



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**EVALUACIÓN DEL COLECTOR AM810 PARA MEJORAR LA  
RECUPERACIÓN DE COBRE EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN  
DE MINERAL MALAQUITA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**NILA HUISA TICONA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**evaluación del colector AM810 para mejorar la**

AUTOR

**nila huisa ticona**

RECUENTO DE PALABRAS

**15857 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**83102 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**105 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**15.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 22, 2024 8:56 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 22, 2024 8:58 PM GMT-5**

● **3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



Firmado digitalmente por MAQUERA  
GIL, Julio Alberto FAU/20145496170  
adl  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 22.07.2024 21:06:32 -05:00



Firmado digitalmente por CORDOVA  
GUTIERREZ, Nigolito FAU/  
20145496170 adl  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 24.07.2024 14:44:53 -05:00



## DEDICATORIA

A Dios, mi roca eterna, por guiarme por el camino correcto, y en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para persistir. Gracias por ser mi fuente de valentía en este logro académico.

A mi valerosa madre Valeriana, Esta tesis es el resultado de su amor y cariño, apoyo y sacrificio en mi viaje educacional. Tus palabras de aliento, tu perseverancia y tu ejemplo constante han sido mi inspiración. Que día a día trabajaste incansablemente y cada vez que me brindaste tu cariño son riquezas que valoro profundamente. Te amo con todo mi alma y corazón, esta tesis es mi modesta forma de agradecerte eternamente por todo lo que has hecho por mí.

A mi hermana Lucy, Gracias por instruirme que la vida es más divertida y maravillosa cuando hay compañía risas, secretos, te amo ¡este logro es de ti también!

A mis dos sobrinos hermosos, Giam Franco y Lesly, con su compañía, amor y cariño hicieron que culmine esta etapa, ¡y sus travesuras y buen humor los amo!

**Nila Huisa Ticona**



## AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso quien siempre me guía por el buen camino con su bendición se logró la culminación de esta hermosa etapa de mi vida.

A mi querida madre, quien con mucho amor y cariño me brindo su esfuerzo y apoyo incondicional, quien fue el cimiento para la finalización de una de mis metas proyectadas.

A toda mi familia, mis hermanos, hermanas, compañeros, docentes, asesores quienes con sus consejos me motivaron a culminar esta bonita carrera.

Al Ing. José Miguel Benavente, por sus sabios concejos.

A la Universidad NACIONAL DEL ANTIPLANO PUNO, que fue el centro de mi formación profesional.

Gracias a todos de corazón.

**Nila Huisa Ticona**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
1.2.1. Problema general .....	19
1.2.2. Problema específico .....	19
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
1.4.1. Objetivo general .....	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
<b>1.5. HIPÓTESIS .....</b>	<b>21</b>
1.5.1. Hipótesis generales .....	21
1.5.2. Hipótesis específicas .....	21



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.</b>	<b>BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>27</b>
2.2.1.	Concentración de minerales por Flotación.....	27
2.2.2.	Concentración de minerales por flotación.....	28
2.2.2.1.	Historia del desarrollo .....	29
2.2.2.2.	Campos de aplicación del proceso de Flotación de minerales ...	31
2.2.2.3.	Mecanismos de la Flotación de minerales.....	32
2.2.3.	Características del proceso .....	34
2.2.4.	Clasificación de la flotación de minerales .....	35
2.2.5.	Variables de la flotación.....	35
2.2.5.1.	Granulometría.....	35
2.2.5.2.	Dosificación de reactivos .....	36
2.2.5.3.	Tiempo de flotación.....	36
2.2.5.4.	pH.....	36
2.2.5.5.	Aireación y acondicionamiento de la pulpa .....	36
2.2.6.	Flotación de minerales sulfuros.....	37
2.2.7.	Flotación de minerales de óxidos de cobre .....	38
2.2.8.	Reactivos de la flotación. ....	40
2.2.8.1.	Colectores.....	40
2.2.8.2.	Agentes espumantes .....	42
2.2.8.3.	Modificadores o reguladores.....	42



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>ESTUDIO DE LA MUESTRA.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA.....</b>	<b>45</b>
	3.2.1. Análisis químico del mineral de cabeza .....	45
	3.2.2. Análisis del mineral por microscopía óptica .....	45
	3.2.3. Análisis químico del mineral de cabeza por Difracción de rayos X .....	46
<b>3.3.</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>49</b>
	3.3.1. Tipo de investigación .....	49
	3.3.2. Diseño de la investigación.....	49
	3.3.3. Población.....	49
	3.3.4. Muestra .....	49
<b>3.4.</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>50</b>
	3.4.1. Materiales .....	50
	3.4.2. Equipos del Laboratorio Metalúrgico .....	50
	3.4.3. Material de Laboratorio.....	51
	3.4.4. Reactivos químicos para las pruebas de flotación de minerales .....	51
	3.4.5. Otros .....	52
<b>3.5.</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>52</b>
	3.5.1. Variable independiente.....	52
	3.5.2. Variable dependiente.....	53
<b>3.6.</b>	<b>DISEÑO FACTORIAL .....</b>	<b>53</b>
	3.6.1. Matriz de diseño experimental .....	54
<b>3.7.</b>	<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>54</b>
	3.7.1. Preparación mecánica del mineral de malaquita .....	54



3.7.2. Etapa de molienda .....	56
3.7.3. Prueba metalúrgica de moliendabilidad .....	57
3.7.4. Pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita.....	60
3.7.4.1. Determinación de la humedad del mineral.....	61
3.7.4.2. Determinación de la gravedad específica del mineral por el método del picnómetro.....	61
3.7.4.3. Determinación del porcentaje de sólidos en el molino de bolas, de 7”1/2 x 12” .....	62
3.7.4.4. Determinación del peso del mineral para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita.....	63
3.7.4.5. Determinación del porcentaje de sólidos de la pulpa en la celda de flotación .....	63
3.7.4.6. Determinación del volumen de la celda de flotación tipo DENVER. ....	64
3.7.4.7. Determinación del peso de mineral para las pruebas de flotación de malaquita, en la celda de Flotación tipo DENVER.....	64
3.7.4.8. Procedimiento para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita en el laboratorio.....	66
3.7.4.9. Preparación de reactivos químicos de flotación para las pruebas metalúrgicas experimentales de flotación de malaquita.....	68

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. EVALUCIÓN DE LAS VARIABLES DE FLOTACIÓN DE MALAQUITA</b> .....	<b>73</b>
---	-----------





