

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



T E S I S

**Determinación del tiempo de flotación del mineral sulfurado del
tajo sulf 6 y 9 para la recuperación de cobre de la Empresa
Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero metalurgista**

Autores:

Bach. Jorge Jhonatan LÓPEZ CAMPOS

Bach. Janella Benigna SARMIENTO CASTRO

Asesor:

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN

Cerro de Pasco - Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Determinación del tiempo de flotación del mineral sulfurado del
tajo sulf 6 y 9 para la recuperación de cobre de la Empresa**

Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA
PRESIDENTE

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
MIEMBRO

Dr. Cayo PALACIOS ESPIRITU
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides

Carrión Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 199-2024-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

Determinación del tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo sulf 6 y 9 para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. LÓPEZ CAMPOS, Jorge Jhonatan

Bach. SARMIENTO CASTRO, Janella Benigna

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. ROQUE HUAMAN, Eusebio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

10%

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 10 de octubre del 2024

DEDICATORIA

A nuestros padres Juan Lopez Lorenzo – Rosa Campos Cordova y Lindor Sarmiento Torres – Rosa Castro Espinoza por los grandes esfuerzos realizados para darnos una profesión y hacernos unos seres humanos de bien.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia. Sin sus palabras y correcciones precisas, no habría podido alcanzar esta tan anhelada meta. También deseo expresar mi gratitud a los docentes de la Universidad Daniel Alcides Carrión por sus enseñanzas, pautas y consejos, que me han ayudado no solo a convertirme en un gran profesional, sino también en una mejor persona. Gracias por su guía y consejos, los llevaré siempre grabados en mi memoria a lo largo de mi carrera profesional.

RESUMEN

La Empresa Minera Marcobre, viene realizando la explotación de minerales de pórfidos de cobre en la mina Justa, y últimamente viene realizando el tratamiento de minerales de los tajos Sulf 6 y 9 en la que se ha realizado el blending en una relación de 1:9 respectivamente. En la zona primaria predominan minerales de calcopirita, la bornita y pirita y en la zona alterada contiene alto contenido de cobre como calcosita y covelina y la ganga posee feldespatos, pirita, silicatos, partículas complejas y óxidos.

Recientemente la recuperación de cobre bajo hasta 84%, y mejorando hasta 88% esto debido que se viene remplazando los colectores tradicionales por colectores grasos más selectivos como el AP 9950 y como colector secundario Diaflot.

El objetivo del estudio es determinar el tiempo de flotación para mejorar la recuperación de cobre a nivel batch, para lo cual, el estudio realiza la determinación del grado de liberación del mineral, la dosificación del colector AP 9950 y la aplicación del modelo de Klimpel para determinar el tiempo de extracción de cobre.

La metodología aplicada al estudio involucro la colección de muestra de 20 Kg, provenientes del tajo Sulf 6 y 9 que se blendió en relación 1:9, y tiene 1,66% de cobre, 6,20 gr/T de plata y 13,53% de Fe. De muchos factores que tienen influencia en la flotación, se estudia solamente dos factores grado de liberación y dosificación de colector, en la ejecución de la prueba batch se aplica la cinética de flotación.

Los resultados de la prueba de molienda y flotación batch nos arrojó los siguientes: el grado de liberación se incrementó de 170 μm condición estándar operacional a 180 μm , en la que se incrementó la recuperación de cobre con una extracción de 95,03%, dosificando el AP 9950 de 18 a 20 gr/T, y el tiempo determinado por el modelo de klimpel es 9 minutos.

Palabra clave: pórfidos de cobre, tajo, flotación batch.

ABSTRACT

The Marcobre Mining Company has been exploiting porphyry copper minerals in the Justa mine, and recently has been carrying out the treatment of minerals from the Sulf 6 and 9 pits in which blending has been carried out in a ratio of 1:9 respectively. In the primary zone, chalcopyrite, bornite and pyrite minerals predominate and in the altered zone it contains high copper content such as chalcosite and coveline and the gangue has feldspars, pyrite, silicates, complex particles and oxides.

Recently, copper recovery has dropped to 84%, and this has improved to 88% due to the fact that traditional collectors have been replaced by more selective fatty collectors such as AP 9950 and Diaflot as a secondary collector.

The objective of the study is to determine the flotation time to improve copper recovery at batch level, for which the study determines the degree of mineral release, the dosage of the AP 9950 collector and the application of the Klimpel model to determine the copper extraction time.

The methodology applied to the study involved the collection of a 20 kg sample, coming from the Sulf pit 6 and 9, which was blended in a 1:9 ratio, and has 1.66% copper, 6.20 gr/T of silver and 13, 53% Fe. Of many factors that influence flotation, only two factors are studied: degree of release and collector dosage; in the execution of the batch test, flotation kinetics is applied.

The results of the batch grinding and flotation test showed us the following: the degree of release increased from 170 μm standard operational condition to 180 μm , in which the recovery of copper was increased with an extraction of 95.03%, dosing the AP 9950 from 18 to 20 gr/T, and the time determined by the Klimpel model is 9 minutes.

Keyword: copper porphyries, pit, batch flotation.

INTRODUCCIÓN

La Compañía minera Marcobre S.A.C. es una empresa que viene realizando la explotación de yacimientos porfídicos de cobre, y Mina Justa se encuentra ubicado en la localidad de Marcona, provincia de Nazca.

En la planta concentradora se viene realizando el tratamiento de minerales sulfurados del tajo sulf 6 y 9 en la que se realiza el blending en una relación de 1:9 respectivamente, en la que tiene una ley de cabeza de 1,66% Cu, 6,24 g/t Ag y 13,53% de Fe. En el tratamiento de este mineral blending tenemos una baja recuperación de cobre de 88,68%, esto debido a la presencia de cobre soluble que se hidrata y no se puede colectarlo. Ante este problema lo que se pretende es, realizar pruebas de flotación remplazando los colectores tradicionales por colectores innovadores como el AP 9950, que es un reactivo del grupo tionocarbamato, que se utiliza en la flotación de cobre, plata, oro en presencia de minerales oxidados o arcillas limosas.

El estudio es importante porque permite mejorar la recuperación y determinar el tiempo de flotación para el mineral blending, se realiza el estudio del grado de liberación y dosificación del colector y colectores secundarios como el diaflot, manteniendo los parámetros de operación similares a la planta concentradora y por último determinar el tiempo de flotación para este mineral blendig en la que se extrae la mena de valor económico.

La tesis se estructuro de acuerdo al protocolo presentado por la universidad, que a continuación se presenta.

En el capítulo I se presenta, la formulación del problema, problema general, problemas específicos, objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación y limitaciones de la investigación.

En el capítulo II, se presenta los antecedentes del estudio, el marco teórico del estudio que se estructuró en base a las variables en estudio, definición de términos, hipótesis general e hipótesis específico, la operacionalización de variables en función al estudio propuesto.

En el capítulo III, se presenta el marco metodológico de cómo se elaboró el estudio, en la que consta el tipo de investigación, método de investigación, diseño de investigación, población, muestra, técnica e instrumento de recolección de datos, técnica de procesamiento y análisis de datos y tratamiento estadístico.

En el capítulo IV, se presenta la discusión de resultados, y se presentan los estudios de campo preliminares antes de la prueba metalúrgica, también se presenta los estudios de la caracterización mineralógica, pruebas de moliendabilidad y pruebas de dosificación de colectores en la flotación batch, así mismo se determina el tiempo de flotación óptimo para el mineral blending.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO 1

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. Problema específico	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

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios	6
2.2. Bases teóricas – científicas	10
2.3. Definición de términos básicos	23
2.4. Formulación de hipótesis	24
2.4.1 Hipótesis general	24
2.4.2. Hipótesis específicas	24

2.5. Identificación de variables	25
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	25

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	26
3.2. Nivel de investigación aplicativo	26
3.3. Métodos de investigación	27
3.4. Diseño de investigación.....	27
3.5. Población y muestra	28
3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos	29
3.7. Técnica de procesamiento y análisis de datos	29
3.8. Tratamiento estadístico.....	29
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	30

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Descripción del trabajo de campo	31
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	33
4.3. Prueba de hipótesis.....	49
4.4. Discusión de resultados.....	51

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables e indicadores de operación.....	25
Tabla 2: Ensaye químico promedio.....	32
Tabla 3: Gravedad específica.....	32
Tabla 4: Ensaye químico promedio.....	33
Tabla 5: Parámetros de los factores para la prueba experimental.....	34
Tabla 6: Granulometría.....	35
Tabla 7: Dosificación de reactivos.....	37
Tabla 8: Balance metalúrgico acumulado.....	37
Tabla 9: Dosificación de reactivos.....	39
Tabla 10: Balance metalúrgico acumulado.....	39
Tabla 11: Dosificación de reactivos.....	42
Tabla 12: Balance metalúrgico acumulado.....	42
Tabla 13: Dosificación de reactivos.....	44
Tabla 14: Balance metalúrgico acumulado.....	45
Tabla 15: Resultados de ensaye químico de la cuarta prueba.....	47
Tabla 16: Parámetros de las constantes de recuperación.....	48
Tabla 17: Tiempo de flotación.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Blending del mimeral.....	13
Figura 2: Liberación de una especie de mineral	14
Figura 3: Roca de mineral	15
Figura 4: Pruebas batch	21
Figura 5: Diseño planificado de las pruebas estándar	27
Figura 6: Esquema de estudio de la cinética de flotación	34
Figura 7: Tiempo de molienda	35
Figura 8: Curva de cinética de flotación STD	38
Figura 9: Curva de cinética de flotación.....	40
Figura 10: Calidad de concentrado de cobre	40
Figura 11: Curva de cinética de flotación.....	43
Figura 12: Grado de concentrado vs recuperación	43
Figura 13: Curva de cinética de flotación	46
Figura 14: Grado de concentrado vs recuperación	46
Figura 15: Comparación de las cinéticas de flotación vs recuperación de cobre.....	48

CAPITULO 1

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y planteamiento del problema

Mina Justa es una explotación minera a tajo abierto que tiene en su mineralogía la presencia de pórfidos de cobre en su yacimiento. En el tajo, se pueden identificar minerales de sulfuros de cobre, como la chalcopirita, la bornita y la pirita, se encuentran principalmente en las capas más profundas del yacimiento y se presentan en forma única sin que se produzca alteraciones.

Por otra parte, en las capas superficiales y en la zona secundaria del depósito, los minerales han experimentado cambios debido a la alteración con el agua superficial. Esto ha resultado en la formación de sulfuros metálicos con un mayor contenido de Cu, como la calcocina y la bornita/covelita. Además de estos minerales, se encuentran como ganga el sulfuro de fierro (FeS), aluminosilicatos, SiO₂, y apatito, además, tiene minerales con óxidos complejos, silicatos, carbonatos, y otros sulfuros.

Actualmente se viene realizando el tratamiento de minerales sulfurados del tajo sulf 6 y 9 que tiene cobre y plata, en la que predomina la chalcopirita y

ornita/calcosina; que tiene su mineralogía aparentemente dócil sin la presencia de molibdenita, pirrotita y una menor presencia de pirita.

Es así, que últimamente viene registrando pérdidas en la recuperación de cobre que tiene relación con las características mineralógicas de alimentación a la operación, que hacen difícil su tratamiento. Esto se debe al contenido de cobre soluble, debido a su hidratación, no es posible colectarlo en el proceso. Por tal motivo, el mineral del tajo Sulf 6 y 9 se blendea en una relación de 1:9, este mineral ya en proceso de flotación alcanzo una recuperación promedio de 84% de cobre, mejorando a 88,68% de cobre, esto debido al remplazo de colectores tradicionales por colectores secundarios como MX-945 que ayudan a la recuperación de cobre. Por las razones expuestas, de determinar el tiempo de flotación de esta muestra sulfurada es primordial evaluar un nuevo colector más selectivo que el xantato como el AP- 3849 y mejorar la recuperación de cobre.

Determinar el tiempo de flotación de muestras procedentes del tajo abierto es un desafío crucial en la minería que puede tener impacto significativo en la eficiencia de la operación y la rentabilidad. Al respecto Hanumantha Rao (2016) en su artículo “Mineral Processing Flotation Cell Circuits” la flotación es un proceso crítico en la recuperación de minerales valiosos. Determinar el tiempo de flotación es esencial para maximizar la extracción del mineral de interés y minimizar pérdidas. Al respecto Bulatovic (2010) en su libro “Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice” señalan que los yacimientos mineros pueden ser altamente variables en términos de composición mineralógica. Esto significa que diferentes muestras pueden requerir diferentes tiempos de flotación para lograr una recuperación óptima.

1.2. Delimitación de la investigación

La investigación se realizó en el laboratorio de metalurgia de la Empresa Minera Marcobre de la Unidad Minera Justa que se encuentra ubicado en el distrito de San Juan de Marcona, de la Región de Ica.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

- ¿Cómo determinar el tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo sulf 6 y 9 para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023?

