

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALÚRGICA



T E S I S

Efecto del tiempo de residencia en la tercera limpieza en la recuperación

Zinc de la planta concentradora Huarón, Pasco - 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Ruth Estefanny HUAMALI LOPEZ

Bach. Cesar Alexander PILCO RIVERA

Asesor:

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

Cerro de Pasco - Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALÚRGICA



T E S I S

**Efecto del tiempo de residencia en la tercera limpieza en la recuperación zinc de la
planta concentradora Huarón, Pasco - 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros de jurado:

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
PRESIDENTE

Dr. Cayo PALACIOS ESPIRITU
MIEMBRO

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 254-2025-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:

**EFFECTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA TERCERA LIMPIEZA EN LA
RECUPERACION ZINC DE LA PLANTA CONCENTRADORA HUARÓN,
PASCO - 2024**

Apellidos y nombres del tesista:

**Bach. HUAMALI LOPEZ, Ruth Estefanny
Bach. PILCO RIVERA, Cesar Alexander**

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. BLANCO CAMPOS, Osmer Ignacio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

8 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 04 de abril del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605048 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.04.2025 10:11:00 -05:00

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Bet Judith LOPEZ FLORES, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios invaluable han sido la fuerza motriz detrás de mi educación. A mi tío Grover LOPEZ FLORES y hermana Katerin HUAMALI LOPEZ, por su paciencia, comprensión y aliento en los momentos más desafiantes. A todos mis seres queridos y amistades que han estado a mi lado en cada paso del camino.

Huamali Lopez Ruth

Dedico este trabajo a mi madre Yolanda Rivera Limache, ya que desde el cielo me sigue acompañado, a mi hermana Pilco Rivera Geovanna Yolanda que ha sido y es como mi madre y supo guiarme en mi educación.

Pilco Rivera Alexander

También dedico esta tesis a mi asesor, cuya orientación experta, conocimiento y apoyo inquebrantable han sido cruciales para el éxito de este proyecto. A todos aquellos que han influido en mi vida de alguna manera, grande o pequeña, les agradezco de todo corazón. Este logro es suyo tanto como mío.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi asesor, Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS, por su guía experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para dar forma a este trabajo. También deseo expresar mi gratitud a mis Docentes, quienes generosamente compartieron su experiencia y brindaron sus ideas en el desarrollo de este proyecto. Agradezco profundamente a mi familia, por su amor, apoyo incondicional y comprensión durante esta etapa de mi vida. Su aliento constante fue mi mayor motivación.

RESUMEN

La investigación, titulada "Efecto del tiempo de residencia en la tercera limpieza en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco - 2024", busca determinar el impacto del tiempo de residencia de la tercera limpieza en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron. Se utilizó la técnica de pruebas metalúrgicas que ayuda a los investigadores a determinar esto. Se determinó que el tiempo de residencia tiene un impacto significativo en la recuperación de zinc durante la tercera limpieza, confirmando que tiempos de residencia más largos favorecen una mayor recuperación del mineral, aunque con un riesgo de sobre-molienda y posibles pérdidas en la calidad del concentrado.

Las pruebas demostraron que hay un tiempo de residencia óptimo que maximiza la eficiencia en la recuperación de zinc, reduciendo costos operativos y el desgaste de equipos, lo que enfatiza la necesidad de ajustar los tiempos de residencia para cada campaña productiva.

En este caso, se reemplaza una celda de 5m³ para cambiar el tiempo de residencia actual de 6,6 minutos con un volumen de 4.25m³ en la tercera etapa de limpieza de zinc. Además, para la segunda etapa de limpieza de zinc, el tiempo de residencia actual 3,3 minutos con un volumen de 4.25m³ se ajustará con una celda de 10m³, ya que se requieren 6,9 minutos y una capacidad de 10m³ para cumplir con los objetivos planteados. La reducción del contaminante manganeso, que tiene un impacto en la calidad del concentrado, está directamente relacionada con este esfuerzo por mejorar la calidad sin afectar la recuperación.

Palabras clave: Tiempo de residencia, proceso metalúrgico, flotación, recuperación.

ABSTRACT

The research, titled "Effect of the residence time in the third cleaning on the zinc recovery of the Huaron concentrator plant, Pasco - 2024", seeks to determine the impact of the residence time of the third cleaning on the zinc recovery of the plant Huaron concentrator. The metallurgical testing technique was used to help researchers determine this. It was determined that the residence time has a significant impact on the recovery of zinc during the third cleaning, confirming that longer residence times favor greater recovery of the mineral, although with a risk of over-grinding and possible losses in the quality of the mineral. concentrated.

The tests demonstrated that there is an optimal residence time that maximizes efficiency in zinc recovery, reducing operating costs and equipment wear, which emphasizes the need to adjust residence times for each production campaign.

In this case, a 5m³ cell is replaced to change the current residence time of 6.6 minutes with a volume of 4.25m³ in the third stage of zinc cleaning. Furthermore, for the second stage of zinc cleaning, the current residence time 3,3 minutes with a volume of 4.25 m³ will be adjusted with a 10m³ cell, since 6,9 minutes and a capacity of 10m³ are required to meet the stated objectives. The reduction of the manganese contaminant, which has an impact on concentrate quality, is directly related to this effort to improve quality without affecting recovery.

Keywords: Residence time, metallurgical process, flotation, recovery.

INTRODUCCIÓN

El concentrado de zinc de la limpieza final aporta cerca del 52% en masa porque es donde se mantiene parte del equilibrio masivo (el otro punto es el relave final). Por lo tanto, la calidad de este concentrado debe estar al mismo nivel que los otros dos concentrados de la celda, WS300 (35%) y TC30 (13%) para que no haya distorsión y una disminución en el resultado final. Esta reducción también está relacionada con la baja capacidad de las celdas de limpieza con el cambio de estas celdas considerando el nuevo nivel de capacidad y la performance actual encontradas en las celdas automáticas, la calidad de este concentrado estará al nivel de los otros dos concentrados aportando valor y eficiencia al circuito de limpiezas actual.

Debido a esta preocupación, se buscó aumentar la capacidad de tratamiento de la planta concentradora de 2,600 tms/día a 3,200 tms/día, lo que resultó en una reducción del tiempo de residencia en las celdas de limpieza de zinc. En el circuito de zinc, se requieren 15.0 minutos de tiempo de residencia en las limpiezas de flotación de zinc, pero se requieren 18.4 minutos más para este tonelaje de tratamiento actual y para mantener el equilibrio de masa. Por lo tanto, según pruebas de cinética en el Laboratorio Metalúrgico, se espera que la compra de nuevas celdas automáticas para reemplazar a las actuales y acelere el tiempo de las etapas de limpieza. que son convencionales y poder aumentar el tiempo de residencia en el circuito de limpiezas (cleaner) de zinc para hacer más efectivo este banco de celdas.

El trabajo actual se divide en los siguientes cuatro capítulos: En el capítulo I, presenta el problema de investigación, con el objetivo de identificar y determinar el problema de investigación, el planteamiento del problema y formulación de objetivos, importancia y alcances de la investigación.

En el En el capítulo II, Presenta una descripción general del marco teórico, las bases científicas, la formulación de hipótesis y la operacionalización de variables e indicadores. También incluye los antecedentes del estudio, las teorías y los fundamentos del estudio. En el En el capítulo III, se presenta en detalle general de metodología y técnicas de investigación y recopilación de datos.

En el capítulo IV, presenta los resultados de la investigación, tratamiento estadístico e interpretación de los datos, prueba las hipótesis y discute los hallazgos.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

| | | |
|--------|---|---|
| 1.1. | Identificación y planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. | Delimitación de la investigación | 3 |
| 1.3. | Formulación del problema..... | 3 |
| 1.3.1. | Problema general | 3 |
| 1.3.2. | Problemas específicos..... | 3 |
| 1.4. | Formulación de objetivos | 4 |
| 1.4.1. | Objetivo general..... | 4 |
| 1.4.2. | Objetivos específicos | 4 |
| 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..... | 8 |
| 2.3. | Definición de términos | 28 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.4. | Formulación de hipótesis | 29 |
| 2.4.1. | Hipótesis general | 29 |
| 2.4.2. | Hipótesis específicas | 30 |
| 2.5. | Identificación de variables | 30 |
| 2.6. | Definición operacional de variables e indicadores | 31 |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1. | Tipo de investigación..... | 32 |
| 3.2. | Nivel de investigación | 32 |
| 3.3. | Método de investigación..... | 33 |
| 3.4. | Diseño de la investigación | 34 |
| 3.5. | Población y muestra..... | 34 |
| 3.6. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 35 |
| 3.7. | Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación | 36 |
| 3.8. | Técnicas de procesamiento y análisis de datos..... | 37 |
| 3.9. | Tratamiento estadístico | 37 |
| 3.10. | Orientación ética filosófica y epistemológica..... | 38 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | | |
|------|--|----|
| 4.1. | Descripción del trabajo de campo. | 39 |
| 4.2. | Presentación, análisis e interpretación de resultados..... | 41 |
| 4.3. | Prueba de hipótesis | 58 |
| 4.4. | Discusión de resultados | 60 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro N° 01: Tiempo de flotación | 44 |
| Cuadro N° 02: Balance metalúrgico ETAPA cleaner IA | 45 |
| Cuadro N° 03: Balance metalúrgico ETAPA cleaner IA | 45 |
| Cuadro N° 04: Reporte de balance metalúrgico del composito de limpieza | 46 |
| Cuadro N° 05: Balance metalúrgico ETAPA cleaner II..... | 47 |
| Cuadro N° 06: Balance metalúrgico ETAPA cleaner III | 47 |
| Cuadro N° 07: Ensayes Químicos Concentrado 3ra | 49 |
| Cuadro N° 08: Ensayes Químicos Concentrado 2da..... | 51 |
| Cuadro N° 09: Circuito Zinc actual..... | 54 |
| Cuadro N° 10: Ensayes Químicos 2da limpieza de Zn | 55 |
| Cuadro N° 11: Balance de Circuitos 3ra Limpieza de Zn | 55 |
| Cuadro N° 12: Ensaye químico por guardia de operación | 56 |

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y planteamiento del problema

La Empresa Pan American Silver unidad Huarón viene realizando el tratamiento de minerales polimetálicos de cobre, plomo y Zinc, que tiene alto contenido de plata en el cobre secundario y en el plomo; además, se estimó que posee 61,3 millones de onzas de plata.

El análisis del tiempo de residencia de la tercera limpieza de recuperación de zinc reveló que las celdas de mayor capacidad tienen un tiempo de residencia de quince minutos en el circuito de limpieza. Sin embargo, se detectó que esta celda no está limpiando el concentrado que ingresa procedente de la segunda limpieza y afecta la recuperación de zinc. Por tal motivo se realizó una evaluación metalúrgica al circuito de limpieza de la Cleaner II y cleaner III y se determinó el balance metalúrgico que a continuación se detalla:

El concentrado de zinc (Zn) en la cleaner III tiene un contenido de 44,93% de calidad y una recuperación de 49,77%. Esta recuperación metálica es baja lo que produce un mayor retorno a la II limpieza sobrecargando el circuito.

La relación entre la ley de cabeza de zinc y su recuperación en la planta Huaron es directamente proporcional: a mayor ley de cabeza, mayor recuperación de zinc en el concentrado final, y viceversa.

La variabilidad en la ley de cabeza de zinc en el mineral que ingresa a la planta concentradora Huaron afecta directamente la recuperación de zinc en los siguientes aspectos: Eficiencia de los procesos metalúrgicos:

Una mayor ley de cabeza de zinc permite que los procesos de molienda, flotación y demás etapas de concentración sean más eficientes en extraer y recuperar una mayor proporción del zinc presente.

Por el contrario, una menor ley de cabeza de zinc dificulta que los procesos de concentración logren una alta recuperación, reduciendo la eficiencia general del circuito de zinc.

Rendimiento del proceso:

Con una mayor ley de cabeza de zinc, el rendimiento del proceso de concentración de zinc mejora, alcanzando recuperaciones más altas, generalmente por encima del 90%.

Cuando la ley de cabeza de zinc es menor, el rendimiento del circuito de zinc se ve reducido, con recuperaciones que pueden estar en el rango de 60-80%.

En resumen, la variabilidad en la ley de cabeza de zinc tiene un impacto directo en la eficiencia y el rendimiento de los procesos metalúrgicos de la planta concentradora Huaron. Una mayor ley de cabeza mejora la eficiencia y el rendimiento, mientras que una menor ley los reduce.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación geográfica

Esta tesis se desarrolla en el laboratorio químico y metalúrgico en las instalaciones de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en el Distrito de Yanacancha región y provincia de Pasco.

1.2.2. Delimitación de la población

La población lo conforma el concentrando de la segunda limpieza de la flotación en el circuito de zinc de la planta concentradora Huaron de la empresa Pan American Silver Huaron S.A.

1.2.3. Delimitación de tiempo

La tesis tiene una duración de siete meses, comenzando el 3 de febrero del 2023 y terminando el 30 de agosto del 2023. Se creó un cronograma de actividades para llevar a cabo la investigación en función del interés de obtener mejoras metalúrgicas en la recuperación de zinc.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el tiempo de residencia de la tercera limpieza que afecta la recuperación de zinc en la Planta Concentradora Huaron?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo determinar el tiempo de residencia de las celdas DR100 y Sub A 24 del circuito de limpieza II y III en la planta concentradora Huaron?
- b) ¿Cómo determinar el tiempo de residencia a nivel de laboratorio mediante la cinética de flotación de la II y III limpieza de la planta concentradora Huaron?

- c) ¿Cómo determinar el tiempo de residencia del circuito de limpieza II y III de las celdas TC10 y TC5 para mejorar la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el tiempo de residencia de la tercera limpieza que afecta la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el tiempo de residencia del mineral en las celdas DR100 y Sub A 24 en la recuperación de Zn en la planta concentradora Huaron.
- b) Realizar prueba de cinética de flotación de la II y III limpieza para determinar el tiempo de residencia a nivel de laboratorio de la planta concentradora Huaron.
- c) Determinar el tiempo de residencia del circuito de limpieza II y III de las celdas TC10 y TC5 para mejorar la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

El aumento del tratamiento de mineral en la planta concentradora Huarón de la Empresa Pan American Silver Huarón S.A. de 2600 TMS/día a 3200 TMS/día muestra un aumento significativo en el flujo de pulpa de 1919 GPM a 2267 GPM. Esto reduce el tiempo de residencia en los circuitos de flotación Bulk y Zinc, lo que reduce la eficiencia metalúrgica de los concentrados en nuestro caso del circuito de zinc.

1.5.2. Justificación práctica

La búsqueda en el efecto del tiempo de residencia en la etapa de limpieza en la recuperación de zinc se realizó en el laboratorio de metalurgia haciendo flotación Bach. Evaluando la ley de cabeza, caracterización mineralógica y la dosificación de reactivos para la recuperación de zinc teniendo en cuenta la ley de concentrado final del concentrado.

