%$$

Estadístico de prueba

$$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_1 - 1)S_2^2}{n_1 + n_1 - 2}$$

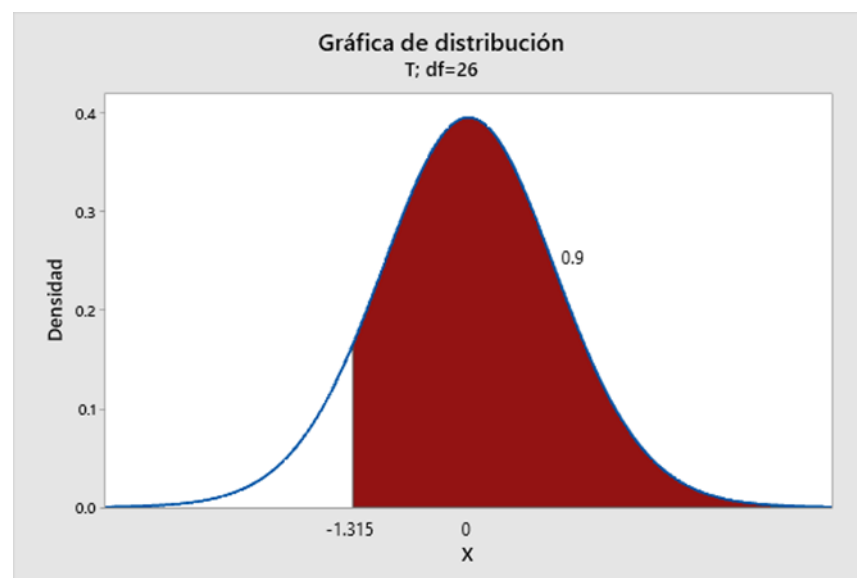
$$t_c = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$S_p^2 = \frac{(14 - 1)16,06 + (14 - 1)9,18}{14 + 14 - 2} = 12.62$$

$$t_c = \frac{79,85 - 81,90}{3.55 * \sqrt{\frac{1}{14} + \frac{1}{14}}} = -1.53$$

Valor de decisión: (Si $t_c > t_i$ se acepta la H_a)

$t_c > t_i$ reemplazando valores $-1,53 > -1,315$



Como -1,538 es mayor que -1,315 se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Decisión

Aceptamos la hipótesis alterna

Conclusión

Podemos afirmar categóricamente que existe suficiente evidencia para afirmar que la evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) en el circuito de Rougher 1 ,2, 3 y 4 influyen en la recuperación de cobre de la Empresa minera Chinalco, con un nivel de significancia del 0,10%.

4.4. Discusión de resultados

Se realizó el estudio de evaluación del sulfhidrato de sodio (NaSH) del circuito de flotación rougher en las líneas 1, 2, 3 y 4, se adiciono el reactivo sulfhidrato de sodio (NaSH) a las L1, L2 en 20 g/t y a las L3 y L4 se adiciona el NaSH 28 g/t.

Según Merino (2019) las características químicas del mineral alimentado presentan leyes de 0,472 % de cobre, 0,016% de Mo y 3,88% de Fe y la gravedad específica de 2,75. El mineral procesado corresponde a una mezcla de cuatro sectores de mina, presentando diferentes características mineralógicas y tiene minerales solubles. En contraste el estudio tiene una mineralogía que tiene la siguiente ley 0,65% de cobre, 0,02% de Mo y 5.15% de fierro. La gravedad específica es de 2,89 siendo un poco más pesada.

Según López y Reyes (2016) el grado de liberación de las partículas del mineral pórfido de cobre en la alimentación a la flotación primaria tiene un K_{80} de 150 μm , donde el cobre se encuentra en forma de calcopirita, en presencia de covelina y calcosita. En nuestro estudio el grado de liberación del tamaño de partícula tiene un K_{80} de 153 μm , y tiene la presencia de calcopirita, covelita y calcosita como cobres secundarios.