4.1.1. Resultados de la flotación de Cu “estándar” a condiciones de planta actual .....	73
4.1.2. Resultados de las 6 pruebas experimentales del diseño propuesto .....	75
4.1.3. Análisis de las pruebas de flotación con el diseño factorial $2^2$ .....	79
<b>4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

**Área** : Metalurgia extractiva

**Tema** : Flotación de minerales oxidados

**Fecha de sustentación:** 31 de julio del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Fecha memorables de la Flotación.....	31
<b>Tabla 2</b> Análisis químico del mineral de cabeza.....	45
<b>Tabla 3</b> Contenido de las especies presentes por difracción de rayos X (DRX) del mineral de cabeza.....	47
<b>Tabla 4</b> Análisis químico por fluorescencia del mineral de cabeza.....	48
<b>Tabla 5</b> Operacionalización de Variables .....	53
<b>Tabla 6</b> Matriz de experimentos para selección de variable .....	54
<b>Tabla 7</b> Carga de bolas para el molino de laboratorio de 7 ½ “ x 12” .....	56
<b>Tabla 8</b> Distribución del tamaño de bola del molino de laboratorio de 7 ½ “ x 12” .....	57
<b>Tabla 9</b> Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad: Tiempo de 5 min .....	57
<b>Tabla 10</b> Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad a tiempo de 10 min .....	58
<b>Tabla 11</b> Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad a tiempo de 15 min .....	58
<b>Tabla 12</b> Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad a tiempo de 20 min .....	58
<b>Tabla 13</b> Relación de los tiempos de molienda Versus % Acumulado (-) Malla 200 .....	59
<b>Tabla 14</b> Tiempos de molienda obtenidos mediante la ecuación lineal.....	60
<b>Tabla 15</b> Valor promedio de la gravedad específica.....	62
<b>Tabla 16</b> Preparación y concentración de reactivos de flotación para la flotación de malaquita.....	69



<b>Tabla 17</b>	Condiciones para realizar la prueba metalúrgica “ESTÁNDAR” de flotación de Malaquita.....	70
<b>Tabla 18</b>	Condiciones acumuladas para la prueba metalúrgica “ESTÁNDAR” de flotación de malaquita.....	71
<b>Tabla 19</b>	Condiciones para las pruebas metalúrgicas de flotación de Malaquita con las variables en estudio.....	71
<b>Tabla 20</b>	Condiciones acumuladas para las pruebas de flotación de malaquita con las variables en estudio.....	72
<b>Tabla 21</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación ESTANDAR.....	74
<b>Tabla 22</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 1.....	75
<b>Tabla 23</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 2.....	76
<b>Tabla 24</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 3.....	76
<b>Tabla 25</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 4.....	77
<b>Tabla 26</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 5.....	77
<b>Tabla 27</b>	Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 6.....	78
<b>Tabla 28</b>	Recuperación del Cobre total en el diseño factorial .....	79
<b>Tabla 29</b>	Variables y niveles estudiados en el diseño experimental para las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita.....	79
<b>Tabla 30</b>	Recuperación del Cobre total en el diseño factorial .....	80
<b>Tabla 31</b>	ANOVA para porcentaje de recuperación de Cu.....	80



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b>	Burbujas de aire con anexión de partículas de Sulfuro de Cobre ..... 29
<b>Figura 2</b>	Clasificación de la aplicación de la flotación ..... 35
<b>Figura 3</b>	Ubicación de la Unidad minera ..... 44
<b>Figura 4</b>	Imagen de la malaquita y otras especies observadas en el microscopio de barrido electrónico..... 46
<b>Figura 5</b>	Difractograma de rayos X del mineral de cabeza..... 47
<b>Figura 6</b>	Diagrama de flujo para la preparación del mineral de malaquita ..... 56
<b>Figura 7</b>	Relación lineal entre el tiempo de molienda VS % Ac (-) Malla 200..... 59
<b>Figura 8</b>	Diagrama de flujo para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita en el laboratorio ..... 68
<b>Figura 9</b>	Diagrama de Pareto Estandarizado para Recuperación de Cu ..... 81
<b>Figura 10</b>	Grafica de Efectos principales ..... 82
<b>Figura 11</b>	Grafica de superficies para la recuperación de Cu ..... 82
<b>Figura 12</b>	Reporte de laboratorio de la prueba estándar. .... 90
<b>Figura 13</b>	Prueba N01 ..... 91
<b>Figura 14</b>	Prueba N02 ..... 92
<b>Figura 15</b>	Prueba N03 ..... 93
<b>Figura 16</b>	Prueba N04 ..... 94
<b>Figura 17</b>	Prueba N05 ..... 95
<b>Figura 18</b>	Prueba N06 ..... 96
<b>Figura 19</b>	Ley de cabeza ..... 97
<b>Figura 20</b>	Preparación de muestra mineral Malaquita ..... 98
<b>Figura 21</b>	Preparación de reactivos de flotación de minerales..... 98



<b>Figura 22</b>	Control del pH de la muestra.....	99
<b>Figura 23</b>	Reactivo colector de flotación de minerales oxidados de cobre AM810 ..	99
<b>Figura 24</b>	Molino de bolas de laboratorio 7 1/2” diámetro x 12” largo.....	100
<b>Figura 25</b>	Celda de flotación de laboratorio tipo DENVER de 500 g y 1000 g de capacidad.....	100
<b>Figura 26</b>	Prueba metalúrgica de flotación de minerales de malaquita. ....	101
<b>Figura 27</b>	Secado de productos obtenidos en la flotación de malaquita.....	101
<b>Figura 28</b>	Muestras de productos obtenidos como concentrado, medios y relave en las pruebas de flotación de malaquita listos para sus análisis químicos por cobre total.....	102



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Reportes de laboratorio.....	90
<b>ANEXO 2</b> Evidencias fotográficas.....	98
<b>ANEXO 3</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	103
<b>ANEXO 4</b> Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional .....	104



## ACRÓNIMOS

%:	Porcentaje.
M:	Malla.
°C:	Grados centígrados.
AM810:	Hidroxamato de alquilo.
g:	Gramos.
g/TM:	Gramos por tonelada métricas.
min:	Minutos.
RPM:	Revoluciones por minuto.
µm:	micrómetro.
mg/L:	Miligramos por litro.
pH:	Potencial de hidrogeno.
TM:	Toneladas métricas.
cm:	Centímetro.
kg:	Kilogramo.
ml:	Mililitros.
T:	Toneladas.