1.5.3. Justificación Metodológica

La investigación cuantitativa utiliza el método experimental. El nivel tiene un enfoque explicativo. La muestra de concentrado de la segunda limpieza de flotación en el circuito de zinc de la planta concentradora de Huarón es un subgrupo de la población proporcionada por Pan American Silver Huarón S.A.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que tenemos para llevar a cabo este estudio son escasos referentes físicos y digitales para implementar los marcos teóricos, y las instalaciones y condiciones de laboratorio universitarias son precarias.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes internaciones

Gamarra.H.E.(2019) en su tesis “Flotación Bulk de Minerales Sulfurados de Plomo – Zinc refractarios de bajo grado en la Planta Concentradora de Huari de la UNCP” menciona en su estudio la flotación bulk de un mineral de plomo y zinc refractario de bajo grado que contiene 3,5% de Zn, 1% de Pb y 1,9% de Fe. Debido a los obstáculos involucrados en la flotación secuencial del mineral de sulfuro de plomo y zinc finamente diseminado, donde efectuó la producción de concentrado bulk de plomo y zinc. Investigaron los parámetros de flotación como la dosis del activador ($CuSO_4$), el tipo de colector [xantato de amilo y potasio, xantato isopropílico sódico], el tiempo de flotación, el tamaño de partícula y el pH. Los resultados experimentales mostraron que la dosificación del colector fue el factor más significativo que afecta las recuperaciones de Zn y Pb. En la etapa de flotación bulk donde se usaron 100 g/t de $CuSO_4$ y 150 g/t de xantato amílico

de potasio (con pH 8 y a 10 minutos de tiempo de flotación) se obtuvieron recuperaciones máximas de Zn y Pb de 94 y 83%, respectivamente.

Cortez M. (2019). en su tesis intitulado “Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía Minera Volcan S.A.A.- 2019” señala el tema del pH y las aguas ácidas en los relaves de las plantas concentradoras de tratamientos de minerales, resulta de suma importancia en el desarrollo de la minería en nuestro país. El propósito de llevar a cabo un proceso de flotación de zinc sin usar cal (CaO) es evitar enviar aguas residuales con una alta concentración de pH al relave que oscila entre 10,8 y 11,5, y estar dentro de los parámetros ambientales en los efluentes mineros con un pH igual o inferior a 9, y también evitar la contaminación de los ríos o lagos cercanos y los conflictos sociales con las poblaciones, además se lograría reducir los costos del proceso, reducir la exposición del personal a la manipulación de cal viva, tener un insumo menos fiscalizable y mantener o mejorar la calidad del concentrado de zinc.

En conclusión, se debe realizar una prueba industrial y evaluar la efectividad de sus pruebas de flotación en serie con el colector F-1661 en la Planta Concentradora Andaychagua. También sería relevante su contribución porque indicaría que el uso de estos reactivos colectores puede mantener al menos las características metalúrgicas de zinc del proceso estándar sin agregar cal. Por otro lado, el pH es alcalino de 9 a 10.3 y el reactivo colector de zinc F-4277 es ineficiente en la capacidad metalúrgica, lo que significa que su combinación con otros reactivos colectores es desfavorable para el proceso.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Tiempo de Residencia

El tiempo de residencia (τ) está relacionado con el flujo de aire; un flujo de aire bajo requiere un tiempo de residencia más alto para asegurar la recolección de todas las partículas. Existe una relación directa entre el tiempo de residencia y la probabilidad de flotación, lo que implica que una alta probabilidad de flotación y un flujo de aire adecuado resultan en una recuperación aceptable (Gómez & Martínez, 2023).

El tiempo de residencia es una variable importante en el proceso de flotación de minerales, ya que afecta directamente la eficiencia de separación del mineral valioso del material no valioso.

El tiempo de residencia se define como el tiempo promedio que tarda la pulpa mineral en pasar a través de una celda de flotación. Depende de factores como:

- ✓ La densidad de pulpa, que afecta el tiempo de residencia del mineral en las etapas de flotación y la capacidad del circuito.
- ✓ El diseño y funcionamiento adecuados de los componentes de la celda de flotación, como el mecanismo de mezclado (rotor y estator), eje, reductor y motor. (Mundo minero)

Para calcular el tiempo de residencia, se puede agregar una sal soluble a la alimentación de la celda y medir su concentración a la salida en función del tiempo (Mundo minero), esto permite determinar el área bajo la curva de concentración vs tiempo, que representa el tiempo promedio de residencia. Un tiempo de residencia adecuado es crítico para lograr una buena recuperación y

calidad del mineral concentrado. Por eso es importante monitorear periódicamente esta variable y mantener en buen estado los equipos de flotación.

2.2.2. Ley de Cabeza

En los yacimientos en explotación también es necesario determinar cuál será la ley de cabeza, que es la ley del mineral que va a la planta de tratamiento. Frecuentemente la ley de cabeza es menor que la ley media del yacimiento debido a la dilución por la incorporación inadvertida o inevitable de rocas de caja o huésped estériles en el mineral durante su extracción. Es diferente a la ley de mina. Se representa por “F” (feet) (Rivera, E. M., & Gómez, A. (2020).

En metalurgia, la ley de cabeza se refiere al contenido de finos en el mineral que se introduce en el proceso de concentración. Esta medida indica la cantidad de metal valioso presente en el mineral extraído directamente de la mina antes de su procesamiento. La ley de cabeza se expresa como un porcentaje de contenido fino para minerales metalíferos o en gramos por tonelada para metales preciosos.

Fórmulas de Ley de Cabeza:

$$\text{Ley de Cabeza} = \frac{\text{CM Tratado}}{\text{TM Tratadas}}$$

CM: Concentrado Métrico
TM: Tonelaje Métrico

$$\text{Ley de Cabeza} = \frac{\text{Ley concentrado} \times 100}{\text{Razón de concentración} \times \% \text{ RM}}$$

RM: Recuperación Metalúrgica

a) Ley De Concentrado

Es la ley del mineral útil que sale del circuito o de las celdas de flotación, se representa por “C” (concentrado).

Formula de la ley de concentrado:

$$\text{Ley de concentrado} = \frac{\text{CM Concentrado}}{\text{TM Concentrado}}$$

(Ley de fino)

$$\text{Ley de Concentrado} = \frac{\text{Raz. Concentración} \times \% \text{ Recuperación} \times \text{Ley de cabeza}}{100}$$

Para ello primeramente se tiene que tener los parámetros tales como:

Ley de cabeza.

$$\text{Ley de Cabeza} = \frac{\text{CM Tratado}}{\text{TM Tratadas}}$$

$$\text{Ley de Cabeza} = \frac{\text{Ley concentrado} \times 100}{\text{Razón de concentración} \times \% \text{ Recuperación}}$$

Ley de relave o cola

$$\text{Ley de Relave o Cola} = \frac{\text{CM Pérdida}}{\text{TM Pérdida o Relave}}$$

CM concentrado

$$\text{TM Concentrado} = \frac{\text{CM Concentrado (fino)}}{\text{Ley Concentrada}}$$

TM

$$\text{TM Concentrado} = \frac{\text{CM Concentrado (fino)}}{\text{Ley Concentrada}}$$

Razón de concentración

$$\text{Razón de concentración} = \frac{\# \text{ Toneladas Tratadas}}{\# \text{ Toneladas Obtenidas}}$$

Bialy. Cc. (2020)

b) La optimización del proceso de flotación para mejorar la calidad del concentrado

Ajuste de la dosificación de reactivos:

La dosificación adecuada de los reactivos de flotación, como colectores, espumantes y modificadores, es crucial para mejorar la selectividad y

eficiencia del proceso. Estudios experimentales con diseños factoriales permiten determinar los niveles óptimos de estos reactivos. Chambi Huanca, L. M. (2020) Optimización del proceso de flotación para mejorar la recuperación de minerales mixtos de cobre en la planta concentradora de la Empresa-Minera CIEMSA - Unidad El Cofre - Paratía - Puno.

Control del pH y potencial redox:

Gavancho.V.Jimenez.J.(2018), mantener el pH y el potencial redox en los valores óptimos para cada mineral es importante para maximizar la recuperación y la calidad del concentrado.

Optimización de Granulometría Optimización de la granulometría:

La molienda del mineral a un tamaño de partícula adecuado es fundamental para liberar los minerales valiosos y mejorar su flotabilidad.

Ajuste de los tiempos de flotación:

Determinar los tiempos óptimos de flotación en cada etapa (rougher, cleaner, scavenger) permite obtener un concentrado de mayor calidad. Chambi (2020).

Mejora del diseño del circuito de flotación:

La configuración y el número de celdas de flotación pueden optimizarse utilizando técnicas de simulación y optimización matemática. Meraz. P.A. (2018).

Implementación de sistemas de control avanzados:

El uso de instrumentación, sensores y algoritmos de control automatizado permite mantener las variables del proceso en sus valores óptimos.

Caracterización Mineralógica:

Propiedades a evaluar

Propiedades físicas: ópticas, mecánicas y electromagnéticas

Propiedades químicas: composición elemental y compuestos.

Propiedades cristalográficas: estructura interna y disposición ordenada de átomos

Importancia de la caracterización:

Permite diseñar equipos y accesorios adecuados para las operaciones unitarias de una planta concentradora (trituración, molienda, clasificación, flotación).

Determina el máximo rendimiento que se puede lograr en todas las operaciones mineras.

Facilitar la operación de flotación al conocer las propiedades hidrofóbicas de los minerales sulfurados

Técnicas de caracterización:

Análisis químico para determinar composición elemental.

Difracción de rayos X para determinar estructura interna y cristalina

Pruebas físicas como color, raya, dureza, brillo, diafanidad, magnetismo, reacción a ácidos

2.2.3. Flotación de Minerales

El proceso de flotación de minerales examina las propiedades superficiales de las interfaces que se forman a partir de la interacción entre el aire, el mineral y el agua, lo que resalta la importancia de la fisicoquímica de superficies en este contexto. Los fenómenos de interfase surgen debido a la energía excesiva presente en las superficies de contacto entre el aire, el mineral y

el agua, resultado de la existencia de enlaces que no están completamente ocupados por átomos o moléculas similares (Chique, J. 2020).

Uno de los métodos más selectivos para separar las especies de sulfuro de cobre-zinc, cobre-molibdeno y plomo-zinc es la flotación.

El proceso de flotación segrega especies debido a las distintas propiedades físico-químicas de cada superficie. Debido a las dificultades para obtener fluidos de una densidad específica, se requirió el uso de modificadores de superficie para mejorar la selectividad del proceso, lo que llevó al origen de la flotación. En presencia de un medio de agua y aire (burbujas), las especies hidrofóbicas repelen el agua y el aire se adhiere a las burbujas ascendentes. Estos modificadores permiten que las especies que se separan se conviertan selectivamente en hidrofóbicas. superficie en forma líquida.

Este proceso consta de tres fases: sólidos (partículas molidas finamente), líquidos en los que se sumergen las partículas (agua y reactivos), y gas (aire) que se introduce en la pulpa y forma pequeñas burbujas. Dado que las partículas solo pueden adherirse a las burbujas de aire si logran desplazar el agua de la superficie del mineral, la especie de interés debe ser hidrofóbica o hidrofóbica para que ocurra la flotación. Acumulación de partículas: las burbujas de aire pueden migrar a la superficie siempre que tengan una densidad general más baja que el medio de separación.

La espuma, sin embargo, debe ser lo suficientemente fuerte para llegar a la superficie sin romperse. Cuando las partículas llegan a la superficie, las burbujas deben formarse para contenerlas. De lo contrario, las burbujas explotarán y las partículas del aire se desplazarán hacia el fondo de la celda de flotación. El arrastre de aire fomenta la formación de espuma, mientras que la

agitación fomenta la separación y suspensión de partículas. La estabilidad y el tamaño de las burbujas que las transportan tienen un impacto directo en la recuperación de especies valiosas porque la recuperación depende de la cantidad de partículas (flotador) llevadas a la superficie. Dado que dependen del área superficial de las burbujas a la que se pueden adherir las partículas, los procesos que generan muchas burbujas pequeñas producirán una mayor recuperación que los procesos que generan menos burbujas más grandes. Las fuerzas que actúan sobre la superficie de una partícula determinan su reacción con los reactivos de flotación en agua. La tensión eleva la superficie de la partícula y la burbuja. Otro factor crucial para regular la recuperación es el tamaño de la partícula. Cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es el número de partículas. Debido a que el ángulo de contacto aumenta, aumenta el trabajo de adhesión entre las partículas y las burbujas y aumenta la elasticidad del sistema ante la fuerza de rotura, aumenta la flotabilidad del sistema. La mayoría de los minerales son aeróbicos (tienen una mayor afinidad por el aire que por el agua), pero se necesitan colectores para mejorar la hidrofobicidad. que el proceso de separación se lleve a cabo con mayor eficiencia.

2.2.4. Circuitos de Flotación

El circuito de flotación produce dos productos finales: los concentrados y los relaves. Las leyes de estos productos no son siempre fijas, ya que dependen significativamente de la ley de la cabeza. Se recomienda que los operadores de flotación se esfuercen por obtener relaves lo más limpios posible y un concentrado de buena calidad, conforme a las especificaciones proporcionadas por su supervisor (Bravo, A. 2004).

Los indicadores más importantes para evaluar el proceso de crecimiento son:

La Ley del concentrado trata del porcentaje en peso de constituyentes con rentabilidad en base a la muestra total.

Recuperación de ciertos componentes valiosos (Pb, Zn, etc.) en ciertos procesos de enriquecimiento se refiere al porcentaje de 'finura' (peso de Pb, Zn, etc. en la muestra). En el proceso (o etapa) en cuestión.

La ley del producto y la recuperación metalúrgica son los parámetros más utilizados en general. El objetivo es maximizar estos valores en ambos casos, pero en la práctica debe elegir los valores que maximicen el "óptimo económico" de su proceso.

Esto se debe al hecho de que estos dos parámetros tienen una relación inversa. Gracias a esto, se especializan varias etapas del proceso para maximizar cada uno de los dos factores para alcanzar los objetivos tecno económicos generales de recuperación y grados de enriquecimiento. La etapa de flotación se define como lo siguiente dependiendo de su propósito: Flotación primaria o Rougher: diseñada para maximizar la recuperación o, más estrictamente, para producir los relaves sin semillas deseados.

- a) Flotación primaria o Rougher: diseñada para incrementar la recuperación o, más estrictamente, para producir los relaves sin semillas deseados.
- b) Flotación de limpieza o cleaner: Diseñado para aumentar la calidad del concentrado con la finalidad de lograr la pureza deseada en el producto final de la planta. Estas etapas pueden tener varias etapas denominadas 1.^a limpieza, 2.^a limpieza, etc.

c) Flotación Scavenger o de barrido: También diseñado para aumentar la recuperación. Por lo general, procede después de una de las etapas anteriores y muestra sus restos. Luego habla con: Scavenger Cleaner o Scavenger Rough, dependiendo de su objetivo que es recuperar la mayor cantidad de partículas residuales que quedan en los relaves que procesa.

Hay una variedad de configuraciones de circuito posibles, dependiendo del tipo de máquina de flotación en cuestión y el tipo de máquina de flotación involucrada. Algunas de estas configuraciones de circuito incluyen filas de celdas de máquina, una columna de flotación y un concentrado intermedio. proceso de molienda.

2.2.5. Tipos de Celda de Flotación

Una celda de flotación es un reactor donde las burbujas de aire y las partículas se tocan, se unen y se separan selectivamente. Para que este equipo funcione correctamente, es necesario que el aire y las partículas que contienen se dispersen adecuadamente y se forme espuma. Esto garantiza que los productos producidos (concentrados y relaves) cumplan con los requisitos legales y las tasas de recuperación y eliminación. Se pueden separar en células neumáticas y mecánicas. La forma del dispositivo, la forma y la estructura mecánica del impulsor, la forma del dispersor que tritura el aire en burbujas y el rango de fluctuación de velocidad y flujo de agitación son las principales diferencias entre los dispositivos de la misma categoría de flotación. costo. la velocidad del viento. Como resultado, la alteración de cualquiera de estos factores altera las condiciones hidrodinámicas en la célula. (Astucuri, 1981).