Lobos (2018) realiza la evaluación del NaSH en el circuito de flotación selectiva de molibdeno donde el incremento de dosificación de NaSH en 40 g/t incrementa la recuperación de molibdeno en 90%, además el cobre se encuentra en el concentrado de molibdeno con un tamaño de partícula de 53 μm que se incorpora por arrastre en la flotación; esta prueba se realiza a nivel de laboratorio. En contraste a esta prueba, la evaluación se realiza a nivel industrial en los circuitos rougher 1, 2, 3 y 4 de la primera flotación colectiva en la que se mejora la

recuperación de cobre incrementando el NaSH de 20 g/t a 28 g/t, logrando una recuperación de 81,9% de cobre, con una diferencia de 2,05%. Se realiza mediciones del pH a 11 y ORP que se encuentra en -34,9 mV (milivoltios), que son las condiciones óptimas para realizar una flotación normal.

CONCLUSIONES

- La característica física y química del mineral de cobre de la empresa minera Chinalco tiene una malla valorada de 30,46% y se encuentra por debajo de la malla -500 que tiene una ley de cobre de 1,010% y 0,028% de molibdeno.
- El grado de liberación del mineral pórfido de cobre se encuentra en el rango de 106 a 212 μm , siendo el K_{80} de 153 μm en la que se realiza la liberación del mineral.
- La flotación de cobre dosificando 20 g/t de NaSH al circuito de flotación rougher 1 y 2 logra una recuperación de cobre promedio de 79,85%, el ORP tomado en la alimentación al circuito rougher es de 35,9 mV, con un pH de 10,5.
- La dosificación de NaSH a 28 g/t al circuito rougher 3 y 4, incrementa la recuperación de cobre hasta 81,90%, y el ORP tomado en la entrada de la alimentación se mantiene en -34,9mV.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del NaSH como reactivo adicional en la flotación rougher, la dosis fue 28 gr/t, pudiendo disminuir la dosificación dependiendo la interacción con los tipos de alteraciones de rocas y los reactivos.
- Se debe trabajar en un proyecto para el sistema de bombeo y dosificación automatizada, ya que transportando este reactivo en Hoovers implica riesgos en la Seguridad y no se haría sostenible la continuidad en la dosificación para las cuatro líneas.
- Se recomienda automatizar zonas de la planta que aún se encuentran en etapa de implementación, ya que si no es así, podría promover la oxidación de reactivo y podría producir la formación y liberación de gas sulfhídrico contaminando el medio ambiente y afectando a la seguridad de los trabajadores.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Codelco. (01 de 04 de 1976). *Codelco Educa - ¿Que es el cobre?* Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/que_es_cobre.html
- Bailon Callecia, M. M. (2023). *Reducción del consumo de NASH en el circuito de molibdeno de la planta concentradora las bambas. [Tesis de titulación, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]*. Repositorio Institucional, Huacho. Obtenido de <http://repositorio.unjpsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/8352/TESIS%20FINAL%20%20MARCO%20MIGUEL%20BAILON%20CALLECIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bravo Gálves, A. (2004). *Manual flotacion minerales - Planta concentradora. Casapalca*. Obtenido de https://www.academia.edu/31597366/Manual_flotacion_minerales
- Codelco. (01 de 04 de 1976). *Codelco Educa - ¿Que es el cobre?* Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/que_es_cobre.html
- fimbres, O. (24 de 09 de 2019). *Circuito de flotación y sus equipos*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/circuitos-de-flotaci%C3%B3n-y-sus-equipos-omar-fimbres/?originalSubdomain=es>
- Ingemet. (2007). *Compendio de yacimientos de minerales del Perú*. Lima: San Marcos. Obtenido de <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2007/cyamientos/cap07.pdf>
- Lobos Machuca, L. E. (2015). *Evaluación del uso del NaSH en el circuito de flotación de Molibdeno de los Pelambres [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]*. Repositorio institucional, Santiago de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137468>