## RESUMEN

La presente investigación describe el desarrollo de las pruebas metalúrgicas de flotación para evaluar al colector AM810 de AXIS HOUSE un compuesto químico a base de alquil hidroxamato muy reconocido en África central, en la recuperación óptima de cobre en la flotación de la malaquita, previa sulfuración con sulfuro de sodio en combinación con los colectores Xantato Z-6, Ditiófosfato ER-1404 y el espumante MIBC. Con el objetivo principal de evaluar el efecto de AM810 de AXIS HOUSE para la mejora la recuperación de cobre en el proceso de flotación de mineral malaquita a nivel laboratorio. Considerando la recuperación de cobre a diferentes dosificaciones del colector AM810 de 300 g/TM y 500 g/TM con un nivel intermedio de 400 g/TM; pH de 7 y 9 con un nivel medio de 8, la granulometría se considera como un parámetro estándar del 60 % Malla menos 200. La cantidad de pruebas metalúrgicas fueron, 5 de moliendabilidad a diferentes tiempos (5, 10, 15, 20 y 25 minutos) y 6 de flotación considerando el diseño factorial  $2^2$  con 2 repeticiones en el punto central con los factores de pH y dosificaciones del colector. La metodología de investigación fue aplicada, de enfoque cuantitativo, diseño experimental y explicativo, donde el procedimiento experimental se realizará en el Laboratorio Metalúrgico de Consultoría Minera “FLOTMIN PERU E.I.R.L. Como resultados, tanto la dosificación del colector AM810 como el pH de flotación son variables críticas para maximizar la recuperación de cobre en la flotación de malaquita. La dosificación óptima de 400 g/TM y un pH de 8 proporcionan la mayor recuperación de Cu del 82.28 %, un 29.66 % más en comparación a la prueba metalúrgica ESTANDAR de 52.68 %, lo que sugiere que el equilibrio entre estos factores es esencial para el éxito del proceso. Estos hallazgos no solo confirman la efectividad del colector AM810, sino que también ofrecen una guía práctica para su aplicación en condiciones similares, contribuyendo así a mejorar los procesos de recuperación de cobre a nivel de laboratorio y potencialmente a escala industrial.

**Palabras Clave:** Alquil hidroxamato, Colector AM810, Dosificación, Oxido de cobre, pH.





## ABSTRACT

The present investigation describes the development of metallurgical flotation tests to evaluate the collector AM810 from AXIS HOUSE, a chemical compound based on alkyl hydroxamate well known in Central Africa, in the optimum recovery of copper in the flotation of malachite, prior sulfuration with sodium sulfide in combination with the collectors Xanthate Z-6, Dithiophosphate ER-1404 and the frother MIBC. The main objective was to evaluate the effect of AM810 from AXIS HOUSE for the improvement of copper recovery in the malachite mineral flotation process at laboratory level. Considering the copper recovery at different AM810 collector dosages of 300 g/TM and 500 g/TM with an intermediate level of 400 g/TM; pH of 7 and 9 with an average level of 8, the particle size is considered as a standard parameter of 60 % minus 200 mesh. The number of metallurgical tests were, 5 of grindability at different times (5, 10, 15, 15, 20 and 25 minutes) and 6 of flotation considering the factorial design 2<sup>2</sup> with 2 repetitions at the central point with the factors of pH and collector dosages. The research methodology was applied, quantitative approach, experimental and explanatory design, where the experimental procedure will be performed in the Metallurgical Laboratory of Mining Consulting "FLOTMIN PERU E.I.R.L. As results, both the dosage of the AM810 collector and the flotation pH are critical variables to maximize copper recovery in malachite flotation. The optimum dosage of 400 g/TM and a pH of 8 provide the highest Cu recovery of 82.28 %, 29.66 % more compared to the STANDARD metallurgical test of 52.68 %, suggesting that the balance between these factors is essential for the success of the process. These findings not only confirm the effectiveness of the AM810 collector, but also provide practical guidance for its application under similar conditions, thus contributing to improved copper recovery processes at the laboratory and potentially industrial scale.

**Keywords:** Alkyl hydroxamate, AM810 collector, Dosage, Copper oxide, pH.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se sabe que, los minerales de cobre se clasifican en dos grupos; sulfuros y óxidos por lo general los minerales sulfurados de cobre como la chalcopirita, covelina, bornita, chalcosina, digenita, son los que tiene condiciones más favorables al proceso de concentración por flotación que es una técnica muy económica (Lotter et al, 2016) mientras que los minerales oxidados de cobre tienen las condiciones más favorables al proceso de lixiviación acida que es una técnica con ciertas limitaciones. Uno de los minerales de óxido de cobre más comunes es la malaquita. Como ocurre con la mayoría de los minerales de óxido de cobre, la malaquita no responde bien a los colectores tradicionales de sulfuro de cobre, como los xantatos y se requieren esquemas de flotación alternativos, son difíciles de flotar directamente debido a sus superficies hidrófilas (Liu et al (2020). Si bien se ha demostrado que diversos colectores son efectivos para recuperar malaquita a menudo ofrecen una selectividad pobre sobre los minerales de ganga.

El Perú según estadísticas del año 2022 ocupó el segundo lugar a nivel mundial en la producción del cobre con 2.2 millones de toneladas métricas, gracias al gran potencial de reservas de minerales de cobre que el país tiene por explorar y explotar (Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 2023), en ese sentido el Perú es un país netamente minero cuya economía se mueve en base a este rubro, donde uno de los minerales que más problemas tiene en el procesamiento por flotación son los óxidos, porque la mayoría de reactivos de flotación tienen afinidad de colección con los minerales sulfurados es así que las recuperaciones de los óxidos con el método tradicional de



sulfuración son bajas alcanzando solamente al 50 %, generando pérdidas económicas a los inversionistas mineros.

En la unidad minera “MINA DON ABELINO”, ubicada en el Departamento de Ica, Provincia de Ica, Distrito los Aquijes/Yauca del Rosario, la recuperación de óxidos de cobre no ha superado el 70 % de recuperación, generando pérdidas económicas para la empresa minera. Por ende, la finalidad de este estudio fue evaluar el efecto del colector de óxidos de cobre AM810 de AXIS HOUSE mediante las variables de dosificación del reactivo y pH de flotación, para mejorar la recuperación del cobre en la flotación de la malaquita, para poder difundir este reactivo en nuestro país en beneficio de las pequeña y mediana minería ya que este producto es poco conocido en nuestro medio. Esta investigación es desarrollada a nivel laboratorio en el Laboratorio Metalúrgico de Consultoría Minera “FLOTMIN PERU E.I.R.L.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál será el efecto del colector de óxidos de cobre AM810 de AXIS HOUSE mediante las variables de dosificación del reactivo y pH de flotación, para mejorar la recuperación del cobre en la flotación de la malaquita a nivel laboratorio?