El correcto funcionamiento de una celda de flotación es esencial para garantizar la eficiencia del proceso de separación de minerales. En este reactor,

la interacción selectiva entre las burbujas de aire y las partículas es crucial para formar espuma y lograr la separación deseada. La dispersión adecuada del aire y las partículas permite que los concentrados y relaves resultantes cumplan con las especificaciones legales y optimicen las tasas de recuperación y eliminación de residuos. Un operador de flotación debe asegurarse de que todos los parámetros operativos se mantengan dentro de los límites adecuados para maximizar la calidad del producto y minimizar las pérdidas, contribuyendo así a la sostenibilidad y rentabilidad del proceso minero.

a) celdas mecánicas

Se distinguen por tener un impulsor agitado mecánicamente que agita la pulpa y dispersa el aire dentro de la pulpa. Dado que brindan recuperaciones de mayor concentración con leyes más bajas, se utilizan comúnmente en las etapas primarias de flotación y validación. Estas unidades pueden ser aire comprimido, donde un ventilador externo ingresa aire, o autoventiladas, donde el aire es aspirado por el vacío producido por el impulsor.

b) Celdas neumáticas

Este tipo de equipo no tiene un impulsor, pero usa aire comprimido para agitar y airear la pulpa. Las celdas de columna, en las que las burbujas de aire y la pulpa fluyen en contracorriente, se utilizan con mayor frecuencia. Dado que brindan una mejor calidad de concentración, se utilizan comúnmente en los pasos de purificación.

2.2.6. Hipótesis general

Las tres categorías principales de reactivos utilizados en la flotación de minerales son colectores, espumantes y modificadores.

a) Colector

Los compuestos orgánicos solubles en agua de polaridad opuesta suelen ser los colectores. En general, los grupos polares forman parte del colector que se adsorbe sobre la superficie del mineral. Después de la adsorción del colector, las cadenas de hidrocarburos no iónicos dan hidrofobicidad a la superficie del mineral. Los recolectores se clasifican en función de los grupos funcionales o los tipos de minerales que se han recolectado o colectores no polares o no ionizados, también conocidos como subgrupos de colectores, son reactivos que carecen de grupos polares. Se utilizan para la flotación de minerales que tienen una alta hidrofobicidad, como el carbón, el grafito, el azufre, la molibdenita y otros. Por otro lado, los colectores de iones contienen grupos funcionales polares hidrófilos (iones colectores orientados y adsorbidos en superficies minerales) unidos a cadenas de hidrocarburos (fracciones no polares hidrófobas orientadas en la fase gaseosa). Los iones pueden convertirse en cationes o aniones cuando se disocian en agua. Los dos tipos de colectores de iones son aniones y cationes. Las aminas son los colectores de cationes más utilizados en la industria.

Estos reactivos se disocian en solución, formando cationes y hidroxilos de aniones. Los colectores de aniones se disocian y sus radicales se combinan con grupos polares para formar aniones, lo que deja cationes en solución. Estos se clasifican en sulfuros de hidrógeno, como xantatos, tiofosfatos y tiocarbamatos, y carboxilos (ácidos grasos), como sulfatos y sulfonatos.

b) Espumantes

Son compuestos heteropolares orgánicos que tienen una alta afinidad por el agua. Son tensioactivos. En otras palabras, es un reactivo que reduce la tensión superficial y se adsorbe selectivamente en la interfase aire-líquido. Permiten la formación de espuma estable y la formación de burbujas pequeñas. Los poliglicoles, los ácidos, los alcoholes y las aminas son los más utilizados.

c) Modificadores

Son reactivos que crean condiciones que mejoran el proceso de recolección o selectividad. Se clasifican en tres categorías: activadores, sedantes y ajustadores de pH. Los activadores son reactivos que mejoran la adsorción de colectores a superficies minerales o fortalecen las conexiones entre colectores y superficies. Los sulfatos de cobre y sodio, así como los sulfuros. Los empujadores son reactivos destinados a disminuir la flotabilidad de los minerales mediante la hidrofización de sus superficies o la prevención de la adsorción del colector. Entre ellos se encuentran el sulfuro de sodio, los cromatos y dicromatos, el cianuro de sodio o de calcio, etc. La cal viva (CaO) o cal apagada [Ca(OH)_2], el carbonato de sodio (Na_2CO_3), la soda cáustica (NaOH) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) son modificadores de pH utilizados en la flotación industrial.

2.2.7. Hipótesis general

La velocidad a la que el material sólido es extraído del proceso de flotación, considerando todas las variables implicadas en el proceso, puede ser expresada de manera simplificada mediante una ecuación general. Esta ecuación tiene en cuenta diversos factores que afectan la eficiencia y efectividad de la

flotación, proporcionando una representación matemática de cómo estos elementos interactúan para determinar la tasa de remoción del material sólido: (Tuteja, Spottiswood, and Misra 1994).

La siguiente ecuación cinética de flotación batch, fue elaborada por (Paucar, 2020), donde menciona que la flotación se puede expresar análogamente a la cinética química, mediante la siguiente expresión.

$$-\frac{dc}{dt} = k \cdot c^n$$

Donde:

C = la concentración de especies flotables

n = orden de la reacción

k = constante específica de velocidad de flotación

Modelo de la ecuación de la recuperación en función del tiempo.

$$R_t = R_{\infty} \cdot (1 - e^{-kt})$$

Veamos el algoritmo matemático de García – Zuñiga

$$\ln\left(\frac{R_{\infty} - R_t}{R_{\infty}}\right) = -k \cdot t$$

R: recuperación acumulada para el tiempo t de flotación (%)

K: Constante cinética (l/min)

R_∞: Recuperación a tiempo infinito (%), corresponde a la máxima recuperación obtenible de la especie o elemento de interés, para las condiciones dadas.

t = tiempo de flotación (min)

Parámetros R y k son característicos de cada componente flotable como puede ser Pb, Zn, Fe. Dependiendo también de cada etapa de flotación (rougher, cleaner, recleaner, scavenger, etc.) y de las características propias del mineral

(granulometría, grado de liberación), condiciones de operación (pH, tipo y dosis de reactivos de flotación, velocidad de agitación, flujo de aire, diseño de la celda, etc.) debiendo por tanto determinarse para cada situación en particular, y para cada componente de la mena.

2.2.8. Controles de los Parámetros de Flotación

Durante estas etapas, el material se somete a diversas condiciones físicas y químicas que pueden modificar su composición, generando variaciones en las condiciones de entrada de la pulpa y complicando su operación y control. Entre las variables más importantes para el proceso de flotación (Tuteja, Spottiswood, and Misra 1995).

Para operar el proceso de flotación de manera eficiente, se deben considerar los siguientes aspectos básicos:

La calidad y pureza de los reactivos (colectores, propulsores y modificadores) deben ser reconocidas y controladas cuantitativamente mediante sistemas de dosificación apropiados. Se debe utilizar un alómetro de vidrio para determinar la concentración de la dosificación.

Evita obstruir el colector y el manorreductor en el mismo lugar si es posible. menos para sedantes como el cianuro de sodio y el bisulfito de sodio, que son incompatibles.

Los relaves de la etapa de lavado suelen molerse después. Para estabilizar el circuito, esta molienda debe devolverse al cabezal del circuito cerrado. No hay nada peor que reciclar el producto intermedio sin producir una superficie diferente, como el repulido. Es preferible hacer suposiciones.

Tenga cuidado porque esta partícula es generalmente de alta calidad y puede desestabilizar el desperdicio final si tiene un circuito ABIERTO. A menos

que se instale un circuito de pre-agotamiento adicional. En resumen, el circuito no debe abrirse a menos que haya un banco de flotación disponible para almacenar la nueva corriente regenerada antes de ser colocada en los relaves finales.

Si es posible, debe elegir un solo colector principal. Hay que tener en cuenta que el 80% de la flota mundial utiliza Xantato Isopropílico de Sodio o Z-11. Z-11, A-125, A-238, Z-11. Recomendamos no usar productos a base de ácido cresílico debido a sus riesgos para la salud y su comportamiento de flotabilidad inestable. Se sabe que el ácido cresílico no siempre tiene el mismo contenido de cresol, fenol y xilenol. Es amorfo y se desconoce su composición.

Investigación y ensayo de mezclas de reactivos auxiliares a escala industrial. Ejemplos: 208/A31, MIBC/A208, A1404/Z11, MIBC/Tionocarbamato.

A238 con Aerofin 3418.

Recuerda que los minerales proporcionados son esenciales. La cola es mayor cuando hay óxidos presentes. Cuando las sales de cobre solubles están presentes en la flotación polimetálica, normalmente hay un mayor desplazamiento de cobre o molibdeno hacia el concentrado de cobre, o viceversa. Es importante pronosticar el valor flotante y la mineralización de ganga diariamente, mensualmente y durante al menos un año.

Un reactivo adecuado para neutralizar las sales solubles de cobre es la cal. Pero la más fuerte y probablemente la más efectiva es la soda cáustica. Pero eso sí, como es habitual, los efectos de las sales solubles de cobre no se pueden controlar. Para mitigar el problema, se debe realizar una combinación o mezcla adecuada de especies minerales para definir bien el tamaño de grano de molienda.

Determinar la granulometría de molienda adecuada y liberar los valores del material no rentable. En la descarga de molienda primaria, este último se muestra con un microscopio opaco. Estas cargas circulantes y paradas de clase están diseñadas para permitir la flotación de partículas minerales valiosas que se liberan rápidamente.

También debe especificar la necesidad de corrección. La espuma de flotación, los desechos de limpieza de molienda o una mezcla de ambos se conocen como mezclas de flotación. La descomposición de la escoria de la etapa inicial de flotación también es crucial. La minería de cobre a gran escala generalmente utiliza métodos de flotación más gruesos para el material triturado. En la etapa de flotación, determine el pH. Si es posible, configure el circuito cerrado y el control automático con lechada de cal. La cal sólida debe hidratarse y la cal viva no debe manipularse por razones de salud y seguridad. Si la cal no es de alta calidad, consume xantatos y a menudo tiene desechos de carbono que desestabilizan su uso. El pH de la cal tiene un límite superior. Tenga en cuenta que, al producir lechada de cal, agregar sosa cáustica en una proporción de peso de 20:1 produce un producto con un mejor control y un consumo relativamente bajo de cal.

Recuperar agua de concentrados y relaves buscando puntos de recirculación ideales en función del contenido iónico y del pH. El proceso de flotación requiere mucha agua, con 4 toneladas de agua por tonelada de mineral. Dado que no siempre se dispone de agua dulce, la reutilización de agua industrial se está convirtiendo en una necesidad minera cada vez más importante. La separación de agua y minerales requiere un floculante adecuado para precipitar los sólidos hasta que el contenido de sólidos en el agua recuperada sea de 20 ppm

o menos. Este concepto es un método práctico para evitar el uso excesivo de reactivos de flotación y recuperar la cantidad de agua posible para su reutilización.

Si el circuito de flotación más grueso recibe más carga que el tiempo de flotación especificado, la capacidad de la etapa de purificación aumenta para aumentar el tiempo de residencia efectivo por celda y evitar que la carga circulante salga de control.

Se debe instalar una celda de columna como limpiador para reducir los insolubles en el concentrado.

Un chorrito de agua bien aplicado en los pasos comunes de limpieza celular también es eficaz como primera parte de los ensayos industriales, aplicando reactivos orgánicos (CMC, dextrina) solos o mezclados con silicato de sodio. Las celdas de columna se utilizan en la refinación por flotación del mineral de cobre para reducir la materia insoluble. Normalmente se prefiere el uso de celdas de rotor/impulsores convencionales con aire ambiente para la purificación de sulfuro de hierro (pirita-pirrotita) en concentrados polimetálicos (Tuteja, Spottiswood 1990).

2.2.9. Impacto del Tipo de Agua en Molienda para la Flotación

Para liberar niveles efectivos de sulfuro metálico, los circuitos de conminución secundaria y clasificación son cruciales. Este ciclo requiere mantener un porcentaje equilibrado de sólidos en el mineral para que funcione correctamente. Por esta razón, al clasificar el aplastamiento, se deben tener en cuenta los siguientes factores: Antes de la trituración, el mineral se tritura en condiciones sustancialmente secas o bajas en humedad.

La trituración y la clasificación son las siguientes etapas de la trituración. Esta etapa requiere 70L de agua para producir lodo que contiene sólidos inorgánicos triturados y descargados, que luego se utilizará como materia prima para la flotación.

La cantidad de mineral fresco que se alimenta al molino en el circuito clasificador de molienda es el control más importante. Para mantener una densidad de pulpa estable, una válvula de agua dirige el agua a la entrada del molino una vez que se controla esta cantidad.

La relación entre el agua y el mineral mencionado en el molino debe ser lo más constante posible para alimentar la pulpa de alimentación del cajón a la bomba de alimentación y al hidrociclón. La densidad generalmente se mide manualmente o automatizadamente para determinar su estabilidad. Si el circuito de molienda está automatizado y la relación entre agua y mineral es correcta, la pérdida de diámetro interior por encalichamiento invalidará el control de la relación entre agua y mineral, lo que resultará en que el circuito de molienda no funcionará. (Will, 1992).

2.2.10. Colector Xantato y pH en el Proceso de Flotación

Los colectores son compuestos químicos orgánicos cuyas moléculas incluyen un grupo polar y un grupo no polar. El grupo polar, ya sea anión o catión, permite que el ion del colector se adsorba a la superficie polar del mineral. En cambio, el grupo no polar, generalmente un hidrocarburo, se orienta hacia la fase acuosa, hidrofugando el mineral. Esta orientación resulta en la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie del mineral. Como resultado, las partículas de mineral, al ser hidrofobadas por esta película de

colector, se adhieren a las burbujas de aire que ascienden, transportando el mineral a la superficie de la pulpa. (Bravo, A. 2004).

El xantato es un colector de flotación tradicional, y aunque hay muchos tipos diferentes de xantato que se utilizan en la minería, es importante saber que, ¿Cuántos xantatos hay disponibles en el mercado de colectores de flotación? 80 plantas que procesan minerales sulfurados por proceso de flotación usando Isopropil Xantato de Sodio o XIS o Z11.

El único xantato que no requiere una pulpa alcalina y funciona eficazmente en todos los rangos de pH es el xantato amílico de potasio XAP o Z6. La alcalinidad debe estar involucrada para que el xantato Z11 funcione eficientemente en la pulpa. Esta alcalinidad favorece la selectividad sobre otros sulfuros de hierro presentes. El uso es generalmente muy agresivo y no muy selectivo. La flotación de xantato generalmente requiere un paso de refinación adicional para eliminar el sulfuro de hierro y obtener un concentrado de zinc de grado comercial. Esta cal que se aplica durante el lavado debe ser muy controlada. Esto requiere un circuito de lechada de cal y dosificación a través de una válvula de manguito eléctrica que responde a un sensor de pH que se encuentra dentro de la celda de flotación. Cómo cuidar la pirita. Si no se controla este sistema, el exceso de cal es perjudicial para la operación y puede aumentar el pH del efluente del sitio de relaves, lo que también puede causar un aumento en el precio. La dosificación de cal es necesaria para lograr un nivel de pH determinado. Los mineros de flotación de xantatos generalmente utilizan 1-2 kilogramos de cal viva por cada tonelada de mineral procesado industrialmente por flotación cuando necesitan cal. El transporte debe ser una prioridad para las plantas de flotación porque el manejo de cal viva siempre es peligroso. La cal se coloca en un cilindro

cerrado o tanque. Este producto se bombea a un silo, donde se trata con agua y cal en un sistema de tratamiento. La temperatura de reacción controla esto. El estiércol tratado se coloca en un tanque de almacenamiento y el agua se bombea para crear un circuito cerrado. En este circuito cerrado, hay un punto para dosificar la lechada de cal en el circuito de flotación de acuerdo con las consideraciones previamente establecidas.

a) **Ley de Concentrado:** La Ley de Concentrado en una planta de beneficio de minerales se refiere a la cantidad de mineral valioso presente en el concentrado producido. Es una medida que describe la concentración de recursos naturales valiosos, como metales o minerales, en el material procesado. La Ley de Concentrado se utiliza para evaluar la calidad del concentrado y su viabilidad económica. Herrera.J.H (2017)

b) **Caracterización Mineralógica:** El estudio detallado de la composición mineral y las propiedades físicas y químicas de los minerales presentes en un material o depósito mineral. Esto permite:

Identificar y cuantificar los minerales presentes, así como sus asociaciones y relaciones texturales.