- López Valdivieso, A., & Reyes Bahena, J. L. (12 de 05 de 2016). *Flotación de la calcopirita, pirita y molibdenita en minerales de cobre tipo pórfidos*. Obtenido de <https://www.911metallurgist.com/blog/wp-content/uploads/2016/05/Flotaci%C3%B3n-de-cobre.pdf>
- Quimicaindustrial. (02 de 10 de 2022). *Sulfhidrato de sodio*. Obtenido de <https://quimicaindustrial.cl/producto/sulfhidrato-de-sodio/>
- SALCEDO BLAS, R. N. (2019). *Evaluación del reactivo Sulfhidrato de Sodio (NaHS) en la flotación de Mo de la minera Chinalco - Morococha, 2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Pasco]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1610>
- Verdejo Torres, T. (s.f.). *Aumento de Recuperación y Disminución de Consumo de NaSH, vía Puesta en Operación Analizador de Leyes y Sensores de Potencial de Óxido - Reducción*. Pontificia Universidad Católica de Valparaiso.

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumentos de recolección de datos

Análisis granulométrico

Análisis de malla valorada de la muestra

Malla	Micrones	% Peso	% Cu	% Mo
+70 M	208	10.14	0.224	0.014
+100 M	147	10.17	0.310	0.013
+140 M	104	11.06	0.336	0.014
+ 200 M	74	14.44	0.417	0.021
+ 325 M	43	8.27	0.581	0.023
+ 500 M	25	15.46	0.728	0.026
- 500 M	-25	30.46	1.010	0.028
Total		100.00	0.65	0.02

Leyes de cabeza, concentrado y relave

FECHAS	GUARDIAS	leys de Cu Cbza			
		L1	L2	L3	L4
13/04/2021 A		0.632	0.627	0.705	0.626
13/04/2021 B		0.748	0.768	0.703	0.716
14/04/2021 A		0.765	0.757	0.799	0.761
14/04/2021 B		0.710	0.763	0.804	0.730
15/04/2021 A		0.705	0.719	0.756	0.754
15/04/2021 B		0.672	0.678	0.738	0.715
16/04/2021 A		0.786	0.719	0.772	0.719
16/04/2021 B		0.772	0.719	0.709	0.743
17/04/2021 A		0.684	0.726	0.690	0.685
17/04/2021 B		0.713	0.638	0.684	0.679
18/04/2021 A		0.631	0.623	0.685	0.674
18/04/2021 B		0.824	0.790	0.789	0.812
19/04/2021 A		0.994	0.930	0.896	0.885
19/04/2021 B		0.854	0.860	0.852	0.867
20/04/2021 A		0.776	0.784	0.812	0.784
20/04/2021 B		0.818	0.789	0.825	0.807

Leyes de cabeza, concentrado y relave

FECHAS	GUARDIAS	leyes de Cu Conc				leyes de Cu Rlve			
		L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
13/04/2021	A	-	-	-	-	-	-	-	-
13/04/2021	B	8.85	13.82	8.21	8.44	0.17	0.22	0.14	0.18
14/04/2021	A	8.96	13.92	11.01	9.44	0.234	0.114	0.126	-
14/04/2021	B	7.54	7.12	7.37	7.09	0.11	0.09	0.10	0.10
15/04/2021	A	8.72	9.00	8.07	8.43	0.13	0.09	0.10	0.11
15/04/2021	B	8.20	8.77	7.95	8.32	0.14	0.13	0.13	-
16/04/2021	A	7.71	7.43	8.11	7.76	0.12	0.11	0.12	0.11
16/04/2021	B	7.91	7.52	7.03	7.27	0.13	0.13	0.13	0.15
17/04/2021	A	7.61	7.97	7.26	7.17	0.13	0.14	0.11	0.18
17/04/2021	B	10.14	8.41	10.26	8.97	0.11	0.10	0.11	0.13
18/04/2021	A	6.51	6.10	4.99	6.16	0.18	0.14	0.09	0.11
18/04/2021	B	11.59	9.14	8.59	7.88	0.18	0.20	0.15	0.13
19/04/2021	A	10.70	8.18	10.27	8.32	0.26	0.22	0.16	0.17
19/04/2021	B	7.94	7.30	7.93	6.37	0.22	0.15	0.16	0.15
20/04/2021	A	6.04	6.45	6.58	2.95	0.15	0.13	0.14	0.11
20/04/2021	B	5.79	6.71	6.40	6.18	0.18	0.18	0.17	0.13