1.3.2. Problema específico

- Problema específico 1: ¿Cómo determinar grado de liberación del mineral sulfurado del tipo sulf 6 y 9 que influye en el tiempo de molienda para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.?
- Problema específico 2: ¿Cómo determinar la dosificación del colector AP-9950 que influye en la extracción de cobre del mineral sulfurado del blending del tajo Sulf 6 y 9 para determinar el tiempo de flotación de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.?
- Problema específico 3: ¿Cómo determinar el tiempo de flotación aplicando el modelo Klimpel al mineral sulfurado del blending del tajo sulf 6 y 9 para determinar el tiempo óptimo de recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo sulf 6 y 9 para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023

1.4.2. Objetivos específicos

- Objetivo específico 1: Determinar el grado de liberación del mineral sulfurados del tajo sulf 6 y 9 que influye en el tiempo de molienda para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.
- Objetivo específico 2: Determinar la dosificación del colector AP-9950 que influye en la extracción de cobre del mineral sulfurado blending del tajo Sulf 6 y 9 para determinar el tiempo de flotación de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.’
- Objetivo específico 3: Determinar el tiempo de flotación aplicando el modelo Klimpel al mineral sulfurado blending del tajo sulf 6 y 9 para determinar el tiempo óptimo de recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación práctica

Los resultados de las pruebas de flotación se presentan al jefe de planta de la empresa Minera Marcobre para que pueda analizar el comportamiento metalúrgico de la muestra sulfurada del tajo Sulf 6 y 9 con respecto a la granulometría de operación del circuito de flotación y la dosificación del Tionocarbamato AP-9950 y tomar decisiones de aplicarlo a nivel industrial y mejorar la recuperación del cobre.

Al respecto Bernal (2010), menciona que la justificación práctica “es cuando la ejecución del estudio contribuye a la solución del problema o propone algunas estrategias que de aplicarse contribuirá a la solución del problema.

Al determinar el tiempo adecuado de la mejora de la recuperación de cobre, con una calidad comercial de concentrado, se genera beneficios económicos a la empresa minera.

1.5.2. Justificación metodológica

El estudio se realizará aplicando los conocimientos prácticos del procesamiento de minerales especialmente de la molienda, flotación y dosificación de reactivos en la que se comprobará los principios teóricos con la práctica a nivel industrial.

Se trabajará determinado el grado de liberación del mineral que tiene influencia en el tiempo de molienda, además se realizará pruebas de flotación para la determinación del tiempo de molienda en la que se adicionará el Aero promotor AP-9950 que ayudará a mejorar la recuperación del cobre.

1.6. Limitaciones de la investigación

Se tiene limitaciones en el desarrollo de las pruebas metalúrgicas, debido a que no se pueden realizar todas las pruebas para dar una mayor confiabilidad de los resultados.

El tiempo que se realizó las pruebas metalúrgicas fue muy corto, que limito realizar más pruebas para dar confiabilidad a los resultados.

No se cuentan con todos los reportes de laboratorio por ser reservado.

En un inicio se tuvo el apoyo de algunos supervisores y por razones de su trabajo ajetreado, no se contó con el apoyo debido a que estaba trabajando en otra sección de la planta concentradora.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo científico de Elsevier Feng & Aldrich (1999) presentan el estudio del Efecto del tamaño de partícula sobre el rendimiento de flotación de minerales de sulfuros complejos. El estudio menciona que el tamaño de partícula es un parametro importante en la operación de flotación. Además menciona que la estructura y textura de una espuma mineral es un buen indicador del rendimiento de la separación por flotación. El estudio investigo la dependencia de las estructuras de espuma de la variación de tamaño de las partículas en la flotación discontinua de un mineral.

En general, la flotación de las partículas medianas produjeron burbujas más pequeñas que las observadas en presencia de partículas finas y gruesas, y las tasas de recuperación fueron mayores. El arrastre fue un mecanismos que contribuyó a la recuperación de partículas finas. La fluctuación de los indices de flotación en el cambio de tamaño de las partículas puede diagnosticarse y

predecirse mediante el cambio de las estructuras de las espumas con un alto grado de precisión, concluye: La estructura de la espuma de flotación es un indicador de rendimiento de una buena separación en la flotación. La recuperación fue mayor en la flotación de partículas pequeñas

Paz & Maldonado (2016) en la tesis del estudio de investigación en donde enfoca analizar cómo el tiempo de flotación y la dosis de NaCN afectan en la concentración de cobre por el proceso de flotación (Ecuador), tiene como objetivo muestras de minerales proporcionadas por la Cía Minera Valarezo S.A. Desarrollo la siguiente metodología la muestra de mina provenieron del tajo la Tigresa (25%), del Cerro pelado (25%) y tajo Playitas (50%). Evaluó el tiempo de flotación en 15, 18 y 21 minutos, y el NaCN dosificado en 60 g/t, 80 g/t y 100 g/t, teniendo en cuenta la recuperación de cobre. La flotación se realizó a 65% # -200, reactivos de flotación (ER - 350, NaCN, Z - 6, A - 208, A - 242, A - 404, A - 238), concluye: El tiempo de flotación de 21 minutos tiene un impacto importante en la recuperación del cobre, que se incrementa a medida que se incrementa el tiempo de flotación. La dosificación del cianuro de sodio se tiene que controlar debido a que una dosificación sobre 60 g/t perjudica la recuperación de cobre. Se mejoró la recuperación de cobre alcanzando 89% de recuperación, esto se logró trabajando con 60 g/t de cianuro de sodio y un tiempo de flotación de 21 minutos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Olortegui (2019) presenta la tesis de cinética de flotación con el objeto de predecir la recuperación del molibdeno a nivel laboratorio. Esta investigación tiene como propósito analizar y cuantificar cómo la cinética de flotación influye en la recuperación del molibdeno. El estudio consistió en llevar a cabo una serie

de pruebas de flotación a intervalos de tiempo. En la que se recolectaron ocho muestras, dando como resultados una recuperación de 76,90% en la primera prueba, con una proyección de 93,32; en la segunda prueba, logró una recuperación de 88,35% con una proyección de 94,21%; y en la tercera prueba, se obtuvo una recuperación de 88,29% con una proyección de 94,64%.

La calidad del concentrado para los 10 min es de 16,75% de Mo y una concentración de 72,68% siendo el relave 0,22% , proyectando un calidad de concentrado de 26,87% de Mo y una recuperación del 57,45% con un relave de 0,37%, concluye: El tiempo es un factor importante que incrementa la recuperación del molibdeno en las tres pruebas, para un coeficiente de correlación de $R^2=0,938$. La relación colector y tiempo de recuperación del molibdeno se incrementa de dentro del parametro optimo de 10 min a 14 min. La calidad del concentrado de molibdeno para 14 min es de una calidad satisfactoria a nivel industrial con una pérdida de 0,29% de Mo, y por lo que setiene una curva de recuperación creciente en el tiempo.

Leyton Robles & Sánchez García (2022) presenta la tesis de la influencia del potencial de hidrogeno (pH) y tiempo de flotación en la recuperación de plomo, plata y zinc aplicando la flotación diferencial. La muestra del estudio lo constituyo cinco muestra de la zona de Ancash que tiene como ley de cabeza los siguiente: 234,06 g/t de Ag, 2,68% Pb, 4,81% Zn y 21,83% de Fe. Aplico el diseño factorial para el estudio del potencial de hidrógeno en los niveles de 6,0, 6.5 y 7,0 y tiempo de flotación en los niveles 1, 2, 4, 7 y 12 min. Sindo la variable independiente la recuperación de plata, plomo y zinc. Aplicó los modelos de cinética de flotación de García-Zuñiga, Agar y Klimpel en la flotación bulk. De las pruebas determinó que al incrementar el pH y el tiempo de flotación la

recuperación de Ag, Pb y Zn se incrementa, concluye: Al incrementar el pH en el rango de 7 incrementa la recuperación de plata y plomo en 87,96% y 87,17% respectivamente siendo la ley del concentrado de 1961,50 g/t de Ag, 21,94% de Pb y 12,10 g/t de Au. El tiempo de flotación aplicando el modelo de Klimpel es de 7,88 min. La flotación de zinc alcanzó una recuperación de 76,10%, ley de concentrado 48,92% de Zn.

2.1.3. Antecedentes locales

Rojas & Chaca (2022) presentaron la tesis sobre la influencia del NaCN y el tiempo de flotación en la recuperación de Cu de un mineral blending (Pasco). Como problema presenta el servicio de tratamiento de minerales polimetálicos de diversas pequeñas empresas mineras, y como objetivo es determinar cómo la dosificación del cianuro de sodio y el tiempo de flotación influyen en la recuperación de cobre. La muestra lo obtiene por el método sistemático aplicado a la alimentación al molino obteniendo 24 Kg, como técnica de recolección de datos utiliza la observación, la entrevista y como instrumentos utiliza reporte de ensaye químico, cuaderno de campo y balance metalúrgico. Realiza las pruebas metalúrgicas aplicando el diseño factorial general, dosifica el NaCN a 50, 60 y 70 g/T, el tiempo de flotación lo realiza en 14, 16 y 18 min., llegando a recuperar el cobre en el rango de 77,45 a 87,89%, concluye: Dosificando el cianuro de sodio en 50 g/t logra recuperar el cobre en 88,62%, para una calidad de concentrado de 25,19%. El tiempo de flotación determinado es de 18 minutos, lo que favorece a la recuperación de cobre en 87,89%. La interacción del cianuro de sodio y el tiempo de flotación logra recuperaciones sobre 88,97 a 89,01% de cobre.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Sulfuros

Según Maldonado (2021) “Los minerales sulfurados que se forman mediante la unión del anión de un S_2^- con diversos metales. Por ejemplo, la pirita que tiene FeS_2 siendo esto un sulfuro metálico de hierro”.

Entre otros sulfuros tenemos la blenda (ZnS), la galena (PbS), la chalcopirita ($CuFeS_2$) y la bornita (Cu_5FeS_4).

Propiedades y características de los sulfuros:

- Los sulfuros de minerales se combinan con uno o más metales con azufre.
- Los minerales de sulfuros suelen ser opacos y tienen colores - rayas distintivos.
- En muchos sulfuros se encuentran enlaces iónicos y covalentes, mientras que en otros son evidentes enlaces metálicos, como lo indican sus propiedades metálicas.
- La formación estructural de azufre más simple y proporcionado se fundamenta en su formación estructural del cloruro de sodio. Que es un mineral de sulfuro habitual que cristaliza de esta forma es el mineral de Pb , PbS .
- Su forma, muy simétrica, está desarrollada por cubos transformados por caras octaédricas en sus esquinas.
- La estructuración del sulfuro de pirita clásico (FeS_2) también sigue el modelo de la del cloruro de sodio; un grupo disulfuro en un punto de vista coordinada con seis átomos de Fe ferroso próximos. La alta simetría de esta estructuración se manifiesta en la morfología externa de la pirita.

- En otra estructuración de azufre, la esfalerita (ZnS), cada átomo de zinc está contenido por cuatro átomos de S en una acomodación tetraédrica.
- En una derivada de este arquetipo de estructura, podemos pensar en la de la chalcopirita (CuFeS₂), los iones de Cu y Fe están regularmente remplazados en las posiciones de Zn en la disposición atómica de la esfalerita original.
- La arsenopirita (FeAsS) es un sulfoarseniuro común que se encuentra en muchos depósitos minerales. Esta es la principal fuente de arsénico (p.1)

2.2.2. Sulfuro de cobre

Los minerales de sulfuro de cobre más importantes incluyen el sulfuro de cobre (I) o sulfuro de cobre, con la fórmula química Cu₂S que se encuentra en la mineral calcosina, y el sulfuro de cobre (II) o sulfuro de cobre, con la fórmula química CuS que se encuentra en el mineral covelita.



Estructura del sulfuro de cobre (I) (izquierda) y del sulfuro de cobre (II) (derecha) La calcosina se ha extraído durante siglos y es uno de los minerales de cobre más rentables. Esto se debe al alto contenido de cobre (relación atómica del 67% y casi el 80% en peso) y a la facilidad para separar el cobre del azufre. Sin embargo, no es un mineral de cobre importante debido a su rareza. Aunque las reservas más ricas de calcosina han sido explotadas, probablemente todavía se estén explotando y seguramente se explotarán en el futuro (LA CHALCOCITA MINERAL, 2014, p.1).

2.2.3. Mineralogía

La mineralogía de mina Justa abarca dos tipos de mineral: una capa de óxidos de poca profundidad y otra capa de sulfuros de cobre que está a mayor profundidad por debajo del óxido de cobre a 180 a 200 metros. La extracción es

a cielo abierto y abarca los depósitos de cobre porfídico. Los minerales primarios de sulfuros de cobre contienen especies no alteradas como calcopirita, bornita y pirita. En contrario, en la zona de óxidos, la circulación de agua superficial ha generado la alteración de los minerales, resultando en minerales sulfurados con alto contenido de cobre como calcosita y covelina. Como ganga se encuentran la pirita, feldespatos, cuarzo, mica y apatita, así como partículas complejas como óxidos, carbonato, silicatos y otros sulfuros.

Mina Justa tiene una reserva estimada de mineral de 374 millones de toneladas, entre minerales oxidados y sulfuros, comuna ley promedio de 0.51% de óxidos de cobre y 0,71% de sulfuros de cobre (Talavera, 2019. P.9)

2.2.4. Blending

Según Izquierdo & Fuentes (2016). El proceso del blending de minerales en el stock es crucial y altamente significativo para la mayoría de empresas mineras. Por esta razón, las grandes compañías revisan continuamente sus planes de producción, realizando correcciones y ajustes necesarios. Esto les permite tener un control efectivo y administrar la mezcla de una manera equilibrada, utilizando técnicas disponibles y tecnologías para optimizar el proceso.