Para determinar el grado de liberación de los minerales valiosos, es decir, qué proporción se encuentra como partículas libres y qué proporción está asociada a otros minerales.

Identificar los minerales que pueden afectar negativamente al proceso metalúrgico, como aquellos que consumen reactivos o generan contaminantes.

Comprender el comportamiento de los minerales a lo largo del proceso de beneficio, lo cual es fundamental para optimizar la recuperación y calidad del concentrado final.

La recuperación metalúrgica en una planta concentradora de minerales se define como:

La proporción o porcentaje del metal valioso contenido en el mineral de cabeza que se logra recuperar en el concentrado final, para luego pasar por los diferentes procesos de beneficio.

Algunos puntos clave:

- ✓ La recuperación metalúrgica es una medida clave del desempeño y eficiencia de una planta concentradora.
- ✓ Se calcula cómo la relación entre la cantidad de metal valioso en el concentrado y la cantidad de ese metal en el mineral de alimentación (cabeza).
- ✓ Los factores que afectan la recuperación incluyen: la liberación de los minerales valiosos, la selectividad de los reactivos de flotación, los tiempos de retención, el control del circuito, entre otros. Optimizar la recuperación metalúrgica es fundamental para mejorar la viabilidad económica del proceso de beneficio. Técnicas como la caracterización mineralógica, pruebas metalúrgicas a escala piloto y la implementación de sistemas de control avanzados ayudan a incrementar la recuperación.

2.3. Definición de términos básicos

Flotación: La flotación es un proceso clave para la recuperación de zinc en plantas concentradoras. Se realizan pruebas preliminares de flotación para seleccionar las variables que tienen mayor influencia en la recuperación de zinc,

como el tiempo de remolienda y la dosificación de reactivos como el sulfato de cobre.

Optimización del Proceso: Una vez identificadas las variables clave, se realiza un proceso de optimización utilizando diseños experimentales como el diseño hexagonal. Esto permite encontrar los valores óptimos de las variables para maximizar la recuperación de zinc, que puede llegar hasta un 88%.

Pruebas Metalúrgicas: Finalmente, se realizan pruebas metalúrgicas a escala piloto o industrial utilizando los parámetros optimizados, logrando recuperaciones de zinc de hasta 87,7%.

Operación de plantas de concentración: Casi siempre, la operación de plantas de enriquecimiento de minerales requiere un tratamiento previo de los minerales, lo que resulta en la liberación de partículas de ganga valiosas relacionadas. Varios pasos de conminución, flotación, concentración y filtración pueden completar el nivel de liberación requerido para concentrados minerales.

Cálculo de la recuperación: La recuperación de zinc se calcula con una fórmula sencilla que solo requiere los ensayos de zinc en la alimentación, el concentrado y las colas.

$$Recuperación = \frac{(LeyAlimentación - LeyCola) \times 100}{LeyConcentrado - LeyCola}$$

Con una ley de zinc en la alimentación de 1.3%, en las colas de 0.1% y en el concentrado de 38.2%, la recuperación sería del 92.55%

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El tiempo de residencia en la tercera limpieza tiene efecto en la recuperación de zinc en la planta concentradora Huarón.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Con la determinación del tiempo de residencia del mineral en las celdas DR100 y Sub-A 24 se determina la recuperación de zinc en la planta concentradora Huaron.
- b) Con la determinación de la cinética de flotación de la extracción del sulfuro en la II y III limpieza se determina el grado de recuperación de zinc en la planta concentradora Huaron.
- c) Con la determinación del tiempo de residencia del sulfuro en las celdas TC10 y TC5 se determina la recuperación de zinc en la planta concentradora Huaron

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Efecto del tiempo de residencia en la tercera limpieza.

2.5.2. Variable dependiente

Recuperación de Zn

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

| Ítem | Variables | Dimensiones | Indicadores |
|------------|--|--|---------------------------|
| V.I | Efecto del tiempo de residencia en la tercera limpieza | Determinar el tiempo de residencia en celdas DR100 y Sub-A | τ (min), % recup Zn |
| | | Prueba cinética de flotación | % recup, tiempo (min) |
| | | Determinar el tiempo de residencia en celdas TC10 y TC5 | τ (min), % recup Zn. |
| V.D | Recuperación de Zn | Recuperación de Zn | % de recuperación Zn |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estudio de investigación se encuentra en la categoría de investigación en tecnología aplicada (Tamayo, 2003); porque se centra en el uso de conocimientos teóricos y científicos para desarrollar soluciones prácticas y mejorar procesos de la flotación de minerales.

3.2. Nivel de investigación

EL nivel de estudio es explicativo; porque busca entender las causas y efectos dentro del proceso de flotación de minerales. Esto implica no solo describir las variables involucradas, sino también analizar cómo y por qué estas variables influyen en los resultados del proceso. La investigación explicativa se enfoca en establecer relaciones de causa y efecto, proporcionando una comprensión profunda de los mecanismos y principios subyacentes que rigen el fenómeno estudiado.

3.3. Método de investigación

Cauas.D (2015) menciona que, la investigación cuantitativa, es aquella que utiliza preferentemente información cuantitativa o cuantificable (medible).

Se realizará el estudio utilizando el método de investigación científico, hipotético- deductivo.

Revisión de literatura: Estudiar investigaciones previas y teorías relacionadas con la influencia del tiempo de residencia en la recuperación de zinc y cómo podría afectar a otros parámetros en plantas concentradoras.

Definición de parámetros iniciales: Identificar el tiempo de residencia actual en la tercera etapa de limpieza y la recuperación de zinc correspondiente, considerando variables como volumen de celda, tasa de alimentación y la ley del mineral.

Diseño experimental: Establecer un diseño de experimentos que incluya varios tiempos de residencia en la tercera etapa de limpieza. Por ejemplo, implementar tiempos de residencia escalonados (por ejemplo, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 10 y 13 minutos) para evaluar sus efectos en la recuperación de zinc.

Ejecutar pruebas de flotación: Realizar pruebas con las celdas en la tercera etapa de limpieza, registrando la recuperación de zinc para cada tiempo de residencia. Asegurar que las condiciones operativas (como la velocidad de agitación y la dosificación de reactivos) se mantengan constantes para asegurar la validez de los resultados.

Análisis de datos: Evaluar los datos obtenidos para determinar la relación entre el tiempo de residencia y la recuperación de zinc. Utilizar análisis estadísticos para verificar si existe una diferencia significativa entre los distintos tiempos de residencia.

Interpretación de resultados: Identificar el tiempo de residencia óptimo que maximiza la recuperación de zinc, manteniendo un balance entre eficiencia y costos operativos.

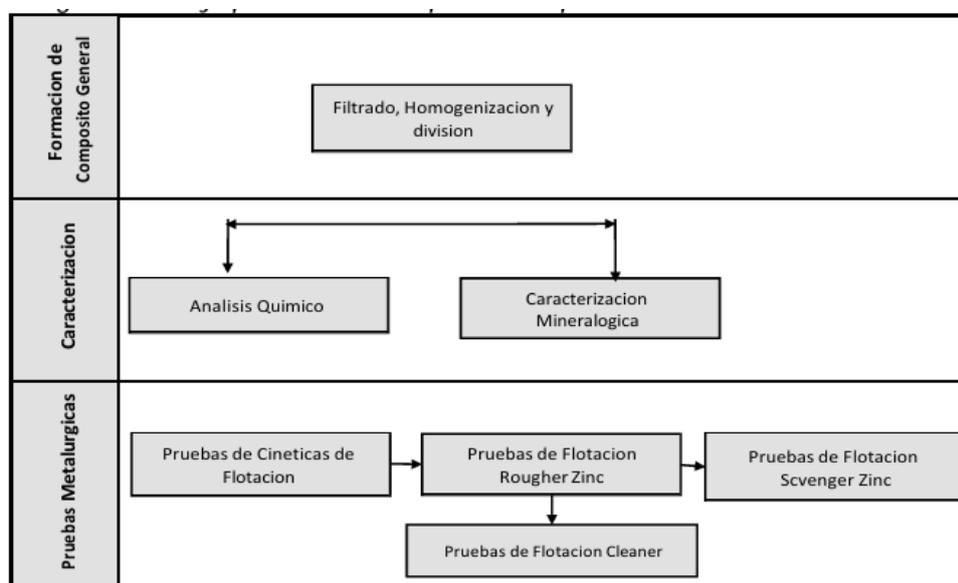
Con base en los resultados, determinar si se confirma la hipótesis y formular recomendaciones para la operación de la planta, orientadas a establecer el tiempo de residencia óptimo en la tercera limpieza.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño del estudio es de enfoque cuantitativo, continuo, longitudinal de tendencia, experimental.

(León, 2002), indica que el objetivo es descubrir las causas de ciertos eventos analizando las relaciones causales existentes, o al menos las circunstancias bajo las cuales ocurren.

Diagrama de flujo para realizar las pruebas experimentales



Fuente: Elaborado por el tesista

3.5. Población y muestra

Tamayo, M. (2012) señala que, la población es la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis que integran

dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto “N”.

3.5.1. Población

La población de estudio está constituida por todos los minerales de zinc provenientes de los yacimientos polimetálicos que abastecen a la planta concentradora Huaron. Estos minerales son extraídos de diversas vetas y áreas geológicas dentro de la región minera, caracterizándose por su composición compleja que incluye zinc, plomo, plata y otros metales asociados.

3.5.2. Muestra

Según el autor (Arias, 2012), una muestra se define como “un subconjunto representativo y finito extraído de la población accesible”.

La muestra está constituido por la cantidad de muestra obtenida en el muestreo aleatorio estratificado, donde se consideraron diferentes horas de muestreo para garantizar la representatividad de los datos.

Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra se determinó considerando la variabilidad esperada en las características del mineral, así como la precisión requerida para los resultados del estudio. Se seleccionó una muestra significativa de 50 kilogramos compositado durante las guardias que permitiera realizar pruebas de flotación en condiciones controladas y reproducibles, asegurando que los resultados obtenidos sean estadísticamente válidos y aplicables a la población de interés.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

“Según (Arias, 2012) las técnicas de recolección de datos son las diversas formas o métodos por los cuales se obtiene la información, y el mismo autor

afirma que las herramientas son medios importantes que se utilizan para recolectar y almacenar datos.

La técnica: Es la observación de instrumentos utilizados de recolección de datos y registro de datos durante el estudio de investigación:

Reporte de Ensaye Químico: Se utilizaron reportes de ensayos químicos para determinar las concentraciones de zinc en las muestras de mineral alimentadas a la planta concentradora. Estos reportes proporcionaron datos precisos y cuantitativos sobre la ley de cabeza del concentrado de zinc en diferentes momentos del proceso.

Hoja de Balance Metalúrgico:

Se empleó una hoja de balance metalúrgico para registrar y analizar los flujos de materiales y metales a lo largo de las etapas de procesamiento en la planta concentradora. Esta herramienta facilitó la evaluación cuantitativa de la eficiencia de recuperación de zinc bajo diferentes condiciones operativas y variaciones en la ley de cabeza.

Procedimiento de Recolección de Datos

Los datos fueron recolectados de manera sistemática durante el período de estudio, asegurando la precisión y consistencia en los registros obtenidos. Se implementaron procedimientos estandarizados para la recolección y manejo de datos, garantizando la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

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

Los instrumentos de recolección de datos fueron validados mediante varios métodos para asegurar su fiabilidad y validez:

Validación por Juicio de Expertos: Los instrumentos, como el reporte de ensaye químico y la hoja de balance metalúrgico, fueron evaluados por

expertos en el campo de la metalurgia y el procesamiento de minerales. Este proceso de validación por juicio de expertos permitió asegurar que los instrumentos capturaran de manera precisa las variables relevantes y proporcionaran resultados confiables para el estudio.

Prueba Industrial: Se llevaron a cabo prueba industrial de los instrumentos antes de la implementación completa del estudio. Estas pruebas permitieron identificar posibles problemas o áreas de mejora en los instrumentos, ajustándolos según sea necesario para optimizar su desempeño y garantizar la consistencia en la recolección de datos.

Confiabilidad de Instrumentos: La confiabilidad de los instrumentos se aseguró mediante la aplicación de procedimientos estandarizados y la capacitación del personal involucrado en la recolección de datos. Se establecieron criterios claros para la aplicación y registro de los instrumentos, minimizando así el error humano y asegurando la coherencia en los datos recolectados a lo largo del estudio.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Después de recopilar datos de varias pruebas metalúrgicas realizadas en el laboratorio, el procesamiento y análisis de datos es esencial para modificar y estudiar las variables dependientes. Los datos se interpretan analizando el causa y efecto de los valores creados en su contra. Utilizaremos herramientas de software y hojas de cálculo Excel.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico utilizaremos la estadística descriptiva e inferencial. El análisis estadístico utilizado en este estudio se centró en demostrar

la relación entre la ley de la cinética de flotación de zinc y la eficiencia de recuperación en la planta concentradora Huaron.

3.10. Orientación ética filosófica y epistemológica

Según Mario Bunge, la adquisición y consolidación de hábitos y actitudes morales, que distinguen entre: independencia de juicio, debe ser la base de la actividad científica. valentía académica.

La investigación respeta los derechos de autor y cita adecuadamente a todos los autores que utilizan ideas y pruebas de laboratorio para realizar un trabajo de investigación adecuado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

Preparativos para el Estudio

Antes de realizar las pruebas experimentales en la planta concentradora Huaron, se llevaron a cabo preparativos detallados para garantizar la eficacia y la precisión del estudio. Estos preparativos incluyeron:

Obtención del Concentrado por Celda:

Se obtuvo una muestra representativa del circuito de zinc directamente de la celda de flotación. Esta muestra inicial fue fundamental para establecer la línea base de la ley de cabeza del concentrado de zinc al inicio del proceso experimental.

Selección y Preparación de Equipos:

Se seleccionaron y prepararon los equipos necesarios para llevar a cabo las pruebas experimentales, incluyendo equipos de medición de ensayos químicos y balanzas de precisión. Se verificó la calibración de estos equipos para garantizar la exactitud de las mediciones durante el estudio.

Planificación del Procedimiento Experimental:

Se desarrolló un plan detallado del procedimiento experimental, que incluyó la programación de pruebas de flotación bajo diferentes condiciones de operación y variaciones en la ley de cabeza del concentrado de zinc. Este plan aseguró la consistencia en la ejecución de las pruebas y la recolección de datos durante todo el estudio.

Implementación del Estudio: Durante la implementación del estudio en el campo, se siguieron los siguientes pasos:

Ejecución de Pruebas de Flotación: Las pruebas de flotación se llevaron a cabo de acuerdo con el plan experimental establecido. Se variaron las concentraciones de ley de cabeza del concentrado de zinc para examinar su efecto en la eficiencia de recuperación de zinc en la planta.