Leyes oxidación, % de óxido de cobre y % de Fierro

FECHAS	GUARDIAS	Oxidación				% Cu Ox.				% Fe Conc			
		L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
13/04/2021	A	0.054	0.052	0.062	0.059	8.544	8.293	8.794	9.425				
13/04/2021	B	0.10	0.09	0.09	0.09	12.70	11.85	12.66	12.01	20.29	18.73	19.39	17.50
14/04/2021	A	0.07	0.06	0.07	0.06	9.02	7.93	8.26	8.41	23.87	19.67	14.34	18.39
14/04/2021	B	0.07	0.08	0.08	0.08	9.44	10.09	10.32	10.68	22.64	23.98	19.79	15.12
15/04/2021	A	0.07	0.07	0.08	0.08	9.93	10.01	10.19	10.34	18.32	19.00	16.31	16.91
15/04/2021	B	0.10	0.10	0.11	0.11	15.33	15.34	14.23	15.80	19.88	21.59	16.65	18.98
16/04/2021	A	0.08	0.08	0.08	0.09	10.56	11.68	10.62	12.52	21.74	20.73	25.15	18.17
16/04/2021	B	0.14	0.11	0.12	0.12	17.62	15.58	16.64	16.15	19.37	20.95	19.00	16.53
17/04/2021	A	0.08	0.08	0.07	0.08	11.70	11.57	10.72	11.39	18.20	16.77	16.04	14.74
17/04/2021	B	0.07	0.08	0.08	0.07	10.24	12.85	12.28	10.31	16.38	18.85	17.41	14.87
18/04/2021	A	0.06	0.06	0.07	0.07	9.83	9.63	10.07	9.94	18.84	20.36	14.15	13.65
18/04/2021	B	0.08	0.09	0.08	0.09	9.59	10.76	9.63	11.21	22.18	21.37	21.37	17.05
19/04/2021	A	0.12	0.11	0.11	0.11	12.07	12.26	12.17	12.20	22.89	18.36	18.36	17.16
19/04/2021	B	0.10	0.09	0.10	0.11	11.83	10.81	11.62	12.69	22.34	20.23	16.10	17.65
20/04/2021	A	0.09	0.09	0.09	0.10	11.60	11.86	11.33	12.12	18.46	19.21	19.68	11.31
20/04/2021	B	0.10	0.10	0.10	0.10	12.71	12.55	12.24	12.89	20.25	22.16	21.78	19.44

Recuperación de cobre en la línea 1, 2, 3 y 4

FECHAS	GUARDIAS	Rec. Cu				Rec. Cu (20g/t) NasH	Rec. Cu (28g/t) NasH	DIF.
		L1	L2	L3	L4			
13/04/2021	A	-	-	-	-			
13/04/2021	B	79.2	73.0	81.1	76.1	76.1	78.6	2.5
14/04/2021	A	71.3	85.6	85.2		78.5	85.2	6.7
14/04/2021	B	86.3	88.9	89.1	87.8	87.6	88.4	0.9
15/04/2021	A	83.3	88.5	88.2	87.2	85.2	88.4	3.1
15/04/2021	B	80.3	82.0	83.6		80.3	82.8	2.6
16/04/2021	A	85.7	85.8	85.8	86.3	86.0	85.8	-0.2
16/04/2021	B	84.1	83.0	83.9	82.1	83.1	83.4	0.3
17/04/2021	A	82.3	81.9	84.8	75.1	78.7	83.4	4.7
17/04/2021	B	85.1	85.0	85.5	82.0	83.6	85.3	1.7
18/04/2021	A	73.8	79.0	88.1	84.8	79.3	83.6	4.3
18/04/2021	B	79.7	76.5	82.2	84.9	82.3	79.3	-3.0
19/04/2021	A	75.6	78.6	83.4	82.9	79.2	81.0	1.8
19/04/2021	B	76.8	84.0	83.4	84.3	80.5	83.7	3.2
20/04/2021	A	82.5	84.7	84.9	89.6	86.0	84.8	-1.3
20/04/2021	B	80.3	79.6	81.4	85.2	82.8	80.5	-2.3