Soto (2017), menciona: El blending es una estrategia de procesamiento metalúrgico utilizada en minerales de difícil tratamiento para maximizar la recuperación de yacimientos. Este proceso implica la mezcla de un mineral complejo, caracterizado por su baja ley o alto contenido de arcillas, con un mineral de fácil recuperación en una proporción determinada. El objetivo es lograr una mayor recuperación de cobre al procesar la mezcla en comparación con la recuperación obtenida al procesar los minerales de forma individual.

Figura 1: *Blending del mineral*



Nota. Imagen obtenida de SPL-lamtan.com

2.2.5. Grado de liberación

Según metallurgist. (2016). Menciona, Es la cantidad de mineral que tiene valor económico de interés que queda libre de la ganga mediante el proceso de fracturamiento del mineral. La fractura del mineral genera un producto mineral liberado y una ganga liberada, como también productos intermedios, donde el mineral se encuentran asociados con ganga.

La flotación por espuma suele aplicarse a fracciones de tamaño en el rango de 65 y 100 mallas. Las partículas mayores de 65 mallas Tyler (210 micras) resultan difíciles de flotar por la burbuja de aire, mientras que las partículas más pequeñas de 400 mallas (37 micras) a menudo no se adhieren a la burbuja de aire.

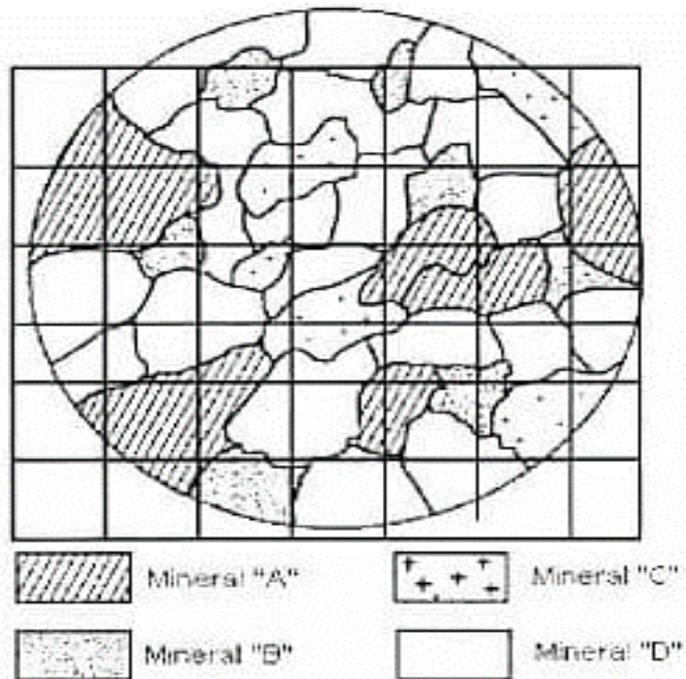
Figura 2: Liberación de una especie de mineral



Nota. La figura muestra partículas libres de la mena y ganga.
Tomado de 911metallurgist.

Otro punto crucial que se tiene que tener en cuenta es que las rocas rara vez contienen únicamente el mineral de interés y la ganga. Es más probable encontrar rocas con dos o más minerales, además de la ganga, como se ilustra en la figura 3. Al fracturar este tipo de mineral, es evidente que encontremos partículas libres de los minerales a, b, c y d. Del mismo modo, existirán partículas que contengan asociaciones de los minerales con b, c y d, asociaciones de b con c y d, y combinaciones de c y d, así como especies terciarias.

Figura 3: Roca de mineral



Nota. Roca constituida con 4 minerales. Tomado de 911metallurgist

2.2.6. Tiempo de flotación

Yianatos B (2005), en el estudio, señala que la demora en el tiempo es un factor de gran relevancia que incide tanto en la eficacia de la ley como en la recuperación del mineral de interés. Esta variable puede ser generalmente ajustada mediante la variación de los flujos, aunque también es posible realizar ajustes mediante la modificación de la altura de la espuma y la cantidad de agua de lavado.

El proceso de flotación se compone de las siguientes fases: a) adsorción de reactivos en la superficie del mineral, b) el encuentro de las partículas con burbujas de aire y c) el transporte de las partículas hacia la superficie de la celda de flotación. Cada fase tiene una duración distinta, y al sumarlas se obtiene el tiempo total de flotación.

2.2.7. Cinética de flotación

Según Venancio (1981) la cinética de la flotación se puede caracterizar por la variación en el tiempo de la calidad de producto transportado por las espumas. Además, menciona que es posible relacionar el tiempo de flotación con la cantidad de mineral flotado.

Al respecto Canepa (1990) menciona, “La flotación es sobre especies minerales y no sobre elementos químicos”

La cinética de flotación se refiere al estudio de la velocidad a la que las partículas minerales se adhieren a las burbujas de aire y se separan de la pulpa en un proceso de flotación. Es un aspecto fundamental para comprender y optimizar el proceso de flotación, ya que permite predecir la eficiencia del proceso y el tiempo que se requiere para lograr la separación deseada de los minerales

Factores que afectan la cinética de flotación:

- Propiedades de las partículas. Tamaño, forma, densidad, superficie y propiedades hidrofílicas/hidrofóbicas.
- Propiedad del gas. Tamaño, caudal y tiempo de residencia de las burbujas de aire.
- Propiedad de la Pulpa. pH, viscosidad, densidad y composición iónica.
- Propiedad de los reactivos. Tipo, dosificación y tiempo de contacto.

La cinética de flotación se utiliza para controlar el proceso de flotación, ajustando los parámetros operativos en función de la recuperación de minerales deseada. También se utiliza para escalar los procesos de flotación de laboratorio a escala industrial.

2.2.8. Teoría cinética de la flotación

La flotación consiste en la circulación de una pulpa en una serie de depósitos provistos de agitadores llamadas celdas de flotación. Otros investigadores definieron una constante de velocidad correspondiente a la velocidad específica de una reacción de primer grado, partiendo de la ecuación general:

$$\frac{dC}{dt} = -k_n C^n \dots\dots\dots 1$$

Donde C representa la concentración de material flotable, n es el orden de la reacción, kn la constante de velocidad de la ecuación. Para n=1, la integración de la ecuación conduce a la expresión (2):

$$C = C_o \exp(-k_1 t) \dots\dots\dots 2$$

Siendo Co la concentración de material flotable inicialmente.

Si se llama Cs a la concentración de material flotable en los estériles, se obtiene la relación (3)

$$C = -(C_o - C_s) \exp(-k_1 t) \dots\dots\dots 3$$

Otra forma, obtenida de la experimentación y basándonos en la recuperación:

$$R = R_s(1 - \exp(-k_1 t)) \dots\dots\dots 4$$

Donde:

$$R = \frac{C_o - C}{C_o} \text{ y } R_s = \frac{C_o - C_s}{C_o}$$

La aplicabilidad de la fórmula (2) ha sido estudiada, utilizando una corriente de pulpa a través de una sola pulpa.

Si se considera la ecuación (1) como una ecuación de segundo grado, es decir, tomando $n=2$, se convierte:

$$C = \frac{C_o}{1 + C_o k_2 t} \dots \dots \dots 5$$

Si se hace intervenir la concentración C_1 de elementos flotables que se encuentran en los estériles, la expresión se hace más complicada:

$$C = \frac{C_1 + C_s(C_1 - C_s)k_2 t}{1 + (C_1 - C_s)k_2 t} \dots \dots \dots 6$$

N. Arbiter (1964) parte de la expresión:

$$\frac{dR}{dt} = k_n(R_s - R) \dots \dots \dots 7$$

Para obtener:

$$R = \frac{R_s^2 k_2 t}{1 + R_s k_2 t} \dots \dots \dots 8$$

En fin, se piensa que la expresión de la velocidad de flotación es una ecuación de primer grado para la flotación de los minerales aislados o en pulpa muy diluida, y de segundo grado para los minerales con contenidos bastante bajos de minerales a flotar o para unas pulpas concentradas en sólidos.

Otros tres casos de flotación deben considerarse según el punto de vista cinético del fenómeno.

La flotación libre, que tiene lugar en las condiciones en que las burbujas no están nada más que débilmente cubiertas de partículas de mineral y donde no hay, en ningún momento, déficit de superficie de burbujas disponible. En este caso la ecuación propuesta es:

$$\frac{dn}{dt} = k_1(n_o - n) \dots \dots \dots 9$$

En la cual n es el número de partículas por unidad de volumen de pulpa flotada en toneladas por segundo, no es el número de partículas por unidad de volumen de pulpa en el tiempo t_0 .

Si se expresa R por la relación n/n_0 , se convierte:

$$\text{Log} \frac{1}{1 - R} = k_1 t$$

La velocidad de flotación es de primer grado con relación la concentración de granos.

La flotación inhiba, cada burbuja que sube en la pulpa se satura de partículas y al alcanza la superficie con una carga de partículas. Esta carga es determinada, bien por la capacidad de las burbujas, o bien por su posibilidad de levigación. La expresión dn/dt no depende nada más que del caudal del aire. Si éste es constante, se tiene la expresión:

$$\frac{dn}{dt} = k_0$$

La velocidad de flotación es del orden de cero; con relación a la concentración de partículas, la velocidad de flotación sigue una ley de primer grado.

2.2.9. Procesos de flotación.

Según Pavez (s.f.) El proceso de flotación es una técnica de separación que se utiliza en la industria minera metalúrgica para separar la mena de la ganga en una suspensión acuosa. El proceso se basa en las propiedades de mojabilidad de las partículas, como: las partículas interactúan con el agua y los reactivos.

A continuación, presentamos el proceso de flotación por etapas.

1. Preparación de muestra. Esta etapa implica la trituración y molienda del mineral para reducir el tamaño de las partículas a un nivel adecuado para el

proceso de flotación. El mineral triturado se mezcla con agua formando la pulpa.

2. Acondicionamiento. En esta etapa, se agregan los reactivos químicos a la pulpa con la finalidad de modificar las propiedades de la superficie de las partículas de mineral. Estos reactivos pueden incluir colectores, espumantes y modificadores.
3. Flotación. La pulpa acondicionada se introduce a la celda de flotación. En la celda, se introduce aire a través del sistema de agitación. El aire forma burbujas en la que se adhiere las partículas de mineral de valor económico para posteriormente flotar a la superficie de la pulpa formando las espumas.
4. Recolección y separación. La espuma forma en la parte superior de la celda de flotación contiene las partículas de mineral de valor. Esta espumase recolecta y se retira de la celda, mientras que las partículas que conforma la ganga permanecen en el fondo de la celda, formando el relave.

2.2.10. Pruebas batch de laboratorio

Con respecto a las pruebas batch Pavez (s.f.) menciona que: Las pruebas de flotación por lotes a nivel de laboratorio se realizan en celdas de flotación que tienen una capacidad de 50 a 2000 g. Se recomienda realizar el cuarteo con sumo cuidado de la muestra de cabeza, junto con la caracterización química y mineralógica para la identificación de las especies útiles y la ganga, sus asociaciones y su grado de liberación.

Se preparar mineral al 100% - 10 mallas y guardarlos en bolsas. Decidido el volumen de la celda y el porcentaje de sólidos de flotación, se determina el peso específico del mineral. Seguidamente se realiza la molienda en un molino

de bolas de laboratorio, con aproximadamente con 66 a 68% de sólidos en el molino y se determina el tiempo de molienda.

Algunas variables que se estudian en laboratorio son las siguientes: tipo de reactivos de flotación, dosis de reactivos, densidad de pulpa, aireación y acondicionamiento, pH, tipo de agua, envejecimiento de pulpa, temperatura y tiempo de flotación. A veces es necesario agregar reactivos de flotación en la etapa de molienda, cuando se requiere mayor tiempo de acondicionamiento. También se pueden realizar pruebas de cinética de flotación cuando se desea obtener el tiempo óptimo de flotación.

Figura 4: Pruebas batch



Nota: Imagen tomada de SGS Services

2.2.11. Variables de flotación

Son todos los factores que intervienen en la flotación por espumas, con la finalidad de recuperar el mineral valioso.

La flotación como proceso necesita que las partículas y burbujas, estén dentro de un intervalo de tamaños relacionados entre sí. De esta manera las partículas pequeñas flotan mejor en las burbujas pequeñas, pero con la condición del tamaño de partículas adecuado, de acuerdo al mineral que se esté flotando.

Según Azañero Ortiz (2015) las variables de flotación son las siguientes:

- Densidad de pulpa y porcentaje de sólidos
- pH
- Tiempo de flotación
- Nivel de espuma
- Carga circulante
- Granulometría
- Grado y tipo de aireación
- Temperatura de la pulpa
- Dosificación de reactivos

2.2.12. Reactivos de flotación

Según Sutulov (1963) manifiesta, los reactivos de flotación son el componente más importante del proceso y sin ellas no se puede realizar la flotación. Por otra parte, es necesario recordar que la flotación no se puede efectuar sin espumantes o modificadores del medio. No solamente influye el tipo de reactivo, su cantidad, punto de dosificación, método de adición y múltiples otros factores que a veces escapan a una definición precisa.

Es conveniente destacar la complejidad del problema que representa la selección de una fórmula apropiada de flotación. Como se sabe, la adsorción de reactivos se basa en el equilibrio de iones de la pulpa que determina los potenciales cinéticos, electroquímico y la hidratación de las partículas minerales.

Clasificación de los reactivos

Son tres los grupos principales en los cuales se clasifican los reactivos de flotación.

1. Los colectores, cuya función principal es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a la superficie de los minerales.