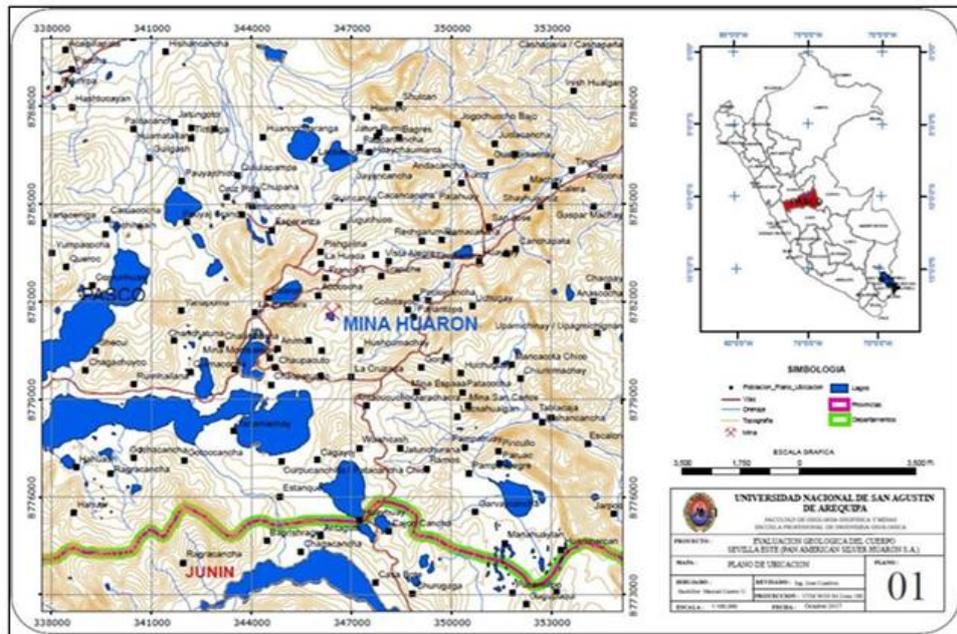
Monitoreo y Registro de Datos: Se monitorearon cuidadosamente los parámetros operativos y se registraron los datos relevantes, incluyendo las concentraciones de zinc en el mineral alimentado y en los concentrados obtenidos. Esto aseguró la captura precisa de la información necesaria para el análisis posterior.

La unidad Minera Huarón se encuentra ubicado en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos.

Políticamente, se encuentra ubicada en el Distrito de Huayllay a 40 km al SW de la ciudad de Cerro de Pasco, Provincia de Pasco, departamento de Pasco, en el Flanco Este de la cordillera Occidental de los Andes, en un área aproximadamente de 15 km cuadrados.

Huarón se encuentra a una altitud aproximada de 4540 m.s.n.m. según el sistema de coordenadas WGS84 se encuentra en la Zona 18 S, Banda L, su posición geográfica y coordenadas UTM son.

Coordenadas UTM- N: 8785498 - E: 346665



Fuente: Mina Huaron

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

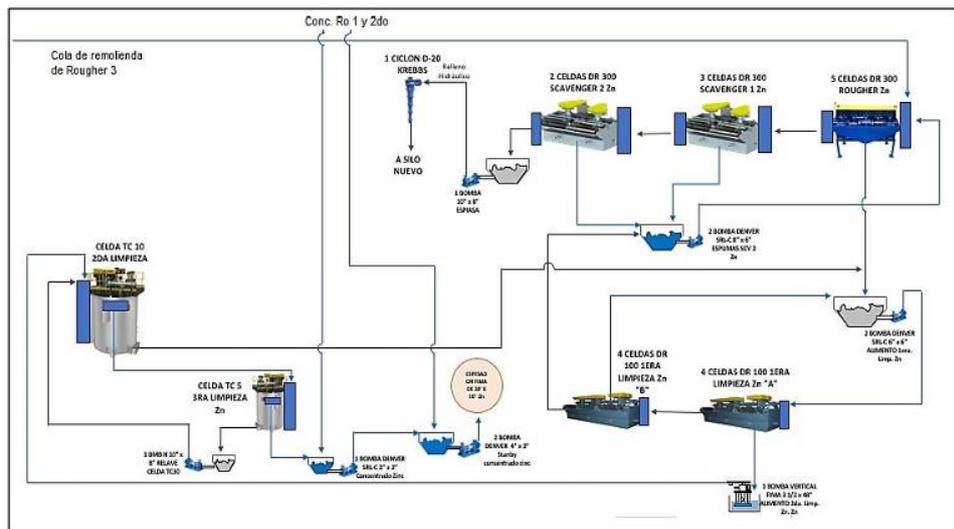
En seguida se presenta las condiciones de operación del circuito de flotación de zinc.

4.2.1. Evaluación de la operación del circuito de limpieza I, II y III

Esta prueba consiste en realizar el muestreo de la ley de cabeza, concentrado y relave provenientes de las celdas DR 300 del tercer circuito rougher de zinc. En estas celdas se trata las colas de las celdas TC30, que se realiza una remolienda en el molino Hardinge de 8' x 3' con la finalidad de reducir el mineral y liberar el sulfuro de zinc.

A continuación, le presentamos el circuito de zinc donde se realiza el muestreo y dosificación de reactivos. Ver figura

Diagrama de flujo del circuito de zinc



Fuente: Elaborado por el tesista

a) Determinación del tiempo de residencia del circuito de limpieza Zn II

Celdas DR 100 : 100 ft³/celda \approx 2,12 m³/celda

Nº de celdas : 2

Caudal (Q) : 81,33 m³/hr.

Determinando el tiempo de residencia

$$\tau = \frac{4.24 \text{ m}^3}{81,33 \text{ m}^3/\text{h}} = 0.052 \text{ h}$$

Convirtiendo el tiempo de residencia a minutos tenemos:

$$\tau = 0.052 \times 60 \text{ min} = 3.12 \text{ min}$$

$$\tau = \mathbf{3.12 \text{ min}}$$

El tiempo de residencia del concentrado de Zn en la I limpieza que ingresa a la II limpieza tarda 3,12 minutos para salir de esta celda como concentrado de zinc II.

b) Determinación del tiempo de residencia del circuito de limpieza

Zn III

Este circuito de III limpieza se realiza en celdas Sub A – 24, que

tiene las siguientes características:

| | |
|-------------------|---|
| Celdas Sub A - 24 | : 50 ft ³ /celda ≈ 0,862 m ³ /celda |
| N° de celdas | 4 |
| Caudal (Q) | : 31,34 m ³ /hr. |

Determinando el tiempo de residencia

$$\tau = \frac{3.44 \text{ m}^3}{31,34 \text{ m}^3/h} = 0,110 \text{ h}$$

Convirtiendo el tiempo de residencia a minutos tenemos:

$$\tau = 0,110 \times 60 \text{ min} = 6,60 \text{ min}$$

$$\tau = 6,60 \text{ min}$$

El tiempo de residencia del fluido de concentrado de Zn de la II limpieza que ingresa a la III limpieza tarda 6,60 minutos para salir de esta celda como concentrado final.

En total, el tiempo de flotación es de 9.6 minutos.

Estos tiempos de residencia en la que ingresa el material a la celda de flotación nos sugieren que es el tiempo en la que se extrae las partículas de sulfuro de zinc como concentrado.

Con el tiempo de residencia determinado de los circuitos de limpieza I, II y III procedemos a muestrear la ley de cabeza de limpieza, concentrado y relave de limpieza en los circuitos mencionados para determinar la calidad de concentrado y recuperación de zinc.

c) Determinación del tiempo de residencia total del circuito de limpieza de zinc.

En la siguiente tabla se presenta el acumulado del tiempo de residencia del material en la celda de flotación del circuito estándar.

Cuadro N° 01: Tiempo de flotación

| circuito limpiezas etapas | Tiempo Flotación Zinc | | | Time min. actual |
|---------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|------------------|
| | Tipo de Celda | N° Celdas | ft ³ Celda | |
| 1° Clnr A | DR - 100 | 4 | 400 | 2.3 |
| 1° Clnr B | DR - 100 | 4 | 400 | 3 |
| 2° Clnr | DR - 100 | 2 | 200 | 3.1 |
| 3° Clnr | Sub A - 24 | 4 | 200 | 6.6 |
| Total | | | | 15.0 |

Fuente: Elaborado por el tesista

El análisis de los tiempos de residencia del sulfuro de zinc en el circuito de limpieza de zinc muestra que los tiempos de flotación de la limpieza son más cortos en las primeras etapas y se incrementan en las etapas posteriores. En la primera etapa, 1° Clnr A y 1° Clnr B, ambas utilizando celdas DR - 100 con un volumen de 400 ft³, los tiempos de residencia de la flotación es 2,3 minutos y 3 minutos respectivamente. En la segunda etapa, 2° Clnr, también con celdas DR - 100 pero de 200 ft³, el tiempo de residencia aumenta a 3.1 minutos.

En la tercera etapa, 3° Clnr, se utilizan celdas Sub A - 24 con el mismo volumen de 200 ft³, y el tiempo de residencia de las partículas de sulfuro de zinc es de 6,6 minutos. En total, el tiempo de flotación actual es de 15 minutos.

En seguida, se presenta los balances metalúrgicos de los circuitos de limpieza para cada etapa del circuito de flotación de limpiezas.

Balance metalúrgico de la primera etapa de limpieza del circuito

IA de zinc

Cuadro N° 02: Balance metalúrgico ETAPA cleaner IA

| ETAPA Cleaner IA | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CI-1A Zn | 76,34 | 233,13 | 0,64 | 0,81 | 12,97 | 18,28 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL-1A Zn | 15,17 | 275,97 | 0,81 | 0,99 | 17,14 | 18,42 | 23,51 | 24,91 | 24,14 | 26,77 | 20,01 |
| Rlve CL-1A Zn | 61,17 | 222,60 | 0,60 | 0,77 | 11,63 | 18,25 | 76,49 | 75,09 | 75,23 | 73,23 | 79,99 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En esta etapa de limpieza 1 Zn, el concentrado Rougher de la celda DR300 ingresa a este circuito que tiene una ley de cabeza de 12,72% y en la flotación el concentrado mejora poco esto debido al desplazamiento del fierro en el concentrado que tiene 18,42%, esto es también debido al corto tiempo de residencia (2,3 min) del sulfuro de zinc en la celda, que no da mayor tiempo para mejorar la calidad del concentrado. Además, observamos que el relave CL - 1 A Zn que tiene una alta ley de 11,63% pasa al circuito de limpieza IB para poder recuperar el zinc en este circuito.

Balance metalúrgico de la primera etapa IB de primera limpieza de zinc.

Cuadro N° 03: Balance metalúrgico ETAPA cleaner IA

| ETAPA Cleaner IB | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CI-1A Zn | 61,20 | 222,60 | 0,60 | 0,77 | 11,63 | 18,25 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL-1B Zn | 20,50 | 376,81 | 1,11 | 1,14 | 23,44 | 20,66 | 56,75 | 61,43 | 49,63 | 67,61 | 37,94 |
| Rlve CL-1B Zn | 40,70 | 144,82 | 0,35 | 0,58 | 5,66 | 17,04 | 43,25 | 38,57 | 50,37 | 32,39 | 62,06 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En la tabla 3 se observa que el relave CL-1 A Zn tiene una ley de cabeza de zinc de 11,63% que ingresa al circuito de flotación de limpieza IB, que actúa como una scavenger de limpieza, en este circuito se tiene un concentrado de 21, 44% teniendo una recuperación de 67,61%, el tiempo de residencia en este circuito es

de 3 min y el relave retorna como alimento al circuito de limpieza Rougher DR 300 con una ley de 5,66%. Los otros elementos metálicos que acompañan a este sulfuro también se incrementan.

Composito del concentrado IA y IB del circuito de limpieza

Cuadro N° 04: Reporte de balance metalúrgico del composito de limpieza

| ETAPA Cleaner I | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Limpieza Zn | 137.506 | 228,487 | 0,626 | 0,794 | 12,23 | 18,27 | 1000,0 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp Limpieza 1 Zn | 35.674 | 333,914 | 0,98 | 1,075 | 20,77 | 19,71 | 37,918 | 40,578 | 35,142 | 44,04 | 27,986 |
| Rlve Limpieza1 Zn | 101.831 | 191,544 | 0,503 | 0,695 | 9,945 | 17,77 | 62,082 | 59,431 | 64,876 | 55,96 | 27,033 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En la tabla 4 se observa que el mineral de cabeza tiene una alta concentración de zinc 12,23% y una significativa cantidad de plata 228.487 g/TM, con niveles menores de cobre 0.626%, plomo 0.794% y hierro 18.27%. En la espuma obtenida, la concentración de zinc aumenta a 20.77% y la de plata también se eleva a 333.9414 g/TM, mientras que los porcentajes de cobre 0.98% y plomo 1.075% son algo mayores que en la cabeza, con el hierro manteniéndose similar 19.71%. El relave de limpieza 1 Zn muestra una disminución en zinc 9.245% y plata 191.5437 g/TM en comparación con la espuma y un contenido de hierro 17.77% similar al de la cabeza.

Balance metalúrgico de la segunda limpieza de zinc

Después de realizar los análisis químicos tanto de ley de cabeza, concentrado y relave se determinó el balance metalúrgico que se presenta en la tabla 5.

Cuadro N° 05: Balance metalúrgico ETAPA cleaner II

| ETAPA Cleaner I | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CL 2 Zn | 25,20 | 296,83 | 0,80 | 1,02 | 15,43 | 20,26 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL 2 Zn | 13,20 | 350,27 | 0,97 | 1,14 | 19,39 | 20,15 | 61,66 | 63,58 | 58,41 | 65,77 | 52,00 |
| Rlve CL2 Zn | 12,00 | 238,94 | 0,61 | 0,89 | 11,08 | 20,41 | 38,34 | 36,42 | 41,59 | 34,23 | 48,00 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En esta etapa de limpieza 2 Zn, la cabeza general CL-2 Zn tiene una concentración de zinc del 15,43% y plata de 296,83 g/TM, con niveles de cobre 0,8% y plomo 1,02% moderados, y hierro 20,26% relativamente alto. En la espuma CL-2 Zn, mejora la calidad del concentrado de zinc aumentando a 19,39% y la plata también se incrementa a 350.27 g/TM. En este circuito el tiempo de residencia de 3,1 minuto mejora la recuperación de zinc en 65,77%. El relave CL-2 Zn presenta una reducción en zinc 11,08% y plata 238,94 g/TM, con menores concentraciones de cobre 0,61% y plomo 0,89% y un contenido de hierro 20,41% comparable al de la cabeza.

Balance metalúrgico de la tercera limpieza de zinc

Después de realizar los análisis químicos tanto de ley de cabeza, concentrado y relave se determinó el balance metalúrgico que se presenta en la tabla 6.

Cuadro N° 06: Balance metalúrgico ETAPA cleaner III

| ETAPA Cleaner III | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CL 3 Zn | 13,20 | 350,27 | 0,97 | 1,14 | 19,39 | 20,15 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL 3 Zn | 3,20 | 422,39 | 1,58 | 1,38 | 40,13 | 10,56 | 28,94 | 38,78 | 29,00 | 49,77 | 12,67 |
| Rlve CL3 Zn | 10,00 | 328,48 | 0,79 | 1,07 | 12,83 | 23,05 | 71,06 | 61,22 | 71,00 | 50,23 | 87,33 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En la tabla 7 se observa que la cabeza general CL-3 Zn presenta una alta concentración de zinc del 19,39% y plata de 350,27 g/TM, con

niveles moderados de cobre 0,97% y plomo 1,14% y un contenido de hierro 20,15% algo elevado. La espuma CL-3 Zn muestra una notable mejora en la concentración de zinc al 40,13% y plata a 422,39 g/TM para un tiempo de residencia del material de 6,6 minutos, también, el contenido de cobre aumenta a 1,58% y plomo 1,38%, con una reducción en el hierro 10.56%. En contraste, el relave CL-3 Zn exhibe una disminución en zinc 12,83% y plata 328,48 g/TM, con menores porcentajes de cobre 0,79% y plomo 1,07% y un contenido de hierro 23,05% que es más alto que en la cabeza.