### **1.2.2. Problema específico**

- ¿Cuál es la dosificación más adecuada del colector de óxidos de cobre AM810, que permita aumentar el porcentaje de recuperación de cobre?
- ¿Cuál es el nivel de pH de flotación adecuado que permita aumentar el porcentaje de recuperación de cobre?



### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Con la elección del colector para óxidos de cobre AM810 DE AXIS HOUSE, para la investigación metalúrgica en el laboratorio de este mineral se van a mejorar las recuperaciones en la flotación de la malaquita que a su vez le va a dar mayor valor comercial a sus concentrados.

Uno de los minerales extraídos de unas de sus labores de la empresa minera ocasiona variaciones en sus recuperaciones al momento de realizarle su tratamiento de concentración por flotación esto se debe porque son minerales del tipo óxido de cobre sobre todo constituido en su mayoría por malaquita por lo que es necesario investigar mediante pruebas experimentales de laboratorio algún colector de flotación apropiado para este tipo de mineral para obtener una mejora en su recuperación.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto del colector de óxidos de cobre AM810 de AXIS HOUSE mediante las variables de dosificación del reactivo y pH de flotación, para mejorar la recuperación del cobre en la flotación de la malaquita a nivel laboratorio.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la dosificación más adecuada del colector de óxidos de cobre AM810, que permita aumentar el porcentaje de recuperación de cobre.
- Determinar el nivel de pH de flotación adecuado que permita aumentar el porcentaje de recuperación de cobre.



## **1.5. HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis generales**

- Se logrará un efecto positivo (incremento) con el colector de óxidos de cobre AM810 de AXIS HOUSE en la recuperación del cobre de la malaquita por flotación.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- La dosificación del colector de óxidos de cobre AM810 tiene un impacto significativo en el aumento del porcentaje de recuperación de cobre
- El nivel de pH de flotación permitirá aumentar el porcentaje de recuperación de cobre.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Se describieron los antecedentes tanto nacionales e internacionales que se utilizaron como referencia para la ejecución de la presente investigación fueron las siguientes:

A continúan se presentan los estudios a nivel local, nacional e internacional relacionados al uso del colector de óxidos de cobre AM810 en la flotación de malaquita.

A nivel local, Riquelme y Torre (2022) en su investigación tuvo por objetivo de evaluar los colectores A-3418 y Z-6 para aumentar la recuperación de cobre en el proceso de flotación de minerales mixtos de cobre a nivel de laboratorio. El estudio realizó experimentalmente, simulando las pruebas metalúrgicas de flotación con las variables que se manejan en planta, efectuando las mismas características de flotación, como la densidad de pulpa, pH, circuito de flotación, dosificación etc. Las pruebas metalúrgicas se realizaron manipulando la dosificación de los colectores A-3418 y Z-6 y comparando con la prueba estándar, como resultado se encontró sustituyendo 10 g/t de A-3418 por Z-6 se obtiene la mayor recuperación de cobre a nivel de laboratorio, llegando al 89.57% de cobre en el concentrado, cuyo valor es 1.4% más de cobre que la obtenida en la prueba estándar. Realizando una evaluación económica se logra mejorar los beneficios \$ 756.30, utilizando el contenido metálico y las variables de estudio como soporte de apoyo. Entonces este resultado aumenta el beneficio - costo del proceso y mejora la recuperación. En conclusión, se halló para el proceso de flotación de cobre mixto reemplazar la



dosificación que se le quita al AEROPHINE 3418 por el Xantato Z-6 para el proceso de flotación de minerales mixtos a nivel de laboratorio en la Planta de Beneficio Jesús S.A.C.

En relación al estudio a nivel nacional se tiene a Condori (2020), en su investigación titulada “Evaluación de las cinéticas de flotación de Cu de un mineral mixto a partir del análisis de cobre secuencial” tuvo como objetivo evaluar cómo se comporta las tasas de flotación de sulfato de cobre (CuS Ac.), tiocianato de Cu y residuos de Cu en un mineral que contiene una combinación de minerales con alto contenido de óxidos. Esto se realizó aplicando diferentes dosis de reactivos de flotación de óxidos en una prueba estándar con el fin de mejorar tanto la recuperación del CuS Ac. y total de cobre. Evaluó las variables de recuperación con colectores diseñados para flotar minerales de óxidos de cobre, con los reactivos: AM810, AM5AC Y TLQ2. La muestra fue sometida a diferentes etapas como como chancado, homogenización y división hasta obtener proporciones de 1.4 kg, para posteriormente determinar el tiempo de molienda óptimo para llegar a un P80 de 240 micrones realizando dos pruebas de 4 y 11 minutos respectivamente. Tomando como base las dosificaciones en planta, una vez que finalizo sus pruebas experimentales en el laboratorio llego a una recuperación de óxidos de cobre del 74.20 %. Realizó la flotación, teniendo en cuenta el pH de 9.5, solidos 38%, y 950 RPM. En conclusión, el colector AM810 adicionado en bajas dosis no tiene incrementos en la recuperación, pero con una dosis de 120 g/TM la recuperación de óxidos de cobre se incrementa en un 9 % más que la recuperación en planta, también puntualizo que el colector AM5C en dosis de 50 g/TM incremento la recuperación en 5.7 % respecto a la recuperación en planta, el colector TLQ2 no rindió las recuperaciones esperadas.