Z-11. Es un reactivo químico utilizado en la flotación de minerales compuesto de alcoholes, sodio y potasio, utilizando como colector primario para minerales polimetálicos. Es un colector fuerte (isopropílico de sodio).

AP-9950. Es un reactivo colector del tipo oleoso, líquido, derivado de etilo propilo tionocarbamato. Se utiliza en la flotación de minerales a un pH de 4 a 12. Se emplea comúnmente en la flotación de minerales de cobre, plata, oro y níquel, en presencia de minerales oxidados o arcillas limosas.

Diaflot. Reactivo secundario que ayuda a mejorar la selectividad del mineral y reducir las impurezas del concentrado.

2. Los modificadores, que sirven para la regulación de las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumentan su selectividad.
3. Los espumantes, que permiten la formación de una espuma estable, el tamaño de burbuja apropiado para llevar los minerales.

Dowfroth 250. Es un reactivo espumante, potente que soporta concentrados de alta gravedad específica. Favorece a una cinética más duradera más persistente y es soluble en agua.

2.3. Definición de términos básicos

Concentrado.- Cantidad de material obtenido por el proceso de flotación que se expresa en un tanto por ciento de elementos útiles del proceso.

Flotación.- Proceso de concentración donde las partículas de un mineral son incitadas a adherirse a las burbujas de aire originadas por un agente espumante presente en la pulpa, que las hace flotar.

Tajo minero.- Es una excavación que se realiza en la mina para la extracción del mineral o roca, con la finalidad de extraer el mineral valioso en una planta concentradora. El tajo minero puede ser una pequeña excavación o grande excavación que abarca grandes extensiones de terreno.

Tiempo de flotación.- Cantidad de producto transportando por las espumas en un determinado tiempo.

Recuperación.- Es la extracción del mineral valioso por separación de la ganga mediante el proceso de concentración.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

- Con la determinación del tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo sulf 6 y 9 se recuperará el cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C. - Nasca 2023

2.4.2. Hipótesis específicas

- Hipótesis específica 1: Con la determinación del grado de liberación del mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9 se determinará el tiempo de molienda para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.
- Hipótesis específica 2: Con la dosificación del colector AP 9950 se extraerá cobre del mineral sulfurado blending Sulf 6 y 9 para determinar el tiempo flotación de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.
- Hipótesis específica 3: Con la determinación del tiempo de flotación aplicando el modelo de Klimpel al mineral sulfurado blending Sulf 6 y 9 se recupera el cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C.

2.5. Identificación de variables

Variable independiente

- Mineral sulfurado del tajo sulf 6 y 9

Variable dependiente

- Tiempo de flotación del sulfuro de cobre

Variable interviniente

- Ley de cabeza
- Granulometría
- Porcentajes de solidos
- Tiempo de flotación
- rpm

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Variables e indicadores de operación

Ítem	Variables	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
V.I	Flotación de sulfuro de cobre del tajo sulf 6 y 9	Es una técnica de separación la mena de la ganga en una suspensión acuosa.	Grado de liberación	μm
			Dosificación de colector	Gr/T
			Tiempo de flotación	Min
V.D	Tiempo óptimo de recuperación de cobre	Es una variable que mide la duración o separación de acontecimientos,	Extracción de cobre	Recup Cobre, tiempo

Nota. Elaborado por los tesisistas

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según Hernández Escobar y otros (2018), el tipo de investigación es aplicativo, es decir, cuando hay una manipulación directa de la variable independiente, por parte del investigador, para determinar su influencia sobre la variable dependiente bajo condiciones de control de las variables ajenas.

El nivel de investigación es explicativo, debido a que se busca la causa y el efecto del mineral en la flotación en relación al tiempo y determinar el rendimiento de la flotación. Correlacional debido que se busca la relación de la variable independiente con la variable dependiente.

3.2. Nivel de investigación aplicativo

De acuerdo a Sánchez (2018), menciona que los métodos de investigación son un conjunto de técnicas que son coherentes y direccionan la investigación, como también el uso de determinadas herramientas, que permitirán la obtención del producto o resultados inductivo o deductivo.

3.3. Métodos de investigación

El método que se aplicara en las pruebas experimentales es la siguiente:

- Se determinará la gravedad específica del mineral, debido a que consta de varias fases distintas de minerales. También se determinará el análisis químico para determinar la composición del mineral.
- Se realizará pruebas de molienda para determinar el grado de liberación y pruebas de flotación con reactivos de flotación y ver la recuperación del cobre.

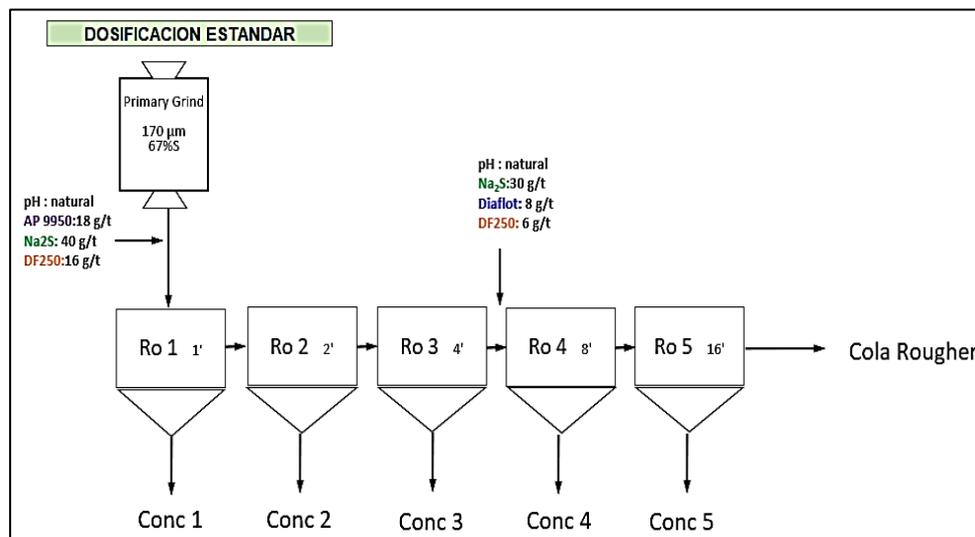
3.4. Diseño de investigación

Según Hernández Sampiere y otros (2014) menciona que el diseño es una estrategia concebida para obtener la información que se desea.

El diseño de investigación del estudio es aplicado cíclico, debido a que las pruebas se realizan en forma secuencial hasta terminar la prueba metalúrgica y no se desecha el relave hasta el final de la prueba. Las pruebas batch se realizan en el laboratorio Metalúrgico de la Empresa minera Marcobre, Mina Justa.

Las pruebas experimentales se planifico de la siguiente manera:

Figura 5: Diseño planificado de las pruebas estándar



Nota. Elaboración por los tesisistas

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población es la planta concentradora de la empresa minera Marcobre del estudio son las reservas totales de óxidos y sulfuros de cobre se estiman en 374 millones de toneladas de mineral, con una ley promedio de 0,51% en los óxidos de cobre y 0,71% en los sulfuros de cobre. (Talavera, 2019, p. 9)

3.5.2. Muestra

La muestra es el circuito de flotación lo constituyo 120 K de mineral muestreado de la zona mineralizada de alto y bajo grado de sulfuros de cobre que se preparó mediante la preparación mecánica y se redujo mediante el cuarteo en el separador de jones. La muestra final será de 20 kilogramos que se obtuvo por el muestreo sistemático, que se elige a cada intervalo de muestreo conocido como k fracción de muestreo.

$$k = \frac{N}{n}$$

Donde

N , peso total de muestra

n , peso de muestra necesitada

$$k = \frac{120 \text{ K}}{20 \text{ k}} = 6$$

Se selecciona 1 kilogramo por cada 6 kilogramos de muestra, la selección se hace el muestreo aleatorio simple de cada 6 kilogramos que se han separado por kilos.

$$n = 20 \text{ K}$$

3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica e instrumento según Arías Odón (2006) menciona, la técnica son los pasos para recabar datos” (P. 67), por ejemplo: los procedimientos para separar el agua del aceite para recolectar datos. “Instrumento es el recurso, dispositivo, papel impreso, que se utiliza para el registro de información. (P. 68)

Instrumentos de recolección de datos

- **Reporte de ensaye.** Se utilizará para obtener los resultados de las pruebas experimentales.
- **Prueba estándar.** Serie de pruebas que se realizará para obtener información de campo o laboratorio
- **Análisis de contenido cuantitativo.** Los reportes de ensayos emitidos por laboratorio.

3.7. Técnica de procesamiento y análisis de datos

La técnica de procesamiento de datos describe las distintas operaciones a las que son sometidos los datos o respuestas que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso. En cuanto al Análisis se definirán las Técnicas Lógicas o Estadísticas, que se emplearán para descifrar lo que revelan los datos recolectados (Grazia, 2017), se usó el programa de Microsoft Excel.

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico, se aplicó a los resultados de los datos obtenidos de las pruebas experimentales de la flotación y para la prueba de hipótesis se utilizó la t de student de una muestra. Se dio la estadística descriptiva y la estadística inferencial.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Los datos que se ha obtenido en el estudio se realizó teniendo en cuenta los valores éticos del investigador que da fe de los ensayos obtenidos. Además, las referencias del marco teórico, se editaron respetando la autoría de los investigadores.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Descripción del trabajo de campo

El estudio se realizó con muestras enviadas de geología aproximadamente 20 Kg, de las cuales se utilizaron para determinar ley de cabeza, gravedad específica, tiempo de molienda y tiempo de flotación.

Las muestras de mineral se fracturo en la chancadora de quijada 4"x3", siendo el tamaño mayor a 3", el producto pasante menor a 1/4" seguidamente, se procedió a fracturar en la chancadora de rodillos 5"x7" hasta obtener el 100% - 10 mallas quedando listo para realizar la prueba de molienda a 170 y 180 μm , y dosificación del colector AP 9950 y determinar el tiempo de flotación.

Se preparó los reactivos para las pruebas de flotación: NaCN al 1%, ZnSO_4 al 4 %, Z-11 al 1%, AP 9950 al 50%, Na_2S al 1%, Dowfroth 250 al 100%, en vasos de 150 cc, de igual manera se preparó las jeringas de 1 cm^3 , 5 cm^3 , 10 cm^3 y gotero para el espumante. También, se preparó las bandejas **para las** espumas de flotación, las celdas de 2 litro, para 1 kilogramo de mineral.

Los parámetros de estudio para determinar el tiempo de flotación, dependen de muchos factores como: Tamaño de partícula, densidad de Pulpa, pH de pulpa, tamaño de burbuja de aire, caudal de aire, tipo de reactivo, dosificación de reactivo, tiempo de contacto del reactivo, y para determinar el tiempo óptimo de flotación se utiliza la cinética de flotación que permite estimar la recuperación de minerales en función del tiempo. En el estudio utilizamos el modelo de Klimpel.

4.1.1. Ensaye químico

A continuación, se presenta la ley promedio blending del mineral del tajo Sulg 6 y 9 del ensaye químico de la muestra.

Tabla 2: Ensaye químico promedio

%Cu	Ag g/t	Au g/t	% Fe
1,66	6,20	0,075	13,53

Nota. Datos de reporte de laboratorio

El ensaye químico en tabla 2 nos muestra que el mineral tiene una ley de cabeza 1,66% de cobre, 6,20 g/t de plata, 13,53% de fierro y trazas de oro.

4.1.2. Gravedad específica

Se presenta la gravedad específica del mineral sulfurado del tajo Sulg 6 y 9, se determinó por el método de la fiola que se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 3: Gravedad específica

Nº de orden	Muestra	Gravedad específica
MES2306029	Sul -6	3,02
MES2306029	Sul -9	2,79

Nota. Datos de laboratorio

En la tabla 3 se debe destacar que las muestras que tienen mayor cantidad de pirita es el sulfuro de bajo grado, que tienen una gravedad específica de 3,02

g/cc. Mientras que el sulfuro de alto grado tiene mayor cantidad de bornita y chalcosita y tiene una gravedad específica de 2,79 g/cc.

4.1.3. Ensaye químico de muestras de geología

A continuación, se presenta los ensayos de la muestra sulfurada del mineral del tajo Sulf 6 y 9 y el mineral blending.