En general en el circuito de limpieza I, II y III se logra una máxima recuperación de zinc de 49,77%, con una calidad de concentrado de 40,13% que al final se envía a los espesadores de Zn como concentrado final combinándose con los concentrados de las celdas TC30. El tiempo de residencia total del concentrado en los tres circuitos de limpiezas es de 15 minutos.

Para mejorar la calidad del concentrado a partir de la segunda limpieza (Cleaner II) se realizó prueba de cinética de flotación a nivel de laboratorio y determinar el tiempo de residencia adecuado para este circuito y de igual manera se realiza cinética de flotación para el circuito de la tercera limpieza, para poder mantener las celdas o proponer el cambio por el reducido volumen de estas celdas.

4.2.2. Prueba de Cinética De Flotación

En seguida se presenta las pruebas de flotación.

Cinética de la 3ra limpieza de zinc

Para mejorar la calidad del concentrado en la tercera limpieza se realiza pruebas de flotación batch, primero, determinando la cinética de flotación para determinar el tiempo óptimo de recuperación y calidad del concentrado. En esta prueba a nivel de laboratorio se ejecuta el experimento con el concentrado de la segunda limpieza que es el material alimentado a la celda de tercera limpieza.

Condiciones de operación

Acondicionamiento : 2 min

pH : 11

MIBC : 12 g/T

Realizado el acondicionamiento y dosificación de reactivos del concentrado rougher 2do se procedió a realizar las flotaciones para los tiempos determinados. Ver tabla 7.

Cuadro N° 07: Ensayes Químicos Concentrado 3ra

| Tiempo | Producto | % Peso | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|--------|--------------|--------|---------|------|------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| 0.5 | Espuma 1 Zn | 5,69 | 324,03 | 1,41 | 1,97 | 43,03 | 9,90 | 5,67 | 6,82 | 5,58 | 12,52 | 2,56 |
| 1 | Espuma 2 Zn | 9,33 | 352,87 | 1,42 | 2,16 | 38,42 | 12,84 | 10,13 | 11,27 | 10,03 | 18,33 | 5,45 |
| 2 | Espuma 3 Zn | 15,93 | 350,77 | 1,40 | 2,26 | 30,66 | 16,82 | 17,21 | 18,99 | 17,94 | 24,99 | 12,19 |
| 3 | Espuma 4 Zn | 13,46 | 358,99 | 1,31 | 2,37 | 23,47 | 22,00 | 14,88 | 15,01 | 15,89 | 16,17 | 13,48 |
| 5 | Espuma 5 Zn | 11,20 | 352,17 | 1,23 | 2,39 | 17,11 | 25,72 | 12,14 | 11,72 | 13,33 | 9,80 | 13,11 |
| 7 | Espuma 6 Zn | 7,07 | 339,97 | 1,18 | 2,30 | 12,18 | 26,97 | 7,40 | 7,10 | 8,10 | 4,40 | 8,67 |
| 10 | Espuma 7 Zn | 1,47 | 356,01 | 1,19 | 2,29 | 9,05 | 28,23 | 1,61 | 1,49 | 1,68 | 0,68 | 1,89 |
| 13 | Espuma 8 Zn | 2,26 | 351,89 | 1,27 | 2,10 | 8,56 | 27,74 | 2,43 | 2,43 | 2,35 | 0,98 | 2,83 |
| | Relave Final | 33,61 | 275,84 | 0,88 | 1,50 | 7,05 | 26,04 | 28,54 | 25,17 | 25,11 | 12,12 | 39,82 |
| | Cab. Cal. | 100 | 324,87 | 1,17 | 2,01 | 19,55 | 21,98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Elaborado por el tesista

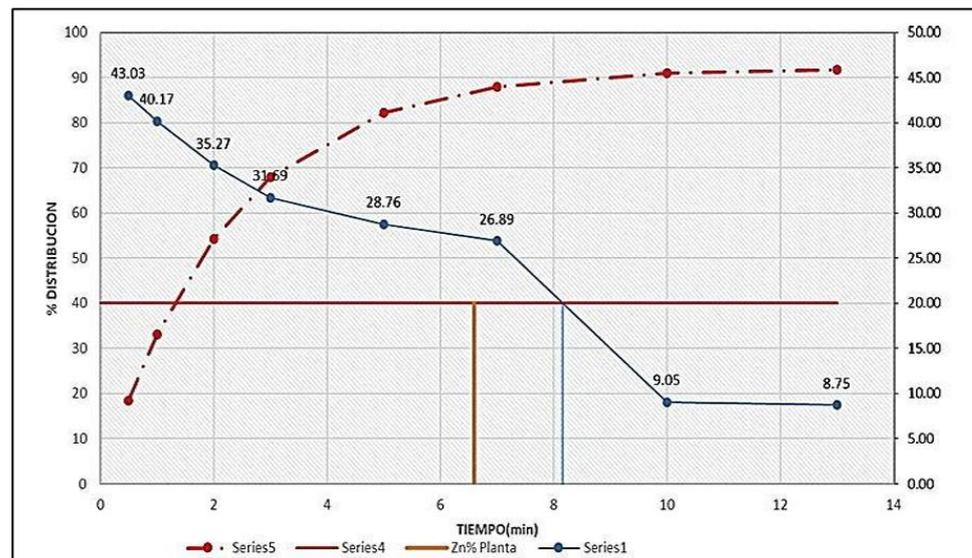
Como se observa en la tabla 7 en el primer minuto se tiene un concentrado de 43,03% de zinc, pero a medida que se incrementa el tiempo de flotación la calidad del concentrado va bajando desde el minuto 2, es así que, en este tiempo la calidad del concentrado desciende a 38,42% y la recuperación se incrementa de 12,52% a 18,33%. Así mismo, la recuperación de plata se incrementa de

324,03 g/T desde el primer minuto hasta el minuto siete, donde se tiene una máxima recuperación de plata se 356,01 g/T; Al observar la tabla podemos afirmar que la plata se encuentra en la galena por la afinidad que tienen.

En el minuto 13, la calidad el concentrado es bajo 8,56% de zinc y tiene una recuperación de 0,98%, agotándose el sulfuro de zinc. Al final el relave total nos arroja 7,05% que retorna a la según da limpieza.

En seguida le presentamos en la figura 4 la cinética de flotación de la prueba metalúrgica.

Cinética de Flotación 3° Cl Zn



Fuente: Elaborado por el tesista

De las pruebas de cinética de flotación se determina para el punto crítico de recuperación de zinc de 40% tenemos un tiempo de residencia de 8,15 min, que es un tiempo mayor que el que se tiene en el circuito de flotación; sin embargo, en la simulación de planta con el escalamiento de laboratorio a planta se utiliza un factor es escalamiento de 1,15, determinándose un tiempo de 9,4 minutos a nivel de planta.

Para este tiempo de retención se necesita incrementar la capacidad de las celdas a 5 m3, ya que las celdas actuales que tenemos solo soportan máximo 4,45 m3.

4.2.3. Cinética de la 2da limpieza de zinc tiempo de flotación

De igual manera, esta prueba se trabaja con el concentrado de la primera limpieza IA y IB.

Condiciones de operación:

| | |
|-------------------|-----------|
| Acondicionamiento | : 2 min |
| Cal | : 300 g/T |
| pH | : 11.60 |
| MIBC | : 12 g/T |

Cuadro N° 08: Ensayes Químicos Concentrado 2da

| Tiempo | Producto | % Peso | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|--------|--------------|--------|---------|------|------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| 0.5 | Espuma 1 Zn | 4,60 | 334,79 | 1,36 | 2,72 | 42,30 | 13,55 | 6,10 | 7,51 | 8,46 | 17,84 | 2,06 |
| 1 | Espuma 2 Zn | 10,05 | 345,32 | 1,37 | 2,86 | 31,27 | 19,54 | 13,74 | 16,51 | 19,44 | 28,81 | 6,48 |
| 2 | Espuma 3 Zn | 12,49 | 326,47 | 1,28 | 1,93 | 19,51 | 25,25 | 16,15 | 19,18 | 16,31 | 22,34 | 10,41 |
| 3 | Espuma 4 Zn | 10,01 | 298,29 | 1,09 | 1,78 | 10,82 | 30,43 | 11,92 | 13,20 | 12,16 | 10,02 | 10,14 |
| 5 | Espuma 5 Zn | 16,37 | 275,30 | 0,93 | 1,32 | 6,26 | 32,75 | 17,85 | 18,26 | 14,62 | 9,40 | 17,69 |
| 7 | Espuma 6 Zn | 8,72 | 249,90 | 0,76 | 1,19 | 3,44 | 31,70 | 8,63 | 7,95 | 7,02 | 2,75 | 9,12 |
| 10 | Espuma 7 Zn | 6,04 | 234,31 | 0,75 | 1,29 | 3,11 | 31,49 | 5,60 | 5,43 | 5,27 | 1,72 | 6,28 |
| 13 | Espuma 8 Zn | 2,77 | 231,54 | 0,68 | 1,11 | 2,81 | 32,06 | 2,54 | 2,26 | 2,08 | 0,71 | 2,93 |
| | Relave Final | 28,86 | 152,87 | 0,28 | 0,75 | 2,42 | 36,63 | 17,47 | 9,70 | 14,64 | 6,40 | 34,89 |
| | Cab. Cal. | 100,00 | 252,54 | 0,83 | 1,48 | 10,91 | 30,30 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

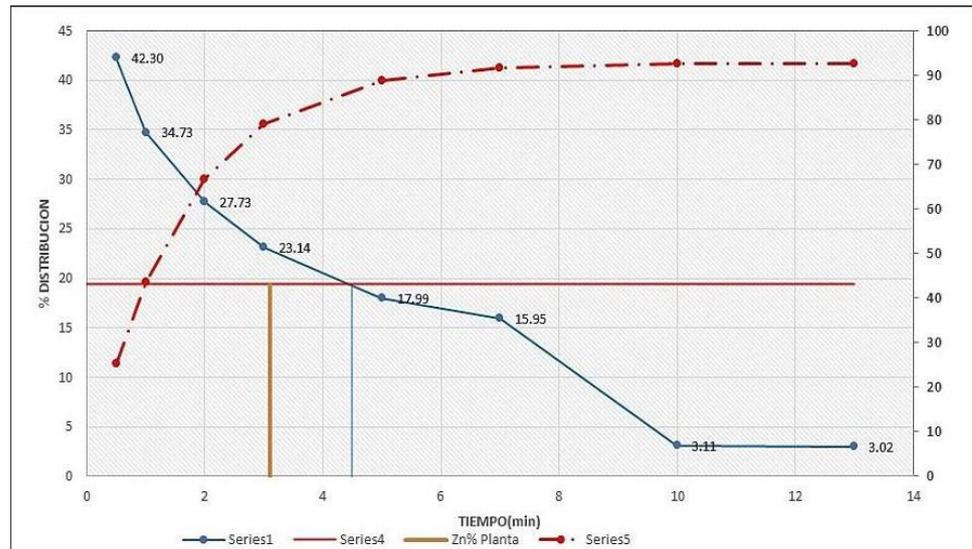
Fuente: Elaborado por el tesista

Como se observa en la tabla 8 desde el inicio de la flotación en el 0,5 minuto se tiene un concentrado de 42,30% de zinc, pero a medida que va incrementando el tiempo de flotación la calidad del concentrado va bajando desde el minuto 2 en este tiempo la calidad del concentrado desciende a 31,27% y la recuperación se incrementa de 17,84% a 22,34%. Así mismo, la recuperación de plata se incrementa de 334,79 g/T desde el 0,5 minuto hasta el minuto uno, donde se tiene una máxima recuperación de plata de 345,32 g/T; y a partir de este minuto

la plata comienza a descender hasta 231,54 g/T, siendo la recuperación de 0,71%. De igual manera el plomo desciende.

En seguida se presenta en la figura 5, la cinética de flotación de la segunda limpieza.

Cinética de Flotación 2° Cl Zn



Fuente: Elaborado por el tesista

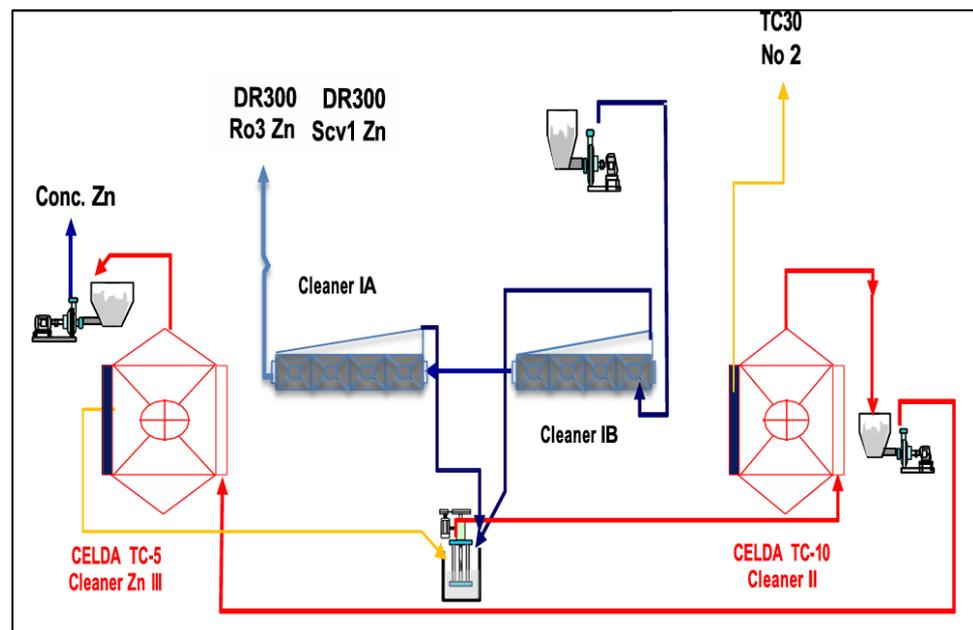
En la figura 4 observamos que la cinética de recuperación es 4,15 minutos, para un punto crítico de recuperación de 20%. Este tiempo de residencia es mayor que se tiene en el circuito actual de limpieza (3,1 min).

Del análisis de los tiempos de residencia del circuito de limpieza II y tercera limpieza se llega a una conclusión que se debe de cambiar las celdas por celdas de mayor capacidad, para el tiempo de residencia determinado, debido a que las celdas anteriores no ayudan a mejorar la calidad del concentrado y tampoco a las recuperaciones.

4.2.4. Reducción del tiempo de residencia mediante el cambio de celdas del circuito de limpieza II y III

Para mejorar la calidad del concentrado y relave se cambiaron las celdas de la segunda limpieza y tercera limpieza por celdas de TC10 de 10 m³ y celdas de TC5 de 5 m³ respectivamente. A continuación, les presentamos el circuito de limpieza con celdas TC10 y TC5 cambiadas en la figura 5.