A nivel internacional, se tiene a Marion et al. (2017), en su investigación titulada “Una evaluación de colectores de hidroxamato para la flotación de malaquita” tuvo como objetivo evaluar el efecto de e cinco hidroxamatos de alquilo y dos hidroxamatos



aromático en la flotación de un mineral sintético compuesto de malaquita y cuarzo. Se suspendieron las muestras de malaquita y cuarzo en 200 ml de KCl 10-3M en un rango de pH de 4 a 10 para después ser medidas en la potencial zeta durante 5 minutos en cada pH de tomar una medición, ello para comprender la adsorción de reactivos sobre la superficie de los minerales. Los experimentos de flotación mezclando 10 g de malaquita con 90 g de cuarzo, utilizando una celda de flotación Denver de 1.5 L que operaba a 1200 rpm con caudal de aire de 5.6 L min<sup>-1</sup> variando la temperatura en 20 a 60°C, después de cada concentrado el pH fue reajustado al valor deseado, así como la altura de nivel de agua, manteniendo una dosis constante. Los resultados de potencial zeta indicaron el punto isoeléctrico con un valor de 7.8 y un pH óptimo de 9 en la cual los siete recolectores hidroxamato se adsorben selectivamente en la superficie malaquita, haciendo uso del colector benzo y los dos hidroxamato de alquilo se obtuvo los mejores resultados en la flotación y la cinética es relativamente rápida utilizando los recolectores hidroxamato. Concluyeron los colectores hidroxamato son efectivos para la flotación de malaquita.

Sefako (2018), en su investigación titulada “Recuperación de PGM de un mineral óxido por flotación y lixiviación” tuvo como objetivo realizar pruebas de flotación en el mineral PGM haciendo uso de varios reactivos para su selección, así como las condiciones para lograr una mejor recuperación del mineral. Para las pruebas de flotación las muestras fueron molidas a 60%-75  $\mu\text{m}$  con una densidad de suspensión de 30% p/p de sólidos en una celda de flotación Denver, agitadas a 1200 rpm, posteriormente siguieron el proceso de flotación estándar, los reactivos utilizados fueron el C5460, C7133 y AM810, para seleccionar el reactivo utilizaron el desbaste en masa para minimizar la ICP subcontratada. Los resultados indican que la mejor recuperación de PGM se obtuvo utilizando 30 g/ton de AM810, recuperando 63% de platino, en base a los resultados se aumentó la dosis de AM810. Concluyó que el colector AM810 fue el





más selectivo aumentado la dosis de AM810 teniendo la mejor recuperación a 80 g/ton, recuperando 74,7%.

Sekgarametso (2018), en su investigación titulada “Flotación de minerales PGM no sulfurados - Optimización de conjunto de reactivos de flotación y condiciones” tuvo como objetivo mejorar la recuperación de PGM haciendo uso de diferentes reactivos, así como determinar las condiciones óptimas de flotación para el mejor recuperamiento. Para las pruebas las muestras de mineral fueron trituradas hasta lograr 60 % - 75  $\mu\text{m}$  para después ser divididas en 300 g, los reactivos utilizados fueron el SIBX, C7133, C5460 y AM810 que fueron preparados mezclando 1 g con agua desionizada en un matraz de 100 mL, las pruebas de flotación se realizaron en una celda de flotación a una velocidad de 1200 rpm, un pH promedio de 9, las pruebas de cinética se realizaron en el rango de 1 - 20 min. Los resultados indican se obtuvo una mejor recuperación de 78.5 % utilizando una dosis alta de 80 g/ton de AM810. Concluyó que este colector fue el mejor en recuperación de platino.

Li et al. (2019) en su investigación titulada “Floc-Flotación de finos de malaquita con una mezcla de octilo hidroxamato y queroseno” tuvieron como objetivo evaluar los efectos del uso de octilo hidroxamato como colector y emulsionante de queroseno en la flotación floculada de finos de malaquita. La floculación hidrófoba se realizó en un mezclador controlador agregando 1 g de malaquita con 99 mL de agua destilada, el pH fue regulado con HCl y NaOH, después se le añadió queroseno e incrementando las suspensiones a 900 rev.  $\text{min}^{-1}$  durante 15 min, la muestra obtenida se diluyó a 120 mL, después la flotación se realizó durante 5 min con 20 mL  $\text{min}^{-1}$  de gas nitrógeno a un pH de 9, posteriormente para la otra prueba se añadió  $2 \times 10^{-4}$  mol  $\text{L}^{-1}$  de octilo hidroxamato. Los resultados indicaron que con la adición de octilo hidroxamato la recuperación de malaquita aumentó, la mezcla de octilo hidroxamato y queroseno proporcionan una alta



selectividad cuando la malaquita está acompañada de otros materiales pero a medida de aumentar la dosis de queroseno se alcanzó un máximo de 97 %, en el análisis de potencial zeta realizado se obtuvo un punto de carga cero de 8.1 se determinó que el pH óptimo es de 9 dado que el octilo hidroxamato se carga positivamente y la superficie negativamente. Concluyeron que la adición de octilo hidroxamato como emulsionante de queroseno mejoró la recuperación de malaquita.

Lu et al. (2021) en su investigación titulada “Modificación estructural de colectores de ácido hidroxámico para mejorar el rendimiento de flotación de malaquita y mecanismo asociado”. Utilizaron cálculos de química cuántica para comparar el comportamiento molecular de los colectores de N-hidroxi-N-aril amida y ácido benzohidroxámico (BHA). Posteriormente realizaron pruebas de flotación para evaluar su capacidad de recolección y eficiencia de separación de malaquita, calcita y cuarzo; se realizó a 1650 rpm, utilizaron 2 g de muestras minerales con tamaño de partícula de - 0,076 a +0,038 mm a la celda de flotación de 30 ml y se agitaron con agua adecuada durante 1 min. Luego, se usó ácido clorhídrico o una solución de hidróxido de sodio para ajustar el pH de la pulpa en 8. Después de agitar durante 2 minutos, la solución del colector con la concentración adecuada se puso en la celda y se mantuvo en agitación a 1650 rpm por otros 2 minutos, en seguida los concentrados y colas fueron separados y secados, para calcular la recuperación de flotación. En resultados los cálculos químicos predijeron que N-hidroxi-N-aril amida puede emplearse mejor que BHA en la separación de por flotación de malaquita/calcita. En las pruebas de flotación, las N-hidroxi-N-aril amidas poseían una capacidad de recolección superior del 86,67 % en comparación con la del BHA para la malaquita y lograron una separación efectiva de la malaquita de la calcita y el cuarzo en condiciones alcalinas.