Tabla 4: Ensaye químico promedio

FECHA:		04/04/2023		RESULTADOS					
N° DE ORDEN DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN DE MUESTRA	HORA DE INGRESO	TURNO	CuTotal (%)	Cu_SS (%)	Cu_CN (%)	Cu_R (%)	Ag (ppm)	Fe (%)
MES2306029	Head-Sulf 6	15:58	A	0,459	-	-	-	-	-
MES2306029	SULF 9 CBZ	15:58	A	12,599	1,159	8,259	3,098	595,520	23,217
MES2306030	Sulf 6 Y 9 Blending 1:9	16:58	A	1,662	0,238	1,090	0,317	-	9,002

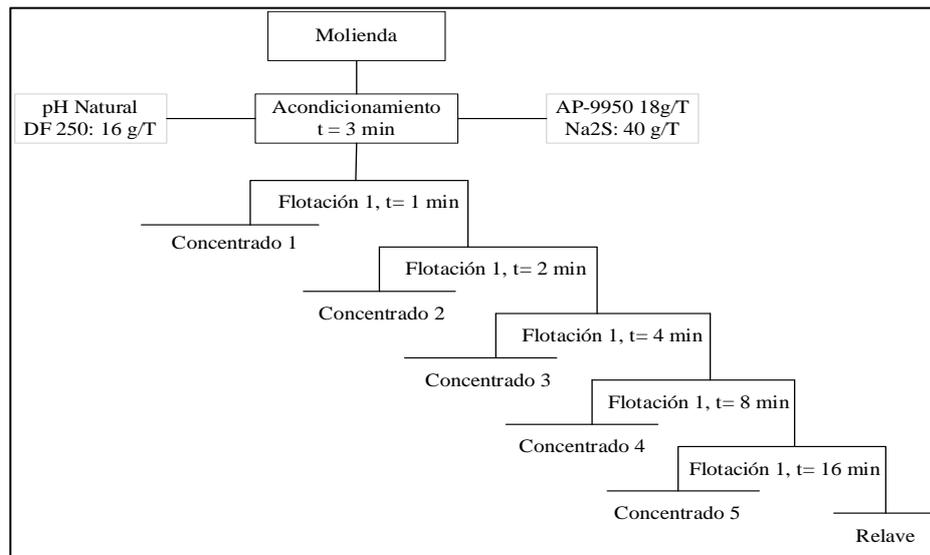
Nota. Datos de reporte de laboratorio

La tabla 5 muestra el cobre total del tajo Sulf 6 es de 0,459 %, siendo un cobre de baja ley, y el cobre del tajo Sulf 9 tiene 12,599 % de cobre total, además tiene 1,159 % de cobre soluble, 8,25% de cobre no soluble y 3,098% de cobre residual. El blending del mineral sulfurado Sulf 6 y 9, nos da una ley de 1,66 % de cobre total, cobre soluble 0,238 %, 1,090 de cobre no soluble y 0,317 de cobre residual. Siendo el mineral blending la muestra para las pruebas metalúrgicas del presente estudio; al final es ley de mineral que ingresa para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación batch, y tiene 1,66% de cobre total, 2,238% de cobre soluble, 1,09% de cobre no soluble y 0,317de cobre residual.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

En este ítem, presentamos el esquema de las pruebas experimentales de flotación batch para el mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9 blending, realizadas en el laboratorio metalúrgico de la empresa Pan American Silver.

Figura 6: Esquema de estudio de la cinética de flotación



Nota. Elaboración propia

La prueba se realiza de la siguiente manera:

- En la primera prueba experimental, se realiza la flotación batch a condiciones estándar similar a la operación de planta concentradora.
- A partir de la segunda prueba experimental se realiza como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Parámetros de los factores para la prueba experimental

Factores	Parámetros de pruebas	
Molienda (µm)	170	180
Colector gr/T: AP 9950	18	20

Nota. Los valores representan datos de las pruebas

4.2.1. Determinación del tiempo de molienda

La prueba de molienda se determinó aplicando procedimientos estándares de molienda para el mineral blending del mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9. Se presenta en la tabla 6 el tiempo de molienda.

Tabla 6: Granulometría

N° prueba	Tiempo	Micrones
1	5	340
2	7	235
3	9	180
4	12	134

Nota. Datos de laboratorio

Determinando el tiempo de molienda para la ecuación

$$Y = 1874.4X^{-1.064}$$

Siendo:

Y= tamaño de partícula en μm

X = tiempo de molienda min

Reemplazando:

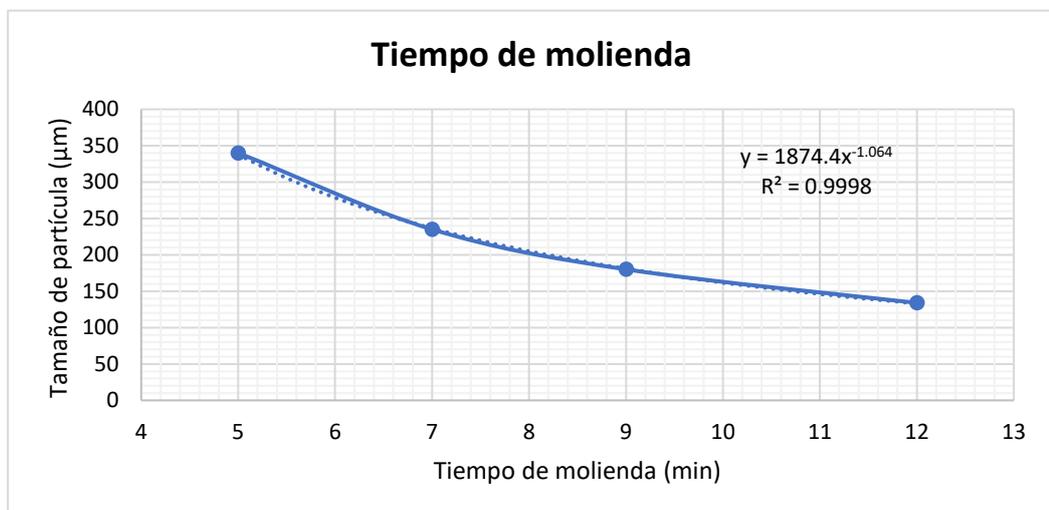
$$180 \mu\text{m} = 1874.4X^{-1.064}$$

$$X = 9,04 \text{ min}$$

Para moler a 180 μm se necesita 9 min.

De igual manera podemos ver en la figura 7 la curva de moliendabilidad de la muestra y la ecuación generada por la curva.

Figura 7: Tiempo de molienda



Nota. Datos de laboratorio

4.2.2. Primera prueba de dosificación del colector a condiciones estándar

Condiciones de las pruebas de flotación

Molienda

- Peso de mineral: 1000 gramos
- Granulometría: 170 μm
- NaCN: 40 g/TM
- ZnSO_4 : 160 g/TM
- Tiempo: 8,5 min

Flotación Rougher Bulk

- Acondicionamiento: 3 min
- pH flotación: 7,5
- Na_2S : 30 g/TM
- Z-11: 14 g/TM
- Diaflot: 8 g/TM
- D 250: 16 g/TM
- Flotación: 0, 1, 2, 4, 8, 16 min

Establecidos las condiciones de trabajo de las pruebas experimentales, se determinó los puntos de dosificación de los reactivos en la etapa de acondicionamiento y en la cuarta flotación, como se aprecia en la en la tabla 7.

Tabla 7: Dosificación de reactivos

Etapa	ORP			Adición de Reactivos, g/t			
	pH	mv	Cal	Z-11	D250	Na ₂ S	DIAFLOT
Molienda							
Acondicionam.			7,5	12,0	14,0	40	
Flot 1 Cu							
Flot 2 Cu							
Flot 3 Cu							
Flot 4 Cu				6	6	30	3
Flot 5 Cu							

Nota. Elaboración propia

Realizado las corridas de las pruebas experimentales, presentamos los ensayos del balance metalúrgico.

Tabla 8: Balance metalúrgico acumulado

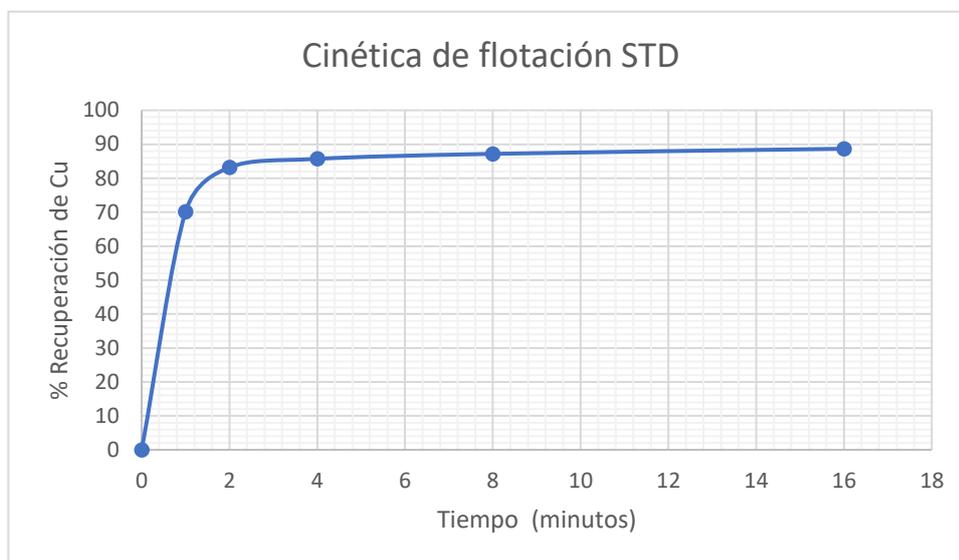
Producto	Tiempo min.	Peso %	Ensayos Químicos					Recuperación %Cu
			Cu	Cu_SS	Cu_CN	Cu_R	Fe	
			%	%	%	%	%	
Conc.1 Cu	1	6,2	2,4	0,00	0,0	0,0	0,0	75,1
Conc.2 Cu	2	7,3	18,8	0,00	0,0	0,0	0,0	83,2
Conc.3 Cu	4	9,1	15,3	0,00	0,0	0,0	0,0	84,5
Conc.4 Cu	8	15,1	9,5	0,00	0,0	0,0	0,0	87,2
Conc.5 Cu	16	20,7	7,1	0,00	0,0	0,0	0,0	88,7
Tail		79,3	0,23	0,00	0,00	0,00	0,0	11,3
Head (Calc)		100,0	1,65	0,00	0,0	0,0	0,0	100,0
Head (Assay)			1,66	0,24	1,1	0,3	9,00	

Nota. Datos de reporte de laboratorio

En la tabla 8 observamos, las recuperaciones de las flotaciones y calidad del concentrado obtenido, en el minuto uno se tiene un concentrado de 21,4% de cobre, con una recuperación de 75,1%, sin embargo, medida que incrementamos el tiempo de flotación la recuperación se incrementa hasta 88,7% y la calidad del concentrado disminuye, ver figura 3. En esta prueba se dosifica el Z-11, el

Dowfroth 250 (espumante) y el sulfuro de sodio (Na_2S) como activador de cobres secundario oxidados.

Figura 8: Curva de cinética de flotación STD



Nota. La figura muestra la curva de recuperación de cobre. Fuente: Datos de laboratorio

4.2.3. Segunda prueba de dosificación de colector AP 9950

Condiciones de las pruebas de flotación

Molienda

- Peso de mineral: 1000 gramos
- Granulometría: 170 μm
- NaCN: 40 g/TM
- ZnSO_4 : 160 g/TM
- Tiempo: 8,5 min

Flotación Rougher Bulk

- Acondicionamiento: 3 min
- pH flotación: 7,5
- Na_2S : 40 g/TM
- AP 9950: 14 + 4 (F4) g/TM
- Diaflot: 8 g/TM

- D 250: 16 g/TM
- Flotación: 0, 1, 2, 4, 8, 16 min

Presentamos los puntos de dosificación de reactivos en las etapas de flotación, ver tabla 9

Tabla 9: Dosificación de reactivos

Etapa	ORP		Adición de Reactivos, g/t				
	pH	mv	Cal	AP-9950	D250	Na ₂ S	DIAFLOT
Molienda							
Acondicionam.			7,5	14,0	14,0	40	
Flot 1 Cu							
Flot 2 Cu							
Flot 3 Cu							
Flot 4 Cu				4	6	30	3
Flot 5 Cu							

Nota. Elaboración propia.

Después de las pruebas de flotación tenemos, ver tabla 10

Tabla 10: Balance metalúrgico acumulado

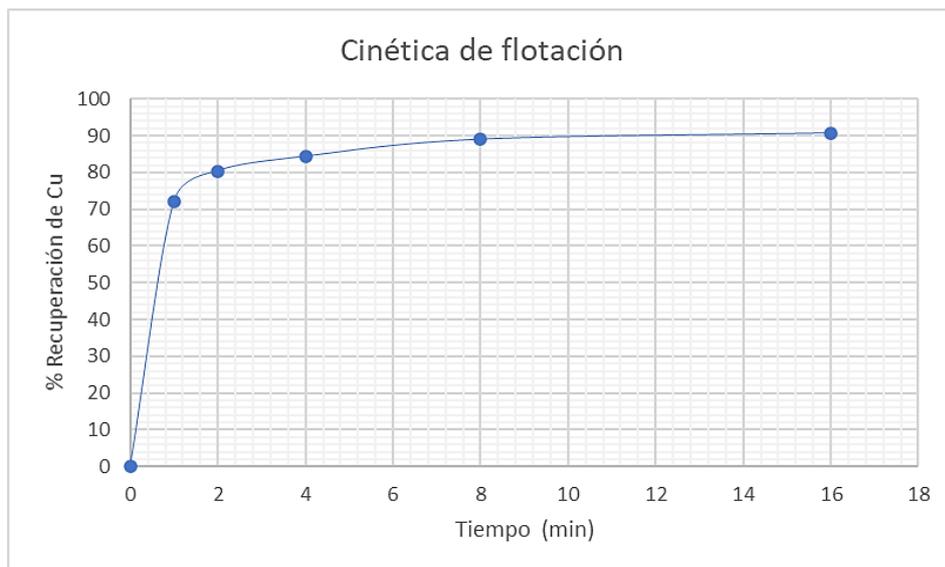
Producto	Tiempo min.	Peso %	Ensayos Químicos					Recuperación %
			Cu %	Cu_SS %	Cu_CN %	Cu_R %	Fe %	Cu
Conc.1 Cu	1	4,9	24,8	0,00	0,0	0,0	0,0	73,0
Conc.2 Cu	2	6,6	20,6	0,00	0,0	0,0	0,0	81,7
Conc.3 Cu	4	8,8	16,3	0,00	0,0	0,0	0,0	86,3
Conc.4 Cu	8	13,0	11,6	0,00	0,0	0,0	0,0	90,8
Conc.5 Cu	16	16,9	9,1	0,00	0,0	0,0	0,0	92,5
Tail		83,1	0,15	0,00	0,00	0,00	0,0	7,5
Head (Calc)		100,0	1,66	0,00	0,0	0,0	0,0	100,0
Head (Assay)			1,66	0,24	1,1	0,3	9,00	

Nota. Datos tomados del reporte metalúrgico

En la tabla 10, desde el minuto inicial de la flotación se observa un incremento de la recuperación de cobre en 73,1%, ver figura 4, y la calidad del

concentrado también se incrementa a 24,8%. En este punto debemos mencionar la influencia del colector AP 9950 en la recuperación de cobre, debido a que se mantuvo el grado de liberación en 170 μm . De igual manera **a partir de esto, al** incrementar el tiempo de flotación la recuperación de cobre se incrementó hasta 92,5% y la calidad de concentrado se redujo a 16,9%.