ANEXO 2: Control del potencial de oxidación - reducción y pH

Guardia: G "A"

Hora	Thermo				Celda real				Celdas Campo				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
ORP	08:00	-23	-31	-24	-18	-21.7	-29.8	-32.1	-9.3	20.3	-12.5	18.4	14.7
	10:00	-25	-34	-41	-26	-17.5	-24.9	-18.6	-11	18.2	-14	14.7	10.4
	12:00	-35.5	-43.8	-47.2	-33	-13.6	-22	-23.2	-13.6	15.1	-19.6	16.1	8.9
	14:00	-18	-38	-43	-30	-10.4	-16.7	-23.1	-13.7	20.4	-27.5	15.5	17
	16:00	-21	-42	-47	-27	-14.7	-23.3	-31.9	-10.8	20.7	-32.2	17.5	19.9
	18:00	-23	-40	-46.5	-29	-15.2	-21.9	-25	-14.5	25.7	-14.8	23.1	18.9
PH	Hora	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	08:00	10.6	10.7	10.8	10.8	10.65	10.77	10.86	10.82	10.49	10.07	10.14	10.43
	10:00	10.7	10.8	10.9	10.8	10.62	10.69	10.9	10.8	10.48	10.07	10.16	10.47
	12:00	10.61	10.67	10.97	10.94	10.73	10.74	10.95	10.82	10.1	10.12	10.24	10.17
	14:00	10.8	10.8	10.9	10.9	10.59	10.61	10.81	10.65	9.96	9.98	10.1	10.13
	16:00	10.7	10.7	10.9	10.8	10.57	10.57	10.77	10.69	9.98	9.93	10.05	10.18

Guardia: G "B"

Hora	Thermo				Celda real				Celdas Campo				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
ORP	08:00	19.8	-27.3	-39.6	-25.7	-5.5	-12.9	-24.1	-14.6	24.8	-16.3	30.7	15.8
	10:00	-26.3	-38.8	-51.1	-36.6	-12.7	-18.5	-37.3	-21.9	-21	-17	-20.7	-13.1
	12:00	-28.8	-42.5	-48.9	-35.1	-14.6	-24.4	-32.8	-20.1	-17.9	-23.8	-30.7	-21.9
	14:00	-30.6	-40.6	-42.7	-32.4	-15.2	-25.3	-28.9	-18.3	-19.5	-24.3	-20.8	-12.6
	16:00	-35.4	-39.2	-45.8	-36.3	-18.1	-24.8	-27.3	-19.7	-21.6	-27.9	-21.5	-15.2
	18:00												
PH	Hora	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	08:00	10.71	10.96	10.85	10.9	10.69	10.98	10.72	10.92	10.2	10.38	10.25	10.34
	10:00	10.668	10.93	10.79	10.84	10.57	10.85	10.69	10.81	9.93	9.82	9.91	9.75
	12:00	10.65	10.88	10.73	10.8	10.55	10.71	10.62	10.7	9.85	9.79	9.77	9.81
	14:00	10.67	10.75	10.68	10.82	10.57	10.68	10.58	10.63	9.88	9.77	9.84	9.79
	16:00	10.7	10.69	10.69	10.65	10.61	10.59	10.65	10.54	9.91	9.9	9.83	9.82