Mohammadkhani et al. (2020) en su trabajo titulado “Investigación del mecanismo de adsorción de xantato e hidroxamato en malaquita” tuvieron el objetivo de investigar las interacciones individuales del xantato de amilo de potasio (PAX) producto de Cheminova y el alquilhidroxamato de potasio (HXM) de Axis House AM810 con la malaquita natural y explorar sus efectos sinérgicos en la flotación de la malaquita. Las pruebas de flotación se realizaron utilizando 2 g de malaquita molida (37-75  $\mu\text{m}$ ) en 50 ml de la solución colectora en un vaso de precipitados a pH 9 durante 10 min, en una máquina de flotación Denver “Sub-A” de 250 ml. Luego la solución se transfirió a la celda de flotación de vidrio. La fracción flotante se recogió durante 5 min y se pesan después de secar a temperatura ambiente. Los resultados obtenidos demuestran que PAX y HXM son coadsorbido químicamente en la superficie de malaquita, y la cantidad de PAX adsorbida en la superficie de malaquita aumenta considerablemente en los sistemas mixtos de PAX y HXM debido al mecanismo de coadsorción. Los resultados de la flotación confirman que la mezcla PAX/HXM exhiben un rendimiento de flotación superior de la malaquita en comparación con el sistema individual de PAX o HXM. Según estos resultados, la mezcla PAX/HXM exhibe un notable efecto de sinergia sobre la hidrofobicidad de la superficie de la malaquita con 93% de rendimiento.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Concentración de minerales por Flotación**

La flotación por espuma es un proceso crucial para elegir partículas de minerales valiosos y deseables. Los minerales en bruto se trituran y muelen para liberar los componentes deseados; luego se mezclan con agua con reactivos acondicionadores. A continuación, se introducen burbujas de aire en la mezcla para capturar las partículas hidrófobas. Las partículas hidrófilas quedan en la



mezcla después de que fluyan hacia arriba y produzcan espuma. Los reactivos interfase-activos absorbidos en la superficie de la partícula y las condiciones acuosas pueden afectar la interacción burbuja-mineral en este proceso de flotación. Por lo tanto, una comprensión profunda y fundamental de las interacciones entre partículas minerales sólidas, burbujas de aire y agentes activos de interfase en medios acuosos es esencial para modular con precisión las interacciones superficiales relacionadas en los procesos de flotación y para desarrollar reactivos activos de interfase avanzados para mejorar la eficiencia de la separación. Para aumentar el rendimiento de la separación (Zhang y Zeng, 2021).

### **2.2.2. Concentración de minerales por flotación**

La flotación de minerales, o flotación de minerales por espuma, es un método físico-químico para concentrar minerales liberados. El proceso implica el tratamiento químico de una pulpa de mineral para establecer las condiciones adecuadas para la adhesión de partículas minerales específicas a la burbuja de aire. Estas burbujas de aire llevan consigo los minerales seleccionados a la superficie de la pulpa y forman una espuma estabilizada que se recoge mientras que los otros minerales permanecen sumergidos en la pulpa. El método de flotación comenzó en la industria minera, pero se ha extendido gradualmente a otros campos (Abarca, 2011).

En general, las partículas de mineral sulfurado con un diámetro superior a la malla 48 no pueden ser recuperadas con éxito. Para que un mineral pueda flotar, primero debe molerse a un tamaño lo suficientemente fino para que el mineral deseado quede todo o casi todo más pequeño que este límite (Abarca, 2011).

## Figura 1

*Burbujas de aire con anexión de partículas de Sulfuro de Cobre*



*Nota.* Obtenido de Abarca (2011).

### 2.2.2.1. Historia del desarrollo

La patente más antigua que puede considerarse relacionada al proceso de flotación es la Haynes en 1860. Su reconocimiento de las diferencias en humectabilidad de varios minerales por el agua y el aceite constituyó la base de un buen número de procesos de flotación por “aceite” durante los siguientes 50 años, la flotación pasó por tres principales etapas de desarrollo:

- Flotación colectiva (Bulk) con aceite
- Flotación de película
- Flotación espumosa

La flotación colectiva “Bulk” con aceite se basaba en el hecho que los minerales de brillo metálico se humedecen preferentemente por aceite en la presencia de agua y en consecuencia pasan a la interfaz entre el aceite y el agua, mientras que la ganga humedecida por el agua tiende a separarse.



Este proceso requería grandes cantidades de aceite por lo general alrededor de una parte por cada parte de mineral.

La flotación de película, por otro lado, dependía del hecho de que cuando el mineral seco, finamente molido es puesto suavemente en contacto con agua inmóvil, las partículas de mineral tienden a flotar más que la ganga. Este proceso fue desarrollado en el periodo de 1880-1915, pero tanto este como el proceso anterior de flotación con aceite quedaron relegados con el advenimiento de proceso de flotación por espuma.

Ya por año 1902, Froment en Italia y Ballot en Australia, se dieron cuenta de que las burbujas del gas constituyen un medio flotante ideal para llevar las partículas de mineral sulfurado empapadas de aceite a la superficie de la pulpa. Ellos al igual que otros investigadores generaron burbujas por acción química o aplicando un vacío parcial sobre la burbuja por mineral y agua sin embargo correspondió a Ballot, Sulman y Picard (1905), el mérito de utilizar una corriente ascendente de burbujas de aire y reducir considerablemente la cantidad de aceite requerido. Durante el periodo comprendido entre 1906 y 1925 este proceso aplicado a pulpas ácidas y usando aceites no selectivos como colectores, proporciono un método económico de concentrar muchos de los minerales sulfurados, sin embargo, el método resulto inaplicable a muchos minerales complejos, tales como Cu-Fe, Cu-Pb-Fe, Cu-Zn-Fe y Cu-Ni-Fe. La necesidad de tratar tales minerales complejos sulfurados, así como los no sulfurados, fue la que inspiro el constante progreso en el desarrollo de combinaciones el constante progreso en el desarrollo de combinaciones de reactivos más selectivos y equipos de flotación más eficientes (Abarca, 2011).



Generalmente se considera que la flotación moderna comenzó en 1923. Cuando Keller descubrió el uso de los xantatos como colectores para para los minerales sulfurados la tabla N°1 muestra algunas de las etapas más importantes en el desarrollo de la flotación. Aunque solo existen unas cuantas patentes registradas después del año 1925, debe mencionarse el hecho de que en los últimos años se ha concedido un gran número de patentes relativas al proceso al proceso. Estas patentes se refieren generalmente a reactivos o combinaciones de reactivos específicos como tales su aplicación es limitada y no pueden considerarse como trascendentales, sin embargo, cada una de ellas viene a sumarse a los conocimientos sobre la flotación por espuma y ampliar su campo de acción (Abarca, 2011).