Diagrama de flujo con celdas TC10 y TC5



Nota. Elaborado por el tesista

Determinación del tiempo de residencia para las celdas TC10 y TC5

Celda TC10 2da Limpieza

Volumen : 10 m³

Volumen útil (75%) : 7,5 m³

Caudal (Q) : 81,33 m³/hr

$$\tau = \frac{7.56 \text{ m}^3}{81,33 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,093 \text{ hr}$$

$$\tau = 0,093 \text{ hr} \times 60 \text{ min} = 5,58 \text{ min}$$

$$\tau = 5,58 \text{ min}$$

Celda TC5 3ra limpieza

Volumen : 5 m³

Volumen útil : 3,75

Caudal (Q) : 31,34 m³/hr

$$\tau = \frac{3,75 \text{ m}^3}{31,34 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,1196 \text{ hr}$$

$$\tau = 0,1196 \text{ hr} \times 60 \text{ min} = 7,17 \text{ min}$$

$$\tau = 7,17 \text{ min}$$

Tiempo de residencia del circuito de limpieza zinc

Cuadro N° 09: Circuito Zinc actual.

| CIRCUITO DE LIMPIEZA CON CELDA TC | | | | | | |
|-----------------------------------|--|----------------|----------|--------------------------|----------------------|--------------|
| ETAPA | Tiempo de Flotación Limpieza Zinc II-III | | | | | Tiempo (min) |
| | Tipo de Celda | m ³ | N° Celda | Caudal m ³ /h | m ³ Celda | |
| Cleaner Zn II | TC-10 | 10 | 1 | 81,33 | 10 | 5,6 |
| Cleaner Zn III | TC-5 | 5 | 1 | 31,34 | 5 | 7,2 |
| Total | | | | | 15 | 12,7 |

Fuente: Elaborado por el tesista

Balance metalúrgico del circuito de limpieza II

Después del cambio de celdas, del circuito de limpieza II y III se tomó muestras de la operación para ver el resultado metalúrgico, de igual manera se tomó muestras de ley de cabeza, concentrado y relave, que a continuación se presenta los balances metalúrgicos.

Cuadro N° 10: Ensayes Químicos 2da limpieza de Zn

| ETAPA Cleaner II | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CL-2 Zn | 25,17 | 297,19 | 80 | 1,02 | 16,97 | 20,27 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Esp CL-2 Zn | 13,17 | 362,26 | 0,97 | 1,14 | 22,91 | 20,15 | 63,77 | 63,58 | 58,41 | 70,64 | 52,0 |
| Rlve CL- Zn | 12,00 | 225,79 | 0,61 | 0,89 | 10,45 | 20,41 | 36,23 | 36,42 | 41,59 | 29,36 | 48,0 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En la etapa de limpieza 2 Zn, la cabeza general CL-2 Zn tiene una concentración de zinc del 16,97% y plata de 297,19 g/TM, con niveles de cobre 0,80% y plomo 1,02% moderados y hierro 20,27% algo alto. La espuma CL-2 Zn muestra una mejora en la concentración de zinc, alcanzando el 22,91%, y un incremento en la plata a 362,26 g/TM, con un aumento en el cobre 0,97% y plomo 1,14%, mientras que el hierro se mantiene similar 20,15%. En el relave CL-2 Zn, la concentración de zinc disminuye a 10,45% y la plata a 225,79 g/TM, con menores porcentajes de cobre 0,61% y plomo 0,89% y un hierro 20,41% ligeramente superior al de la cabeza.

Balance metalúrgico del circuito de limpieza II

El muestreo se realizó en por cinco días en la primera guardia durante 4 horas. En seguida se presenta el balance metalúrgico de la recuperación de zinc operando con las celdas TC10 y TC5.

Cuadro N° 11: Balance de Circuitos 3ra Limpieza de Zn

| ETAPA Cleaner II | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cabeza Zinc | 127,3 | 40,75 | 0,11 | 0,14 | 2,49 | 11,54 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Conc Final | 6,10 | 344,07 | 0,97 | 0,99 | 49,51 | 9,03 | 39,95 | 66,05 | 33,09 | 88,31 | 3,74 |
| Rlve Final Zn | 121,0 | 26,23 | 0,04 | 0,10 | 0,33 | 11,77 | 60,89 | 33,95 | 66,91 | 11,69 | 96,26 |

Fuente: Elaborado por el tesista

En el balance en la celda TC5 para el tratamiento de zinc, la cabeza de zinc tiene una concentración de zinc 2,49% y plata 40,75 g/TM, con niveles

mínimos de cobre 0,11% y plomo 0,14% y un contenido de hierro 11,64%. La concentración final presenta una notable mejora, con un zinc elevado al 49,51% y plata a 344,07 g/TM, además de un incremento en el cobre 1,55% y una ligera reducción en el hierro 9,03%. El relave final muestra una disminución significativa en zinc 0,33% y plata 26,23 g/TM, con muy bajos niveles de cobre 0,04% y plomo 0,10% y un contenido de hierro 11,77% comparable al de la cabeza, indicando que la mayoría del zinc y la plata se han concentrado en el producto final mientras que el relave contiene bajas concentraciones de estos elementos.

Las recuperaciones se presentan en la siguiente tabla una vez estabilizadas las operaciones en la tercera limpieza.

Cuadro N° 12: Ensaye químico por guardia de operación

| Muestreo | Guardia | Concentrado Zn (%) | Recuperación Zn (%) |
|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 23/05/2024 | 1 Gdia | 46,83 | 87,25 |
| 24/05/2024 | 2 Gdia | 45,01 | 88,02 |
| 25/05/2024 | 1 Gdia | 48,89 | 88,23 |
| 26/05/2024 | 2 Gdia | 47,92 | 87,10 |
| 27/05/2024 | 1 Gdia | 49,78 | 88,15 |

Fuente: Datos reportados de laboratorio

Como se observa en la tabla las recuperaciones se mantienen de 87.10% a 88,15% en la que el tiempo de residencia de la recuperación de zinc incremento a 12,7 minutos, con una buena calidad del concentrado que se mantiene entre 45% a 50% de zinc.

4.2.5. Características mineralógicas del concentrado final

Con el concentrado obtenido de zinc obtenido del muestreo se realizaron los estudios de microscopia óptica, para lo cual la muestra flotada fue deslamada

a malla +400, secada, homogenizada, pesada en 15 gramos para la elaboración de las briquetas para el posterior pulido y estudio de microscopía.

De acuerdo al estudio de la microscopía óptica, el concentrado final tiene una calidad de 45%, lo cual está dentro de los límites comerciales.

En seguida, se presenta en la figura 7 la vista de microscopía del concentrado de Zn a malla +400.

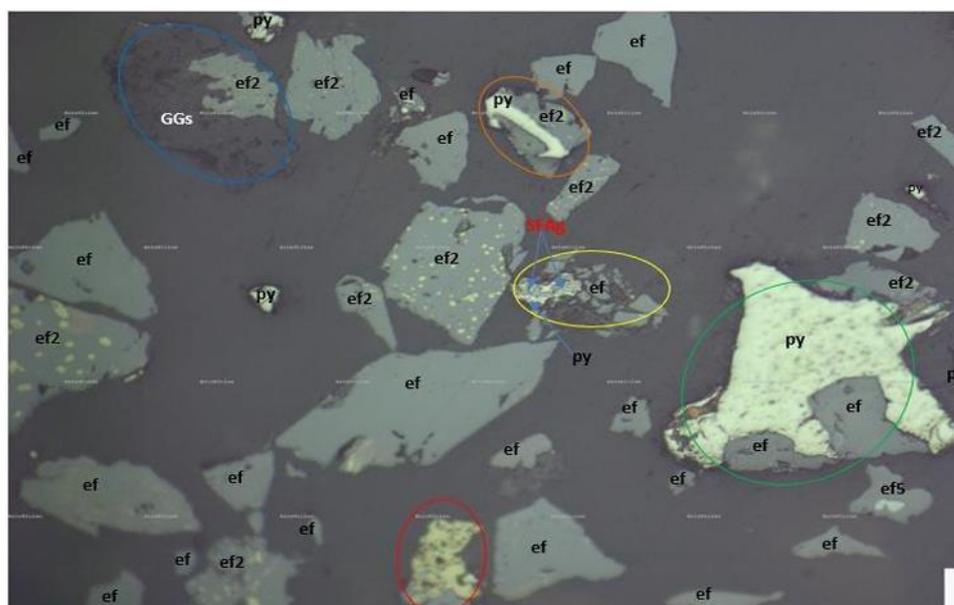
Concentrado Zn malla +400



Fuente: Elaborado por el tesista

En la figura, el área verde presenta partículas mixtas de esfalerita y pirita (ef/py), mientras que el área amarilla muestra partículas mixtas de esfalerita tipo 2, sulfosal de plata y ganga (ef2/SFAg/GGs). Además, se observan partículas libres de esfalerita (ef), esfalerita tipo 2 con inclusiones de calcopirita (ef2), esfalerita tipo 5 con inclusiones de sulfosales de plata (ef5), cobre gris con inclusiones de calcopirita (cp...SFAg), y pirita (py), completando así la vista mineralógica de la imagen.

Concentrado Zinc malla +400



Fuente: Elaborado por el tesista

La figura 8 muestra diversas partículas minerales distribuidas en áreas de colores específicos: en el área naranja, se encuentran partículas mixtas de esfalerita tipo 2 y pirita (ef2/py); en el área verde, partículas mixtas de esfalerita y pirita (ef/py); en el área azul, partículas mixtas de esfalerita tipo 2 y ganga (ef2/GGs); en el área amarilla, partículas mixtas de sulfosal de plata, esfalerita y pirita (SFAG/ef/py); y en el área roja, partículas mixtas de calcopirita y cobre gris (cp/CuGrs). Además, la imagen muestra partículas libres de esfalerita (ef), esfalerita tipo 2 (ef2), esfalerita tipo 5 (ef5) y pirita (py).

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis Ho

El tiempo de residencia en la tercera limpieza no tiene efecto en la recuperación de zinc en la planta concentradora Huaron.

Hipótesis Ha

El tiempo de residencia en la tercera limpieza tiene efecto en la recuperación de zinc en la planta concentradora Huaron.

Para la demostración de la hipótesis general, se tomó en cuenta la recuperación de zinc en el circuito de la III limpieza que tiene un tiempo de residencia de 6,6 minutos, siendo la recuperación promedio de 49,77%. En seguida se formula la hipótesis:

$$H_0: \mu = 49,77$$

$$H_a: \mu > 49,77$$

Significancia

$$\alpha = 0,05$$

Estadístico de prueba

$$n = 5$$

$$\bar{Y} = 87,75$$

$$S = 0,533$$

$$t_c = \frac{87,75 - 49,77}{\frac{0,533}{\sqrt{5}}} = 159,33$$

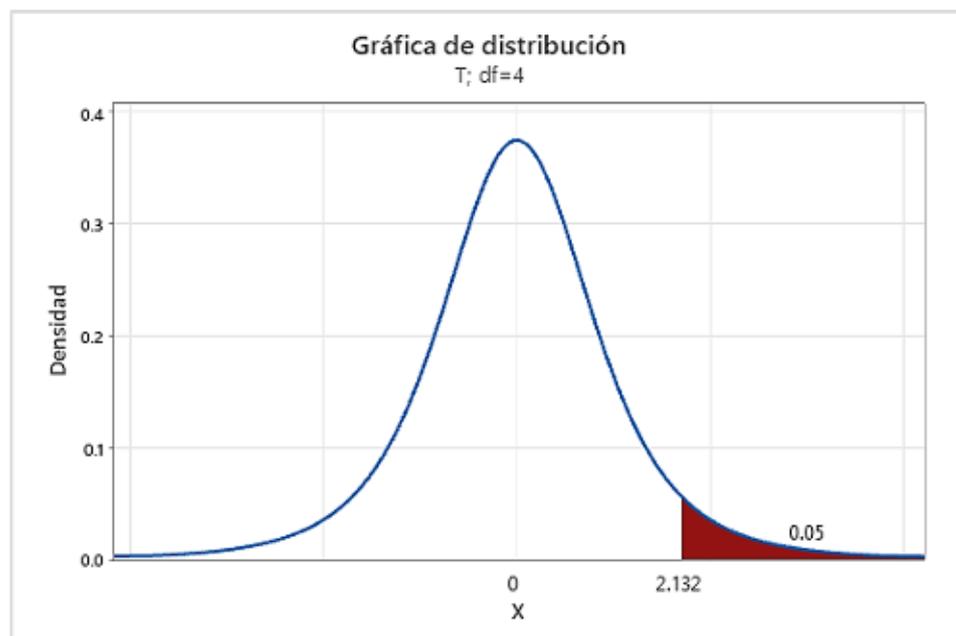
$$t_{(4,0,05)} = 2,13$$

Valor de decisión

Si $t_c > t_{tablas}$ (se rechaza la hipótesis nula)

$$t_c = 159,33 > t_t = 2,13$$

Concentrado Zinc malla +400



Como 159,33 es mayor que 2,132 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Conclusión

El tiempo de residencia en la tercera limpieza influye en la recuperación de zinc de la empresa minera Huaron, con un nivel de significancia del 95%.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos demuestran que el tiempo de residencia del mineral en la celda de flotación de la tercera limpieza influye en la calidad y recuperación de zinc que se demostró estadísticamente en la que se obtuvo un student calculado mayor que el t student crítico ($159,33 > 2,13$). Este resultado es coherente con lo señalado por Gamarra (2019), quien demostró que la extensión del tiempo de flotación puede mejorar significativamente la recuperación de minerales sulfurados, favoreciendo la separación efectiva de la ganga.

De la evaluación de la operación estándar del circuito de flotación de limpieza I, II y III se determinó que el circuito IA y IB tienen un tiempo de

residencia de 2,3 minutos y 3 minutos, teniendo recuperaciones de 26,77% y 67,61% que no son satisfactorios, y en el composito se tiene una recuperación promedio de 44,04% con un concentrado de 20,77% para una ley de cabeza de 12,23%. En la II limpieza (DR100) el tiempo de residencia del mineral proveniente la primera limpieza es de 3,1 minuto que produce un concentrado de 19,39% con una recuperación de 65,77%, en la que se observa, el concentrado disminuye de calidad en relación con lo que ingresa (20,77%) para su limpieza; en esta celda se tiene problemas que no está trabajando bien, esto debido a que se recarga de flujo masico que no da el tiempo necesario y la altura de la espuma para mejorar la calidad del concentrado y por ende en la recuperación de zinc. En las celdas Sub- A 24 de la tercera limpieza, también se realizó una evaluación del tiempo de residencia que tiene 6,6 minuto, que produce un concentrado de 40,13% con una recuperación de 49,77%. De igual manera se aprecia que la calidad del concentrado de zinc en este caso mejoro de 20,77% a 40,77% y la recuperación desciende en 16%, esto se debe posiblemente al desplazamiento de fierro en el concentrado que tiene 10,56% Fe. El tiempo total de flotación es 9,7 min (II+III).

De las pruebas de cinética de flotación a nivel de laboratorio se determinó que el tiempo de residencia es de 8,15 minuto para la III limpieza para un punto crítico de concentrado de 40%, que es un tiempo mayor con la que se viene trabajando en el circuito de limpieza III; de igual manera, se determinó el tiempo de residencia de la II limpieza a nivel de laboratorio que es 4,15 minutos para un punto crítico de concentrado de 20%, comparando con el tiempo de residencia del circuito de limpieza II es mayor en 1,05 minutos.

Con los datos obtenidos producto de la evaluación de los circuitos de limpieza II y III, se propuso la implementación con nuevas celdas de mayor capacidad, en la que se escaló el tiempo de residencia de 4,15 min a 5,58 min por el factor de escalamiento de 1,34; de igual manera se escaló el tiempo de residencia de 8,15 min a 7,170 min por el factor de escalamiento 0,88 con estos datos se determinó la capacidad de las celdas y se instaló celdas TC10 y TC5 con 10 m³ y 5 m³ respectivamente. El tiempo de retención en estas dos celdas se incrementó a 12,8 minutos incrementándose la calidad del concentrado a 49,15% y la recuperación a 88,31%. Gamarra (2019) también argumenta que un mayor tiempo de residencia permite una mejor interacción entre las partículas de mineral y los reactivos de flotación. Según Cortez (2017), el aumento del tiempo de flotación no siempre conlleva mejoras significativas y puede generar costos operativos más elevados.