ANEXO 3: Fotografías

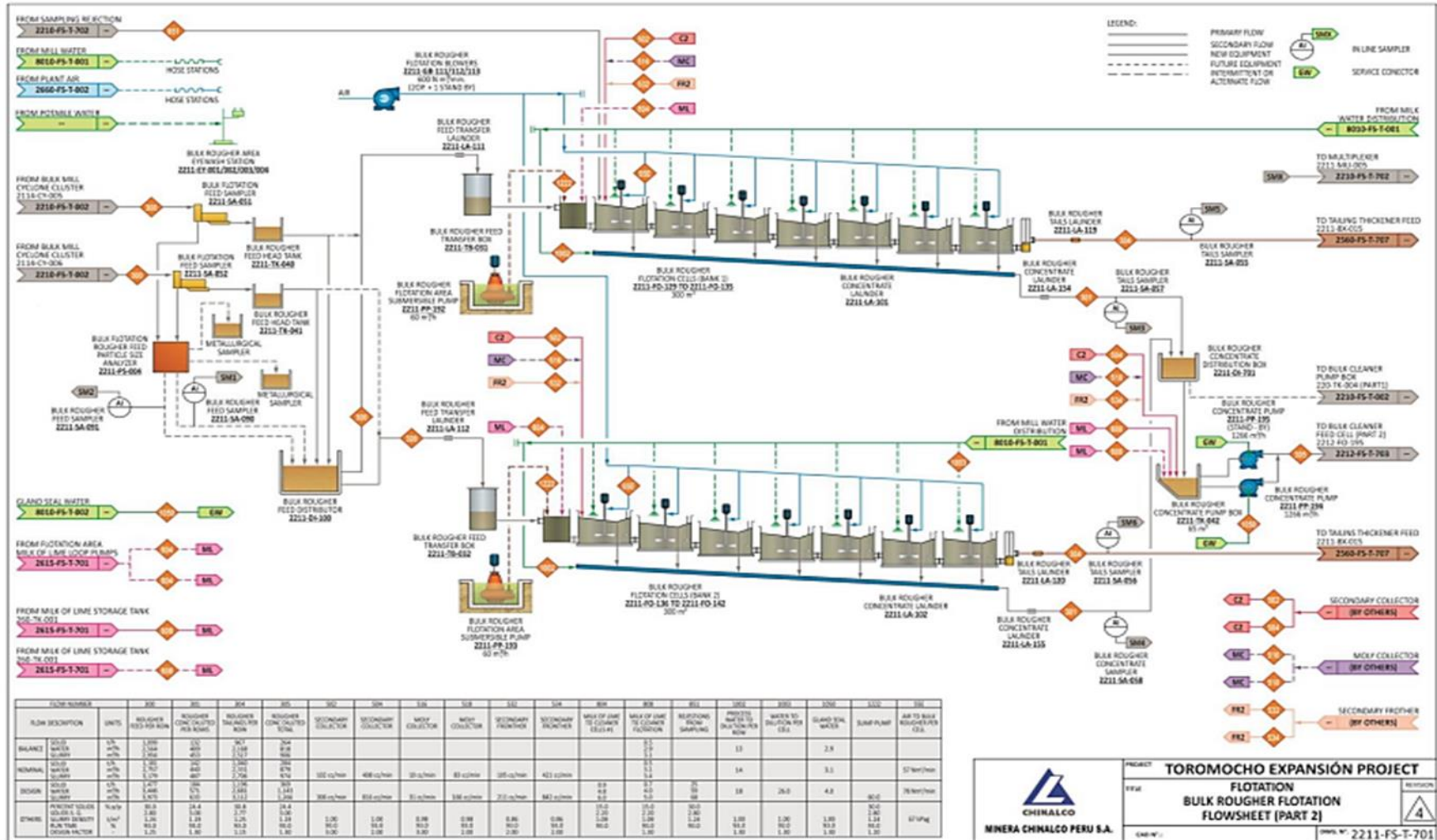


Fotografía 1. Cajón de mezcla colas Rougher



Fotografía 2. Flujo de canaletas de concentrado rougher a cajón de celdas cleaner

ANEXO 4: Flotación Rougher



MINERA CHINALCO PERU S.A.

TOROMOCHO EXPANSIÓN PROJECT

FLOTATION BULK ROUGHER FLOTATION FLOW SHEET [PART 2]

REV: 4

DATE: 2211-FS-T-701