**Tabla 1**

*Fecha memorables de la Flotación*

FECHA DE PATENTE	INVENTOR	DESCUBRIMIENTO
1860	Haynes	Diferencias en la humectabilidad de los minerales por el agua y el aceite
1886	Everson	Uso de agua acidificada
1902	Potter (Australia) Froment (Italia)	El gas como medio flotante
1906	Ballot, Sulman, Picard	Reducción de la cantidad de aceite: el aire introducido por agitación
1913	Bradford	CuSO <sub>4</sub> como activador de la esfalerita
1917	Sheridan y Griswold	En cianuro como depresante de la esfalerita y pirita
1924	Sulman y Edser	Jabones ácidos grasos
1925	Keller	Xantatos
1926	Whitworth	Ditiofosfatos orgánicos
1952	Tveter	Espumante soluble en agua (DOWFROTH)

*Nota.* obtenido de Abarca (2011).

#### **2.2.2.2. Campos de aplicación del proceso de Flotación de minerales**

El proceso de flotación es en la actualidad el más eficaz, más ampliamente aplicable y más complejo de todos los métodos de



concentración de minerales utilizados actualmente por la industria minera. Teóricamente puede aplicarse a cualquier mezcla de partículas que se hallen especialmente libres una de la otra y que sean suficientemente pequeñas para ser elevadas por burbujas de gas ascendentes. Las partículas cuyo tamaño este en el rango entre 20 mallas y unos cuantos micrones son las que responden a la flotacion cuyo tamaño, sin embargo, el conocimiento limitado que se tiene sobre el mecanismo de la flotación es restringido al uso de este proceso a una lista relativamente pequeña, aunque en constante aumento algunos de los más comunes se enumeran en lista que aparece a continuación (Abarca, 2011):

- Sulfuros: Cobre, plomo, zinc, fierro, molibdeno, cobalto, níquel, arsénico.
- No Sulfurados: Fosfatos, cloruro de sodio, cloruro de potasio, óxidos de hierro, piedra caliza, feldespato, fluorita, cromita, tungstato, sílice, carbón, rodocrosita.

### **2.2.2.3. Mecanismos de la Flotación de minerales**

El mecanismo esencial de la flotación comprende la anexión de partículas minerales a las burbujas de aire, de tal modo que dichas partículas son llevadas a la superficie de la pulpa mineral, donde puedan ser removidas (Abarca, 2011).

Este proceso abarca las siguientes etapas:

- Moler el mineral a un tamaño suficientemente fino para separar los minerales valiosos uno de otro, así como de los minerales de la ganga adherente.





- Preparar las condiciones favorables para la adherencia de los minerales deseados a la burbuja de aire.
- Crear una corriente ascendente de burbujas de aire en la pulpa del mineral.
- Formar una espuma cargada de mineral en la superficie de la pulpa.
- Extraer la espuma cargada de mineral.

Aunque estrictamente hablando de la molienda del mineral no forma parte de la flotación, tiene una importantísima influencia sobre el proceso. Para lograr resultados óptimos con la flotación en la etapa de la molienda los minerales deben de ser liberados completamente de la roca desechable (ganga) y ser separado uno de otro. Sin embargo, en la práctica a menudo esto no es económicamente factible y aun cuando se logre una separación completa pueden presentarse otros factores negativos para el proceso (Abarca, 2011).

Por ejemplo, los molinos de bolas y barras generalmente usados para para la molienda forman considerables lamas de ganga que complicaran las subsiguientes etapas de flotación.

La creación de una corriente ascendente de burbuja de aire se logra con una máquina de flotación la que produce burbujas de aire bien sean mediante la agitación mecánica de la pulpa de mineral y/o la introducción directa de aire bajo presión. Estas operaciones pueden considerarse como los aditamentos mecánicos del proceso de flotación.

Para obtener la adherencia de las partículas minerales deseadas a la burbuja de aire y de ahí a la formación de una espuma cargada de minerales



en la superficie de la pulpa se debe de formar una película de superficie hidrofóbica sobre las partículas a flotar y una película hidrofílica o humectable en todas las demás. Esto se logra por medio de colectores y modificadores y la selección de la combinación apropiada para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista a cargo del beneficio (Abarca, 2011).

### 2.2.3. Características del proceso

**Química del proceso:** Determina la máxima recuperación y selectividad posible en una aplicación, depende de (Yianatos, 2005):

- Tipo y dosificación de reactivos.
- La química de superficies de las partículas cubiertas con colector.
- El grado de liberación de las partículas de mineral.

**Cinética del proceso:** Determina la recuperación y selectividad que se puede alcanzar realmente en la aplicación industrial. Posee las siguientes características:

- Representa la velocidad de producción de concentrado.
- Permite el cálculo de equipos de flotación y el diseño de arreglos de circuitos.

La cinética no se puede considerar aislada de la química en general. La adición de reactivos cambia la velocidad de separación. No obstante, es conveniente considerarlos como problemas independientes. En la mayoría de los casos, un enfoque macroscópico sería suficiente, sin embargo, no

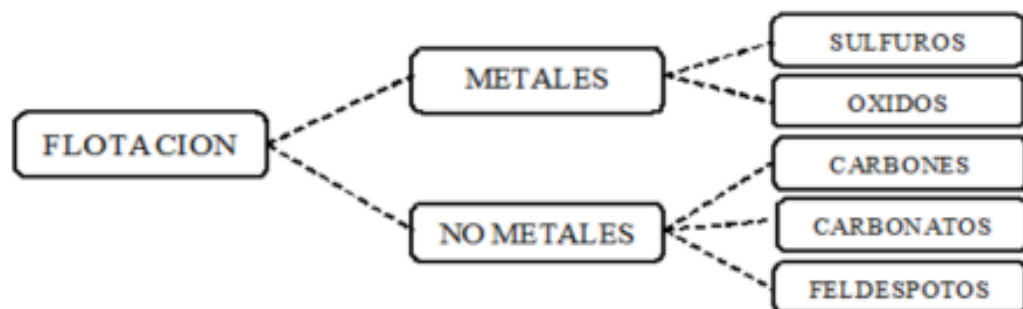
será posible generalizarlo fuera de las circunstancias en las que se determinó (Yianatos, 2005).

#### 2.2.4. Clasificación de la flotación de minerales

Según la composición química de los diferentes minerales y dependiendo del elemento químico al cual se encuentran asociado la mena y la ganga podemos clasificar la flotación según como se muestra en la figura 2 (Abarca, 2011).