Figura 9: Curva de cinética de flotación

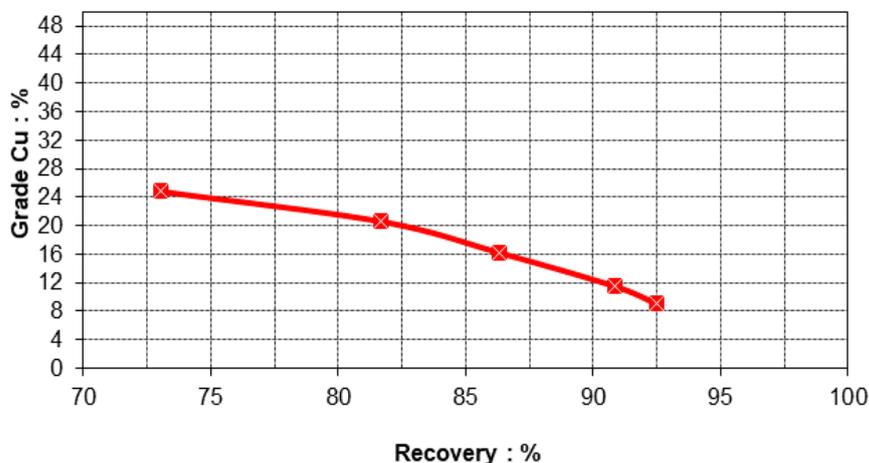


Nota. La figura muestra la curva de recuperación de cobre.

En la figura 9 se observa recuperación de cobre total en 92,5%, para un tiempo de flotación de 16 min.

Figura 10: Calidad de concentrado de cobre

Grade vs Cu Recovery



Nota. Datos de ensaye de laboratorio.

En la figura 10 tenemos el grado de concentrado, que a medida que incrementa la recuperación, el grado de concentrado disminuye hasta 9,1%.

4.2.4. Tercera prueba de dosificación de colector AP 9950

Condiciones de las pruebas de flotación

Molienda

- Peso de mineral: 1000 gramos
- Granulometría: 180 μm
- NaCN: 60 + 40 g/TM
- ZnSO₄: 160 g/TM
- Tiempo: 9 min

Flotación Rougher Bulk

- Acondicionamiento: 3 min
- pH flotación: 7.5
- Na₂S: 40 g/TM
- AP 9950: 12 + 6 (F4) g/TM
- Diaflot: 8 g/TM
- D 250: 14 + 6 g/TM
- Flotación: 0, 1, 2, 4, 8, 16 min

Los puntos de dosificación de reactivos se presentan en la tabla 11.

Tabla 11: Dosificación de reactivos

Etapa	ORP		Adición de Reactivos, g/t				
	pH	mv	Cal	AP-9950	D250	Na ₂ S	DIAFLOT
Molienda	7,5						
Acondicionam.				12,0	14,0	40	
Flot 1 Cu							
Flot 2 Cu							
Flot 3 Cu							
Flot 4 Cu				6	6	30	3
Flot 5 Cu							

Nota. Elaboración propia

De las corridas de las pruebas de flotación tenemos el balance metalúrgico, ver tabla 12.

Tabla 12: Balance metalúrgico acumulado

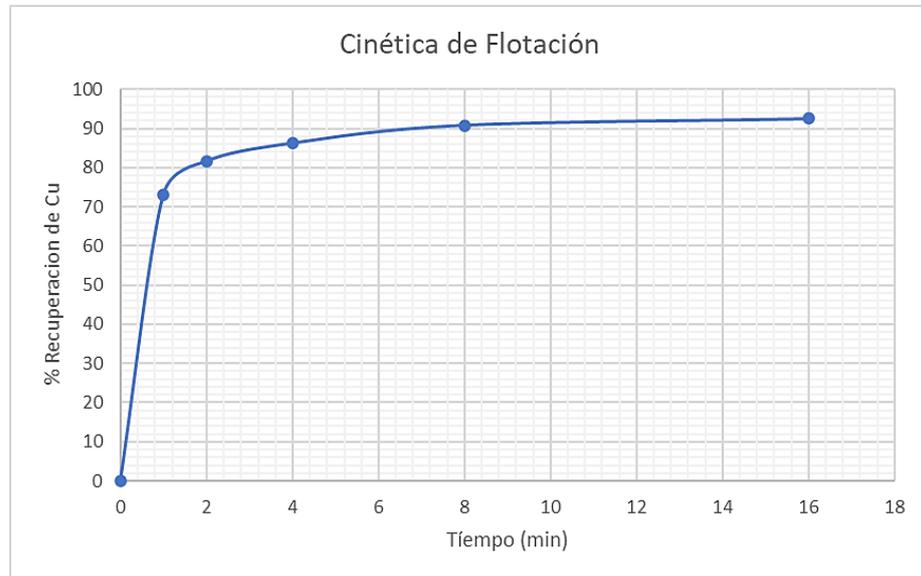
Producto	Tiempo min.	Peso %	Ensayos Químicos					Recuperación %
			Cu %	Cu_SS %	Cu_CN %	Cu_R %	Fe %	Cu
Conc.1 Cu	1	4,5	27,8	0,00	0,0	0,0	0,0	76,9
Conc.2 Cu	2	6,0	22,9	0,00	0,0	0,0	0,0	85,1
Conc.3 Cu	4	8,1	17,9	0,00	0,0	0,0	0,0	89,4
Conc.4 Cu	8	12,0	12,7	0,00	0,0	0,0	0,0	93,7
Conc.5 Cu	16	15,5	10,0	0,00	0,0	0,0	0,0	95,2
Tail		84,5	0,09	0,00	0,00	0,00	0,0	4,8
Head (Calc)		100,0	1,65	0,00	0,0	0,0	0,0	100,0
Head (Assay)			1,66	0,24	1,1	0,3	9.00	

Nota. Elaboración propia

En la tabla 12 se observa, desde el minuto uno una recuperación de 76,9% de cobre, con una calidad del concentrado de 27,8%, esto nos sugiere que al incrementar el grado de molienda a 180 μ m, se incrementa la recuperación de cobre, esto debido a que se mantuvo la dosificación del AP 9950 en 18 gr/T. Además, la calidad del concentrado mejora con respecto a la segunda prueba. De

igual manera, la flotación final de esta prueba alcanza una recuperación de 95,2% de cobre total y el grado de concentrado baja en 22,9%, 17,9%, 12,7% y 10,0% Cu.

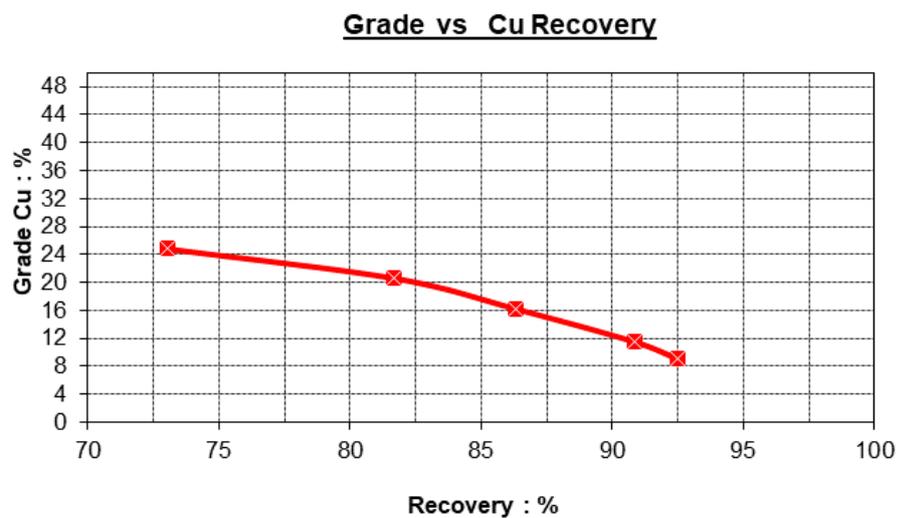
Figura 11: Curva de cinética de flotación



Nota. La figura muestra la curva de recuperación de cobre.

La figura 12 nos muestra la máxima recuperación de concentrado de cobre alcanzando 95,2%.

Figura 12: Grado de concentrado vs recuperación



Nota. Datos de ensaye de laboratorio.

4.2.5. Cuarta prueba de dosificación de colector AP 9950

Condiciones de las pruebas de flotación

Molienda

- Peso de mineral: 1000 gramos
- Granulometría: 180 μm
- NaCN: 40 g/TM
- ZnSO₄: 160 g/TM
- Tiempo: 9 min

Flotación Rougher Bulk

- Acondicionamiento: 3 min
- pH flotación: 7,5
- Na₂S: 40 + 30 g/TM
- AP 9950: 14 + 8(F4) g/TM
- Diaflot: 3 g/TM
- D 250: 16 + 6 (F4) g/TM
- Flotación: 0, 1, 2, 3, 4, 8, 16 min

Los puntos de dosificación de reactivos se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Dosificación de reactivos

Etapa	ORP		Adición de Reactivos, g/t				
	pH	mv	Cal	AP9950	D250	Na ₂ S	DIAFLOT
Molienda							
Acondicionam.	7,5			14,0	14,0	40	
Flot 1 Cu							
Flot 2 Cu							
Flot 3 Cu							
Flot 4 Cu				8	6	30	3
Flot 5 Cu							

Nota. Elaboración propia

Los resultados del balance metalúrgicos lo presentamos en la tabla 14

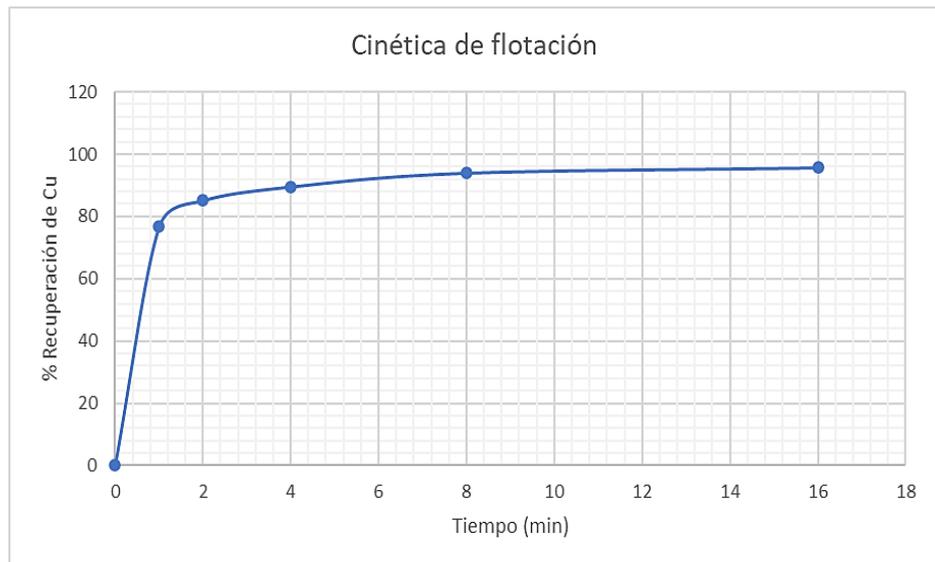
Tabla 14: Balance metalúrgico acumulado

Producto	Tiempo min.	Peso %	Ensayos Químicos					Recuperación %
			Cu %	Cu_SS %	Cu_CN %	Cu_R %	Fe %	Cu
Conc.1 CU	1	4,4	28,7	0,00	0,0	0,0	0,0	76,6
Conc.2 CU	2	5,8	24,2	0,00	0,0	0,0	0,0	85,1
Conc.3 CU	4	7,5	19,6	0,00	0,0	0,0	0,0	89,6
Conc.4 CU	8	11,0	14,1	0,00	0,0	0,0	0,0	94,0
Conc.5 CU	16	14,7	10,7	0,00	0,0	0,0	0,0	95,7
Tail		85,3	0,08	0,00	0,00	0,00	0,0	4,3
Head (Calc)		100,0	1,65	0,00	0,0	0,0	0,0	100,0
Head (Assay)			1,66	0,24	1,1	0,3	9,00	

Nota. Datos de reporte de laboratorio

En esta tabla 14 se observa, para 1 min de tiempo de flotación tenemos una recuperación de 76,6% para una calidad del concentrado de 28,7%. La dosificación de AP-9950 actúa mejor sobre partículas liberadas a 180 μm , y a medida que se sigue flotando se tiene una recuperación fina l de 95,7% de cobre total y la ley de cabeza de flotación se mantiene en 1.66% de cobre

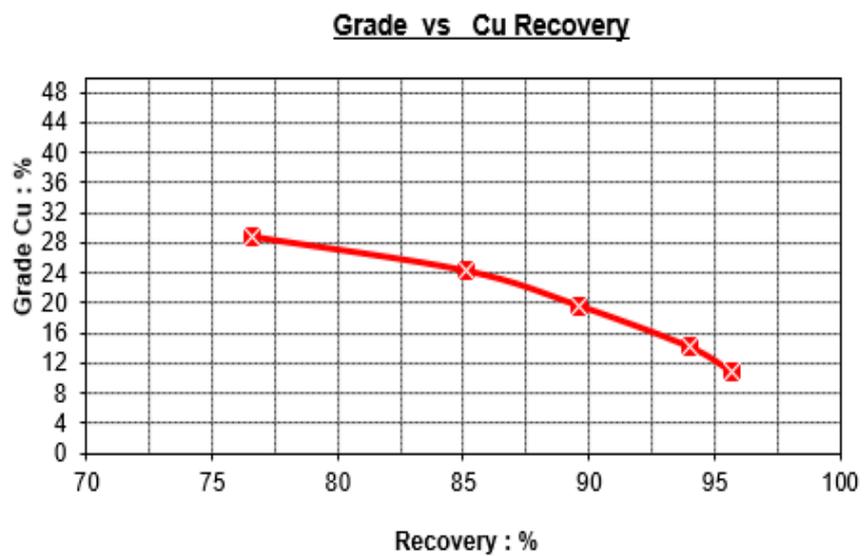
Figura 13: Curva de cinética de flotación



Nota. La figura muestra la curva de recuperación de cobre.