CONCLUSIONES

1. El tiempo de residencia de las partículas del mineral de sulfuro de zinc tienen influencia en la recuperación de zinc, donde el tiempo de residencia para la extracción del sulfuro de zinc de la II limpieza y III limpieza tienen 9,7 minutos totales y con la implementación de las celdas TC se incrementaron el tiempo de residencia a 12,8 minutos obteniéndose mejores concentrados y recuperaciones.
2. El tiempo de residencia de las celdas DR 100 y Sub A 24 es 3,1 minuto para un caudal de ingreso de 81,33 m³/h y 6,6 minutos para un caudal de 31,34 m³/h, siendo las recuperaciones de 65,77% de zinc y con un grado de 19,39% de concentrado, de igual manera, en la tercera limpieza se tiene una recuperación de 49,77% y el concentrado tiene 40,13% de zinc, haciendo un total de 9,7 minutos (Tiempo de residencia II + tiempo de residencia III).
3. La cinética de flotación determinado a nivel de laboratorio es 4,15 minutos para el punto crítico de 20% de recuperación en la segunda limpieza. Y el tiempo de residencia para la tercera limpieza es de 8,15 minutos para el punto crítico de 40% de recuperación de zinc
4. El tiempo de residencia de las celdas implementadas TC10 y TC5 son: 5,6 minuto y 7,2 minutos respectivamente, obteniéndose 70,64% de recuperación de zinc con un concentrado de 22,91% en las celdas de 10 m³; de la misma manera tenemos una recuperación de 88,31% de zinc con un concentrado de 49,51% en las celdas TC5 de 5 m³.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar pruebas controladas para determinar el tiempo de residencia óptimo en la tercera limpieza. Esto permitirá maximizar la recuperación de zinc al equilibrar el tiempo suficiente para una separación efectiva de los minerales valiosos, minimizando a su vez las pérdidas por arrastre.
2. Se recomienda controlar las variaciones en la ley de cabeza, ya que una mayor ley de cabeza incrementa la carga de zinc y mejora la recuperación en la tercera limpieza. No obstante, un exceso puede sobrecargar el sistema, reduciendo la eficiencia de separación y aumentando las pérdidas de zinc en los residuos.
3. Se recomienda realizar una caracterización mineralógica detallada que analice fases minerales, tamaño de partículas y asociaciones más importantes. Esta información permitirá mejorar parámetros como molienda y flotación, mejorando la liberación y recuperación de zinc en el proceso de la planta concentradora.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica. Caracas - Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A.
- Cortez M. (2019), tesis “Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía Minera Volcan S.A.A.- 2019”
- Astucuri, V. (1981). Fundamentos y Aplicaciones Principales de la Flotación de Minerales . Lima - Perú: Colección Ciencias.
- George, Stuart, & William. (2005). Estadística para Investigadores diseño, innovación y descubrimiento. México: Reveté.
- Greys Liliana Valenzuela; Cesar Augusto Buendís . (2020). Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma 2007. Huancayo.
- Gutiérrez, H., & Vara, R. d. (2012). Análisis y Diseño de Experimentos. México: McGraw- Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación (Quinta ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.
- León, M. E. (2002). Técnicas de Investigación Cualitativa y Cuantitativa FAD UAEMex. Mexico.
- Maldonado Gamarra, H. E. (2019). “Flotación Bulk de Minerales Sulfurado de Plomo– Zinc Refractarios de Bajo Grado en la Planta Concentradora de Huari de la UNCP”. Huancayo - Junin - Perú: Repositorio Universidad Nacional Centro del Perú.
- Marcelo Cortez, C. (2019). Flotación de zinc sin el uso de cal para la recuperación de concentrado de zinc, en la Unidad de Producción Andaychagua - Compañía

- Minera Volcan S.A.A.- 2019. Cerro de Pasco, Pasco - Peru: Repositorio Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Novoa Delgado, G. I., & Vargas Espinoza, L. A. (2013). Variable y Propiedades que influyen en el proceso de flotación. Antofagasta - Chile: Universidad Católica del Norte.
- Paucar, A. I. (2020). Optimización en la Recuperación de zinc de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación en la empresa Mines and Metals Trading Perú-Huancavelica. Lima - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Peñuelas, M. A. (2010). Métodos de Investigación. Mexico: D.R. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Sebastian, C. D. (2019). Flotación de Zn marmatítica con alto contenido de pirrotita. Huacho - Peru: Repositorio de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Spottiswood, K. E. (1990). Introducción al Procesamiento de Minerales. Mexico. Tamayo, M. T. (2003). El proceso de la Investigación Científica. Mexico: Limusa, S.A. de C.V.
- Will, B. A. (1992). Mineral Processing Technology. Oxford - USA.
- Gamarra.H.E.(2019) tesis “Flotación Bulk de Minerales Sulfurados de Plomo – Zinc refractarios de bajo grado en la Planta Concentradora de Huari de la UNCP”
- Chambi Huanca, L. M. (2020) Optimización del proceso de flotación para mejorar la recuperación de minerales mixtos de cobre en la planta concentradora de la Empresa-Minera CIEMSA - Unidad El Cofre - Paratía - Puno.

ANEXOS

ANEXO 01: Instrumentos de recolección de datos

Balance metalúrgico ETAPA cleaner IA

| ETAPA Cleaner IA | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|-----------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral Cl-1A Zn | 76,34 | 233,13 | 0,64 | 0,81 | 12,97 | 18,28 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL-1A Zn | 15,17 | 275,97 | 0,81 | 0,99 | 17,14 | 18,42 | 23,51 | 24,91 | 24,14 | 26,77 | 20,01 |
| Rlve CL-1A Zn | 61,17 | 222,60 | 0,60 | 0,77 | 11,63 | 18,25 | 76,49 | 75,09 | 75,23 | 73,23 | 79,99 |

Balance metalúrgico del circuito de limpieza I-B

| ETAPA Cleaner IB | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|-----------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral Cl-1A Zn | 61,20 | 222,60 | 0,60 | 0,77 | 11,63 | 18,25 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL-1B Zn | 20,50 | 376,81 | 1,11 | 1,14 | 23,44 | 20,66 | 56,75 | 61,43 | 49,63 | 67,61 | 37,94 |
| Rlve CL-1B Zn | 40,70 | 144,82 | 0,35 | 0,58 | 5,66 | 17,04 | 43,25 | 38,57 | 50,37 | 32,39 | 62,06 |

Reporte de balance metalúrgico del composito de limpieza

| ETAPA Cleaner I | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Limpieza Zn | 137.506 | 228,487 | 0,626 | 0,794 | 12,23 | 18,27 | 1000,0 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp Limpieza 1 Zn | 35.674 | 333,914 | 0,98 | 1,075 | 20,77 | 19,71 | 37,918 | 40,578 | 35,142 | 44,04 | 27,986 |
| Rlve Limpieza1 Zn | 101.831 | 191,544 | 0,503 | 0,695 | 9,945 | 17,77 | 62,082 | 59,431 | 64,876 | 55,96 | 27,033 |

Balance metalúrgico ETAPA cleaner II

| ETAPA Cleaner I | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|------------------|-----------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CL 2 Zn | 25,20 | 296,83 | 0,80 | 1,02 | 15,43 | 20,26 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL 2 Zn | 13,20 | 350,27 | 0,97 | 1,14 | 19,39 | 20,15 | 61,66 | 63,58 | 58,41 | 65,77 | 52,00 |
| Rlve CL2 Zn | 12,00 | 238,94 | 0,61 | 0,89 | 11,08 | 20,41 | 38,34 | 36,42 | 41,59 | 34,23 | 48,00 |

Balance metalúrgico ETAPA cleaner III

| ETAPA Cleaner III | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | % Distribución | | | | |
|-------------------|-----------------|---------|------|------|-------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral CL 3 Zn | 13,20 | 350,27 | 0,97 | 1,14 | 19,39 | 20,15 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Esp CL 3 Zn | 3,20 | 422,39 | 1,58 | 1,38 | 40,13 | 10,56 | 28,94 | 38,78 | 29,00 | 49,77 | 12,67 |
| Rlve CL3 Zn | 10,00 | 328,48 | 0,79 | 1,07 | 12,83 | 23,05 | 71,06 | 61,22 | 71,00 | 50,23 | 87,33 |

Ensayes Químicos Concentrado 3ra

| Tiempo | Producto | % Peso | Ensayes | | | | | | % Distribución | | | |
|--------|--------------|--------|---------|------|------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| 0.5 | Espuma 1 Zn | 5,69 | 324,03 | 1,41 | 1,97 | 43,03 | 9,90 | 5,67 | 6,82 | 5,58 | 12,52 | 2,56 |
| 1 | Espuma 2 Zn | 9,33 | 352,87 | 1,42 | 2,16 | 38,42 | 12,84 | 10,13 | 11,27 | 10,03 | 18,33 | 5,45 |
| 2 | Espuma 3 Zn | 15,93 | 350,77 | 1,40 | 2,26 | 30,66 | 16,82 | 17,21 | 18,99 | 17,94 | 24,99 | 12,19 |
| 3 | Espuma 4 Zn | 13,46 | 358,99 | 1,31 | 2,37 | 23,47 | 22,00 | 14,88 | 15,01 | 15,89 | 16,17 | 13,48 |
| 5 | Espuma 5 Zn | 11,20 | 352,17 | 1,23 | 2,39 | 17,11 | 25,72 | 12,14 | 11,72 | 13,33 | 9,80 | 13,11 |
| 7 | Espuma 6 Zn | 7,07 | 339,97 | 1,18 | 2,30 | 12,18 | 26,97 | 7,40 | 7,10 | 8,10 | 4,40 | 8,67 |
| 10 | Espuma 7 Zn | 1,47 | 356,01 | 1,19 | 2,29 | 9,05 | 28,23 | 1,61 | 1,49 | 1,68 | 0,68 | 1,89 |
| 13 | Espuma 8 Zn | 2,26 | 351,89 | 1,27 | 2,10 | 8,56 | 27,74 | 2,43 | 2,43 | 2,35 | 0,98 | 2,83 |
| | Relave Final | 33,61 | 275,84 | 0,88 | 1,50 | 7,05 | 26,04 | 28,54 | 25,17 | 25,11 | 12,12 | 39,82 |
| | Cab. Cal. | 100 | 324,87 | 1,17 | 2,01 | 19,55 | 21,98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Ensayes Químicos Concentrado 2da

| Tiempo | Producto | % Peso | Ensayes | | | | | | % Distribución | | | |
|--------|--------------|--------|---------|------|------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| 0.5 | Espuma 1 Zn | 4,60 | 334,79 | 1,36 | 2,72 | 42,30 | 13,55 | 6,10 | 7,51 | 8,46 | 17,84 | 2,06 |
| 1 | Espuma 2 Zn | 10,05 | 345,32 | 1,37 | 2,86 | 31,27 | 19,54 | 13,74 | 16,51 | 19,44 | 28,81 | 6,48 |
| 2 | Espuma 3 Zn | 12,49 | 326,47 | 1,28 | 1,93 | 19,51 | 25,25 | 16,15 | 19,18 | 16,31 | 22,34 | 10,41 |
| 3 | Espuma 4 Zn | 10,01 | 298,29 | 1,09 | 1,78 | 10,82 | 30,43 | 11,92 | 13,20 | 12,16 | 10,02 | 10,14 |
| 5 | Espuma 5 Zn | 16,37 | 275,30 | 0,93 | 1,32 | 6,26 | 32,75 | 17,85 | 18,26 | 14,62 | 9,40 | 17,69 |
| 7 | Espuma 6 Zn | 8,72 | 249,90 | 0,76 | 1,19 | 3,44 | 31,70 | 8,63 | 7,95 | 7,02 | 2,75 | 9,12 |
| 10 | Espuma 7 Zn | 6,04 | 234,31 | 0,75 | 1,29 | 3,11 | 31,49 | 5,60 | 5,43 | 5,27 | 1,72 | 6,28 |
| 13 | Espuma 8 Zn | 2,77 | 231,54 | 0,68 | 1,11 | 2,81 | 32,06 | 2,54 | 2,26 | 2,08 | 0,71 | 2,93 |
| | Relave Final | 28,86 | 152,87 | 0,28 | 0,75 | 2,42 | 36,63 | 17,47 | 9,70 | 14,64 | 6,40 | 34,89 |
| | Cab. Cal. | 100,00 | 252,54 | 0,83 | 1,48 | 10,91 | 30,30 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Ensayes Químicos 2da limpieza de Zn

| ETAPA Cleaner II | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | | % Distribución | | | |
|------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cab Gral Cl-2 Zn | 25,17 | 297,19 | 80 | 1,02 | 16,97 | 20,27 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Esp CL-2 Zn | 13,17 | 362,26 | 0,97 | 1,14 | 22,91 | 20,15 | 63,77 | 63,58 | 58,41 | 70,64 | 52,0 |
| Rlve CL- Zn | 12,00 | 225,79 | 0,61 | 0,89 | 10,45 | 20,41 | 36,23 | 36,42 | 41,59 | 29,36 | 48,0 |

Balance de Circuitos 3ra Limpieza de Zn

| ETAPA Cleaner II | Peso (Ton/H) | Ensayes | | | | | | % Distribución | | | |
|------------------|--------------|---------|------|------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | | Ag g/T | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% | Ag% | Cu% | Pb% | Zn% | Fe% |
| Cabeza Zinc | 127,3 | 40,75 | 0,11 | 0,14 | 2,49 | 11,54 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Conc Final | 6,10 | 344,07 | 0,97 | 0,99 | 49,51 | 9,03 | 39,95 | 66,05 | 33,09 | 88,31 | 3,74 |
| Rlve Final Zn | 121,0 | 26,23 | 0,04 | 0,10 | 0,33 | 11,77 | 60,89 | 33,95 | 66,91 | 11,69 | 96,26 |

ANEXO 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: “EFECTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA TERCERA LIMPIEZA EN LA RECUPERACION ZINC DE LA PLANTA CONCENTRADORA HUARÓN, PASCO - 2024”

| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | Variables | Metodología |
|--|--|--|-------------------------------|--|
| ¿Cuál es el efecto del tiempo de residencia de recuperación la tercera limpieza en la de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024? | Determinar el efecto del tiempo de residencia de la tercera limpieza en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el tiempo de residencia estudiado influye significativamente en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Variable Independiente | Enfoque investigación cuantitativa. Tipo de investigación aplicada - tecnológica. Nivel explicativo. |
| Problemas Específicos | Objetivo Específicos | Hipótesis Específicos | Tiempo de Residencia | |
| ¿Cuál es el efecto de la ley de cabeza en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024? | Determinar el efecto de la ley de cabeza en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la ley de cabeza estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | | |
| ¿Cuál es el efecto de la caracterización mineralógica en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024? | Determinar el efecto de la dosificación de reactivos en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la dosificación de reactivos estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Variable Dependiente | |
| ¿Cuál es el efecto de la dosificación de reactivos en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024? | Determinar el efecto de la caracterización mineralógica en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la caracterización mineralógica estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc de la planta concentradora Huaron, Pasco 2024. | Recuperación Metalúrgica | |

ANEXO 03: Implementación de equipos



Antes (segunda limpieza)



Después (segunda limpieza)



Antes (Tercera limpieza)



Después (Tercera limpieza)

ANEXO 04: PANEL FOTOGRAFICO