De igual manera que las anteriores tenemos el grado de concentrado para esta prueba

Figura 14: Grado de concentrado vs recuperación



Nota. Datos de ensaye de laboratorio

En la figura 14 se muestra, que el grado de concentrado disminuye a medida que la recuperación se incrementa dando al final un concentrado de 10,7%.

4.2.6. Determinación del tiempo de flotación con el modelo de Klimpel

El modelo de Klimpel nos permite el análisis del proceso cinético de flotación de minerales, en la que nos va permitir predecir la velocidad de flotación (tiempo), es muy importante optimizar la separación de minerales y mejorar la recuperación del mineral valioso. El estudio de la cinética de flotación se basa en la velocidad de adhesión de las partículas a la burbuja de aire y recuperación de las partículas en las espumas en la flotación.

La velocidad de adhesión y captura depende de las propiedades físicas y químicas de las partículas y las burbujas, concentración de reactivos en la pulpa, turbulencia y otros parámetros relevantes.

El modelo de Klimpel:

$$R = R_{inf} \left[1 - \frac{1}{K * t} * (1 - e^{(-Kt)}) \right]$$

Donde:

Rinf. Velocidad de adhesión en un inicio de la partícula.

K constante de adhesión y captura de partícula

R Velocidad de recuperación de partícula

t tiempo de flotación transcurrido desde el inicio de la flotación.

Determinando la recuperación con el modelo de Klimpel

Tabla 15: Resultados de ensaye químico de la cuarta prueba

Time	Recovery Adj.				
	%Cu	Cu_SS	Cu_CN	Cu_R	Fe
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	74,75	48,87	87,53	75,02	17,17
2	85,61	65,91	93,24	87,48	24,06
4	91,19	77,25	96,09	93,98	29,07
8	93,98	83,19	97,52	97,23	31,79
16	95,37	86,16	98,23	98,86	33,16

Nota. Datos de reporte de laboratorio

Aplicando el Solver determinamos los parámetros de las constantes de recuperación óptima (Rinf) y la velocidad de extracción del cobre (k), ver tabla 16.

Tabla 16: Parámetros de las constantes de recuperación

	Cu	Cu_SS	Cu_CN	Cu_R	Fe
R inf	96,76	89,14	98,94	100,48	34,53
k	4,339	1,874	8,669	3,864	1,579

Nota. Datos de reporte de laboratorio

Con estas constantes Rinf y K determinado, se calcula la función objetivo para determinar el tiempo óptimo de flotación.

Tabla 17: Tiempo de flotación

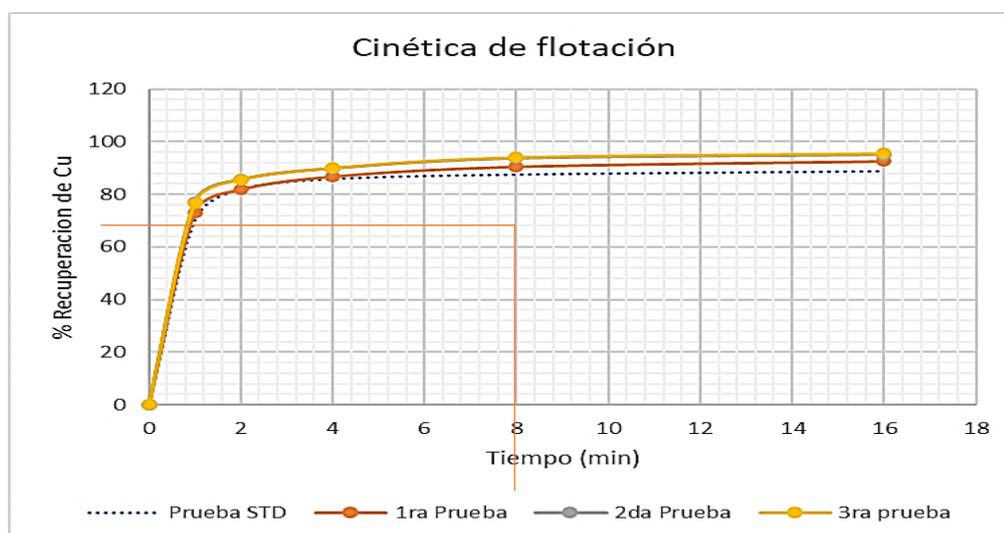
Tiempo Optimo (min)	9.00
Rec. Max	95.03

Nota. Datos de reporte de laboratorio

El tiempo óptimo se determina en función a la máxima recuperación del modelo de klimpel que es 95,03 %.

En la figura se presenta las comparaciones de las recuperaciones de cobre en función del tiempo con el modelo klimpel

Figura 15: Comparación de las cinéticas de flotación vs recuperación de cobre



Nota. Datos de reporte de laboratorio

En la figura 15 comparando las cinéticas de flotación de la primera, segunda, y tercera prueba en relación a la prueba estándar, tenemos mejores resultados en la tercera prueba con una recuperación óptima del modelo de 95,03% de cobre para un tiempo de 9 min.

Por lo tanto, el tiempo de flotación para los minerales sulfurados del tajo Sulf 6 y 9 blending es de 9 minutos,

4.3. Prueba de hipótesis

La contrastación de la hipótesis se realiza en función a la hipótesis general de la tesis.

Hipótesis Nula (H_0)

El tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9 no influye en la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C. - Nasca 2023

Hipótesis Alterna (H_1)

El tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9 influye en la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre S.A.C. - Nasca 2023

Estadístico de prueba

La demostración de la hipótesis del estudio se realiza mediante la comparación de la recuperación mínima obtenidas en planta para un promedio mínimo de 84%.

$$H_0: \mu = 84$$

$$H_1: \mu > 84$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,10$$

Estadístico de prueba

$$n_1 = 10$$

$$\bar{Y}_1 = 88.33$$

$$S_1^2 = 48.71$$

$$S_1 = 6.97$$

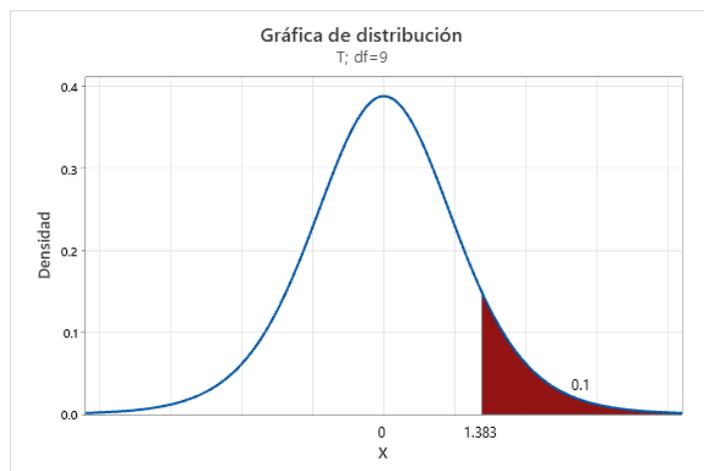
$$t_c = \frac{\bar{y} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$t_c = \frac{88.33 - 84}{\frac{6.97}{\sqrt{10}}} = 1.96$$

Valor de decisión: (Si $t_c > t_t$ se rechaza la H_0)

De tablas $t_{(9,0,10)} = 1.83$

$t_c > t_t$ reemplazando valores $1.96 > 1.83$



Como 1,96 es mayor que 1,83 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Decisión: Se acepta la Hipótesis Alterna

Conclusión: Podemos afirmar contundentemente que el tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9 influye en la recuperación de cobre, para un nivel de significancia del 0,10%.

4.4. **Discusión de resultados**

El objetivo de la tesis fue determinar el tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo sulf 6 y 9 para la recuperación de cobre de la Empresa Minera Marcobre.

Realizando la prueba de hipótesis se demuestra que el tiempo de flotación influye en la extracción de cobre para un t – student calculado de $1,96 > 1,83$ t – student de tablas, para un nivel de significancia de del 10%. En la teoría Azañero (2016) menciona que la cinética de la flotación se puede caracterizar por la variación en el tiempo de la calidad de producto transportado por las espumas. De esta manera se comprueba en forma práctica la variación de extracción de cobre depende del tiempo.

En el estudio se determinó el grado de liberación de partícula en $180\ \mu\text{m}$ para el mineral sulfurado del blending del tajo Sulf 6 y 9, siendo diferente al grado de liberación de la operación estándar de planta concentradora que trabaja a $170\ \mu\text{m}$. La molienda es muy importante porque genera el grado de liberación mena y ganga, evitando producir partículas de tamaño fino. Al respecto Feng y Aldrich (1999) menciona que el tamaño de partícula es un parámetro importante en la operación de flotación. Al respecto Metallurgist (2016) menciona que las partículas mayores a 65% mallas son difíciles de flotar por la burbuja de aire. Los antecedentes teóricos coinciden con el estudio, evidencia que el grado de molienda influye en la recuperación del mineral valioso.

La dosificación de colector también tiene influencia en la recuperación de cobre es así, que el remplazo del colector Z-11 por el AP-9950 que es un colector líquido selectivo, a una molienda de $180\ \mu\text{m}$, mejoró la recuperación de cobre a 95,03%, se debe destacar que se trabajó con un amuestra de 20 kg con un mineral

blending del tajos Sulf 6 y 9, en la que la mezcla se combinó en relación 1:9. Al respecto Paz y Maldonado (2016) en su tesis realizó la combinación de mineral del tajo la tigresa (25%), del cerro pelado (25%) y tajo playitas (50%), donde evaluó el tiempo de flotación en 15, 18 y 21 minutos y dosificó NaCN a 60 g/t, obteniendo recuperaciones sobre 89% de cobre, con un tiempo de flotación de 21 minutos. La prueba de flotación utilizó colectores estándar a 65% malla 200. Esto nos da a entender que cada mineral tiene sus propias características y tratamiento.

El tiempo de flotación se determinó en 9 minutos para una extracción de cobre de 95,03% aplicando el modelo de Klimpel, y una calidad de concentrado de 28% en los primeros minutos, para el mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9. Al igual que Leytón y Sánchez (2022) de las pruebas realizadas determinó que al incrementar el pH de 6 a 7 y tiempo de flotación la recuperación se incrementa de Pb y Zn a 87,9% y 87,17% respectivamente, y el tiempo de flotación aplicando el modelo de klimpel es de 7,88 min.

CONCLUSIONES

En la tesis se determinó que el tiempo de flotación del mineral sulfurado del tajo Sulf 6 y 9 es 9 minutos la cual tiene influencia en la recuperación de cobre, que mediante la dosificación colector AP 9950 se mejoró la extracción del cobre.

Según el objetivo específico 1, se determinó que el grado de liberación para los minerales sulfurados del blending Sulf 6 y 9 es 180 μm para un tiempo de molienda de 9 minutos, incrementándose la liberación de las partículas con respecto a la operación estándar (170 μm).

Según el objetivo específico 2, se determinó que la dosificación adecuada del colector AP 9950 es de 22 gr/T en la que se obtiene una máxima extracción de cobre del 95,03% a una molienda de 180 micrómetros.

Según el objetivo 3, se determinó que el modelo de Klimpel se ajusta bien a la recuperación obtenida en la cuarta prueba experimental en la que alcanza una meseta máxima de 90,3% de extracción de cobre para un tiempo de 9 minutos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas de moliendabilidad a los minerales que se envían a la planta concentradora para determinar el grado de liberación del mineral a nivel de laboratorio y su posterior aplicación a escala industrial.
- Se debe probar nuevos reactivos colectores en remplazo de los colectores tradicionales que permitan un mejor grado y mayor recuperación.
- Realizar más pruebas experimentales para los otros tajos existentes y alargar el tiempo de vida del yacimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Odón, F. (2006). *El proyecto e investigación*. Mexico: Episteme.
- Azañero Ortiz, A. (2015). Flotación y concentración de minerales. En A. Azañero Ortiz, *Flotación y concentración de minerales* (pág. 110). Lima: Colecciones Jóvic.
- Bravo Galvez, A. (-- de -- de 2004). *Manual de flotación de minerales*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-flotacion-minerales/manual-flotacion-minerales.shtml>
- Chalcosita (2014). Sulfuro de cobre. <https://idoc.pub/documents/sulfuro-de-cobre-6ngeq11rj6lv>
- Chemical, D. (1998). Manual de Productos Químicos para Minería. *Reactivos de Minería*, 56.
- Feng & Aldrich. (1999). Efecto del tamaño de partícula sobre el rendimiento de flotación de minerales de sulfuro complejos. Vol. 12. P. 721-731. [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268759900059X?via%3Dihub#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/S0892%2D6875\(99\)00059%2DX](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268759900059X?via%3Dihub#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/S0892%2D6875(99)00059%2DX)
- Grazia Moscariello, M. (2017). *Proyectos educativos CR*. AulaBlogs. Obtenido de <https://proyectoseducativoscr.wordpress.com/elaboracion-del-ante-proyecto/capitulo-iii-marco-metodologico-de-la-investigacion/3-6-tecnica-de-procesamiento-y-analisis-de-datos/>
- Hernández Sampiere, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hi Educación.
- Izquierdo Rojas, G., & Rojas Fuentes, V. (2016). Optimización del blending de minerales en el pad de lixiviación de la Mina Lagunas Norte usando parámetros de recuperación y aplicando LINGO (Linear General Optimizer Software). Obtenido de <https://acortar.link/ImSN9E>

- Maldonado, Yadri (2021). Sulfuros. Geologiaweb.
https://geologiaweb.com/minerales/sulfuros/#google_vignette
- Olortegui Herrera, F. R. (2019). *Cinética de flotación para predecir la recuperación del molibdeno a nivel laboratorio - 2019 [Tesis de titulación; Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14067/4852>
- Paz y Maldonado (2016). INFLUENCIA DEL TIEMPO DE FLOTACIÓN Y LA DOSIFICACIÓN DE NaCN SOBRE LA RECUPERACIÓN DE Cu MEDIANTE FLOTACIÓN BULK EN COMIVARIV S.A. - 2016. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c6181663-cef1-4427-9927-f521d231d89c/content>
- Pavez, O. (s.f.). Apuntes de concentración de mineral I. Atacama, Chile. Obtenido de https://www.academia.edu/5464018/APUNTES_DE_CONCENTRACION_DE_MINERALES_I
- Piñares, J., Barraza, J., Solarte, M., Orozco, M., & Orozco, M. (2012). Cinética de flotación de la materia orgánica en carbones del Cerrejón (Guajira) utilizando una columna de flotación. *Scielo*, 14(2), 6. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30332012000200009&script=sci_arttext
- Quiroz (1987). *Ingeniería metalúrgica. Operaciones unitarias en procesamiento de minerales*. <https://es.scribd.com/document/411300595/Ingenieria-Metalurgica-Quiroz-Nunez-pdf>

- Rodriguez Mendoza, K. J. (2015). Evaluación de la flotación de zinc en la planta concentradora Austra Duvas S.A. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Sánchez Kohn, P. (24 de 03 de 2018). *QuestionPro*. Obtenido de Métodos de investigación: <https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-investigacion/>
- Soto Contreras, D. A. (2017). Evaluación del efecto blending en la recuperación de minerales de Cu-Mo con alto contenido de arcillas, en la etapa de flotación rougher, y el efecto de reactivos en pruebas de laboratorio. [Tesis de grado. Universidad de Concepción, Concepción. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/2912>
- Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción - Chile: Universidad de concepción.
- Venancio Astucuri, T. (1981). *Fundamentos y aplicaciones principales de la flotación de minerales*. Colecciones ciencias.
- Vilchez; Medina; Coronel. (20 de Enero de 2012). *Revistas Investigación unmsm*. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/431>
- Villega, & Manzaneda. (04 de Agosto de 2006). *Remolienda de Mixtos en la Flotación Bulk Pb-Cu en Atacocha*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/222448/Remolienda-en-flotacion>

ANEXOS

ANEXO 1

HOJA MSDS DEL AP 9950
**FORMATO DE LA HOJA DE RESUMEN DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE
 TERRESTRE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS**

NOMBRE O DENOMINACION DEL REMITENTE: CYTEC PERU SAC	TELEFONO DEL REMITENTE 615-0202
---	---

DENOMINACION DEL MATERIAL AERO 9950 PROMOTER	CLASE	IMO CLASS 3
	No. ONU	UN1993

DESCRIPCION: Tionocarbamato modificado en mezcla de alcohol Estado Físico: Liquido Color: amarillo Apariencia: liquido oleoso de baja viscosidad.	CLIENTE: <u>MARCOBER</u> PROVEEDOR: <u>CYTEC</u> GIR: <u>7001-0000 251</u> CANTIDAD: <u>RS-EBL 4 3.22</u>
--	--

PELIGROS	a) Riesgos más importantes de la sustancia y sus efectos: Líquido Inflamable b) Estabilidad y reactividad: estable en condiciones normales. Evitar oxidantes, chispas, calor y ácidos c) Información Toxicológica: Nocivo por ingestión. Irrita vías respiratorias.
ACCIONES INMEDIATAS POR PARTE DEL CONDUCTOR ANTE LA EMERGENCIA	Detener el motor, si es posible llevar vehículo a un lugar abierto, alejar fuentes de calor y llamas. Mantener alejado al público y otros vehículos.
DERRAME	a) Perímetros de Seguridad recomendados: Mayor a 50 metros b) Precauciones para el medio ambiente: Contener derrame con arena o tierra. c) Métodos de limpieza: lavar con agua, recuperar derrames. d) Equipamiento mínimo del transportista: triángulos reflectantes, conos, extintor, pala.

INCENDIO	<p>Agentes de Extinción: rocío de agua, espuma para alcohol, dióxido de carbono o polvo químico</p> <p>Agentes de Extinción contraindicados: Chorro de agua de gran volumen</p> <p>a) Medidas especiales para combate del Fuego: Sofocar con neblina de agua a favor del viento</p> <p>b) Equipos especiales para el combate del fuego: Mascara con filtro para vapores ácidos.</p> <p>c) Equipo de protección personal compuesto por: guantes de protección adecuados, gafas protectoras y ropa de protección</p> <p>Llevar un aparato respiratorio con presión positiva y una máscara completa.</p>
PRIMERO AUXILIOS	<p>En caso de:</p> <p>a) Inhalación: Retirar la víctima al aire libre. Si respiración es dificultosa, aplicar oxígeno.</p> <p>b) Contacto con la piel: sacar ropa contaminada. Lavar con abundante agua y jabón.</p> <p>c) Contacto con los ojos: lavar con agua (15 minutos) y obtener atención médica. Manténgase el ojo bien abierto mientras se lava.</p> <p>d) Ingestión: Obtener atención médica inmediata.</p>
TELEFONOS DE EMERGENCIA	<p>(24 h) : 2-2473600 (CITUC Químico) 615-0202 PERU 55-68 7800 CHILE</p> <p>982117666 Teléfono Perú.</p> <p>0800 55 077 SUATRANS - EMERGENCIA</p>

Fecha emisión de la Hoja Resumen: 03.12.2021	Versión de la Hoja Resumen: 03
---	-----------------------------------

<p>ANEXO CANTIDAD Y PRESENTACION:</p> <p>Estado Físico: Líquido</p> <p>Color: amarillo</p> <p>Apariencia: líquido oleoso de baja viscosidad.</p> <p>lbcs de 850 kgs. c/u</p>
--

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa**1.1 Identificador del producto**

- Nombre comercial AERO® 9950 PROMOTER

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**Usos de la sustancia / mezcla**

- Químicos para minería

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Compañía**

Cytec de Mexico S.A. de C.V.
Km 40 Carretera Guadalajara-La Barca
Atequiza, Jalisco, Mexico C.P. 45860
Telephone: +52-376-737-4100

E-mail de contacto

manager.sds@solvay.com

1.4 Teléfono de emergencia

+55 11 3197 5891 [CareChem 24]

Exención de responsabilidad

El símbolo ® indica una marca registrada en los Estados Unidos y el ™ indica una marca comercial en los Estados Unidos La marca también puede estar registrada, pendiente de una solicitud para su registro o ser una marca comercial en otros países.

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros**2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación SGA (UN)**

Líquidos inflamables, Categoría 3
Toxicidad aguda, Categoría 4
Irritación cutáneas, Categoría 2
Lesiones oculares graves, Categoría 1
Sensibilización cutánea, Categoría 1
Mutagenicidad en células germinales, Categoría 2
Toxicidad específica en determinados órganos -
exposición única, Categoría 3

Toxicidad específica en determinados órganos -
exposiciones repetidas, Categoría 1
Peligro de aspiración, Categoría 1

Peligro a corto plazo (agudo) para el medio ambiente
acuático, Categoría 2
Peligro a largo plazo (crónico) para el medio
ambiente acuático, Categoría 2

H226: Líquidos y vapores inflamables.
H302: Nocivo en caso de ingestión.
H315: Provoca irritación cutánea.
H318: Provoca lesiones oculares graves.
H317: Puede provocar una reacción alérgica en la piel.
H341: Se sospecha que provoca defectos genéticos.
H335, H336: Puede irritar las vías respiratorias., Puede
provocar somnolencia o vértigo. (Sistema respiratorio,
Sistema nervioso central)
H372: Provoca daños en los órganos tras exposiciones
prolongadas o repetidas en caso de ingestión. (Hígado) , Oral
H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración
en las vías respiratorias.
H401: Tóxico para los organismos acuáticos.

H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos
nocivos duraderos.

ANEXO 2

Determinación del tiempo óptimo de flotación del sulfuro de cobre a nivel de laboratorio de muestras geológicas de la Empresa Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	FUENTE
<p style="text-align: center;">Problema general</p> <p>¿Cómo determinar el tiempo óptimo de flotación del sulfuro de cobre a nivel de laboratorio de muestras geológicas de la Empresa Minera Marcobre S.A.C. - Nasca 2023?</p>	<p style="text-align: center;">Objetivo general</p> <p>Determinar el tiempo de flotación de sulfuros de cobre a nivel de laboratorio de muestras geológicas de la Empresa Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023</p>	<p style="text-align: center;">Hipótesis general</p> <p>Con la determinación del tiempo óptimo de flotación del sulfuro de cobre se identificará el comportamiento de las muestras geológicas de la Empresa Minera Marcobre S.A.C. - Nasca 2023</p>	<p>V. Independiente: Muestras geológicas</p>	<p>Método de investigación Se aplica el método científico fundamentado: selección de problema, se formula la hipótesis.</p> <p>Tipo de Investigación: El tipo de investigación es experimental aplicado</p>	Pruebas experimentales
<p style="text-align: center;">Problema específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo realizar la flotación estándar a una granulometría de 170 µm a nivel de laboratorio de una muestra geológica para determinar el tiempo de flotación? • ¿Cómo realizar pruebas de flotación estándar a una granulometría de 170 µm con reducción del reactivo AP-9955 a nivel de laboratorio de una muestra geológica para determinar el tiempo de flotación? • ¿Cómo realizar pruebas de flotación estándar a una granulometría de 180 µm a nivel de laboratorio de una muestra geológica para determinar el tiempo óptimo de flotación? 	<p style="text-align: center;">Objetivo específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el tiempo de flotación de sulfuros de cobre a nivel de laboratorio de muestras geológicas de la Empresa Minera Marcobre S.A.C – Nasca 2023 • Realizar pruebas de flotación estándar a una granulometría de 170 µm con reducción del reactivo AP-9955 a nivel de laboratorio de una muestra geológica para determinar el tiempo de flotación. • Realizar pruebas de flotación estándar a una granulometría de 180 µm a nivel de laboratorio de una muestra geológica para determinar el tiempo óptimo de flotación. 	<p style="text-align: center;">Hipótesis específico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Con la determinación del tiempo óptimo de flotación del sulfuro de cobre se identificará el comportamiento de las muestras geológicas de la Empresa Minera Marcobre S.A.C. - Nasca 2023 • Con las pruebas de flotación estándar a una granulometría de 170 µm con reducción del reactivo AP-9955 a nivel de laboratorio de la muestra geológica se determinará el tiempo óptimo de flotación. • Con las pruebas de flotación estándar a una granulometría de 180 µm a nivel de laboratorio de la muestra geológica se determinará el tiempo óptimo de flotación. 	<p>V. Dependiente: Tiempo óptimo de flotación del sulfuro de cobre</p>	<p>Diseño de investigación: El método empleado es de carácter causa – efecto; metodología que permite establecer la relación existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido.</p> <p>Población Tonelaje de tratamiento de la planta concentradora de 6500 T.</p> <p>Muestra N= 20 K</p>	

ANEXO 3

Figura 1: *Muestra de mineral*



Figura 2: *Preparación Mecánica*



Figura 3: *Molienda de mineral*



Figura 4: *Equipo de flotación de laboratorio*



Figura 5: *Preparación de reactivo*



Figura 6: *Flotación de mineral*



Figura 7: *Espuma de flotación*



Figura 8: *Relave de flotación*



Figura 9: *Planta concentradora de sulfuros de mina Justa*