**Figura 2**

*Clasificación de la aplicación de la flotación*



*Nota.* Obtenido de Abarca (2011)

#### 2.2.5. Variables de la flotación

La flotación de espuma cuenta con una larga historia de procesamiento de minerales. Las partículas de minerales, el agua y las burbujas de aire son las tres fases de la pulpa de flotación que interactúan entre sí y con otras especies, como moléculas de reactivos e iones (Vierira y Peres, 2007).

##### 2.2.5.1. Granulometría

En muchos minerales, los metales relevantes están estrechamente relacionados unos con otros y con la ganga. El tamaño de partícula ideal es aquel en el que la partícula representa una sola especie mineralógica, lo que facilita la adhesión de la partícula/burbuja (Vierira y Peres, 2007).



#### **2.2.5.2. Dosificación de reactivos**

El tipo de mineral, su asociación mineralógica y sus propias características determinan la cantidad y el orden en que se agregan los reactivos de flotación (Vierira y Peres, 2007).

#### **2.2.5.3. Tiempo de flotación**

El tiempo de flotación depende de las características del material que se flotará y de la combinación de otros factores. El tiempo ideal se encuentra mediante ensayos y estudios cinéticos (Vierira y Peres, 2007).

#### **2.2.5.4. pH**

Debido a que depende en gran medida de la recuperación y selectividad, es la variable de control más utilizada en el proceso de flotación. La variación de este parámetro afecta significativamente al proceso de flotación. Los valores de pH de flotación están establecidos para cada tipo de mineral que se flotará, pero estos valores pueden variar según la dosificación de los reactivos de flotación (Vierira y Peres, 2007).

#### **2.2.5.5. Aireación y acondicionamiento de la pulpa**

El tiempo de acondicionamiento es una variable importante porque es el tiempo que los reactivos de flotación necesitan para funcionar correctamente. Los reactivos con una cinética de adsorción media o alta pueden agregarse directamente a la celda de flotación, mientras que algunos reactivos de flotación, que requieren un mayor tiempo de acondicionamiento, pueden agregarse en la molienda (Vierira y Peres, 2007).



### 2.2.6. Flotación de minerales sulfuros

- Oro-Plata: En la flotación de oro y plata se realiza cuando está asociado a minerales sulfurados refractarios donde se realiza una pre concentración como pirita aurífera.
- Plomo-Zinc: Los principales minerales son la galena  $PbS$  y la esfalerita o blenda  $ZnS$ .
- Plomo-Zinc-Fierro: En estos sistemas se emplea la flotación diferencial siendo los sulfuros de hierro los últimos a flotarse. En algunos casos son producidos concentrados separados de pirita y pirrotita.
- Cobre-Plomo-Zinc-Fierro: Las menas complejas que contienen cobre, plomo, cinc y hierro son finamente diseminados están entre los sistemas de más difícil beneficiamiento por flotación, especialmente cuando la oxidación superficial lleva a la disolución de iones cúpricos que activan la esfalerita, disminuyendo la selectividad del proceso.
- Cobre: Es común la presencia de trazas de cobre nativo, siendo poco común su ocurrencia en cantidades significativas. Los sulfuros de cobre asociados a pirita y pirrotita son los de más difícil flotación, ya que el uso excesivo de depresor para los sulfuros de hierro puede llevar a la depresión de los sulfuros de cobre.
- Cobre-Molibdeno: La asociación de molibdenita, con sulfuros de cobre, especialmente la calcopirita, es bastante común. A pesar de que la molibdenita es uno de los pocos minerales que presenta hidrofobicidad natural, los sistemas industriales de flotación pueden presentar dificultades, tales como: liberación



en granulometría muy fina, asociación con sulfuros de fierro (pirita y pirrotita), oxidación superficial de la molibdenita, asociación con otros minerales da hidrofobicidad natural, por ejemplo, grafito y talco.

- Cobre-Níquel: La pentlandita, el principal sulfuro de níquel, ocurre en la naturaleza asociada frecuentemente a calcopirita y pirrotita. La llamada pirrotita niquelífera está constituida por diseminación extremadamente fina (del orden de algunos micrones) de pentlandita en una matriz de pirrotita (Abarca, 2011).

### **2.2.7. Flotación de minerales de óxidos de cobre**

Los minerales óxidos de cobre son un importante recurso de cobre. El mineral de óxido puede concentrarse mediante flotación o, si tiene una baja demanda de ácido, puede resultar económico lixiviarlo en pilas. Los minerales de cobre oxidado no suelen responder bien a los métodos de concentración tradicionales que utilizan colectores de cobre sulfurado conocidos. Las propiedades superficiales de los minerales de óxido de cobre son un factor significativo en su problemática recuperación. Los colectores de sulfuros de cobre convencionales no consiguen adherirse a los óxidos, lo que provoca un consumo excesivo de colector, una selectividad limitada y una recuperación deficiente. Por lo tanto, su recuperación en un circuito de flotación por espuma requiere un tratamiento especial (Tinashe y Lordwell, 2017).

- Minerales de óxido de cobre: el mineral es predominantemente malaquita con cantidades significativas de cobalto. Las menas pueden subdividirse a su vez en dos grupos principales en función de la composición mineral:



- a. Mena de óxido que contiene minerales de ganga carbonosos (carbonato, dolomita) con poca o ninguna sílice
  - b. Mena de óxido, en la que la sílice es el mineral de ganga predominante.
- Mineral mixto de óxido de cobre (Tipo 1): Los principales minerales de cobre que se encuentran en estos minerales incluyen malaquita, pseudomalaquita, crisocola y algo de tenorita. Las menas también pueden contener minerales de ganga principalmente silíceos, incluida la esfero-cobaltita como principal mineral de cobalto.
  - Mineral mixto de óxido de cobre (Tipo 2): Este tipo de mineral contiene cuprita, malaquita y azurita como principales minerales de óxido de cobre. Contiene predominantemente ganga carbonosa.
  - Minerales mixtos de sulfuro y óxido de cobre: Contienen variedades tanto de sulfuro como de óxido y son los minerales de cobre más complejos desde el punto de vista del beneficio. Los principales minerales de cobre presentes en este tipo de mena son bornita, calcosina, covelina, azurita, malaquita, cuprita y crisocola.
  - Minerales de óxido de cobre y oro: Este tipo de mineral no es abundante, pero tiene un valor significativo porque contiene oro. El cobre en estos minerales está representado por cuprita, cobre nativo, antlerita y tenorita. El oro está asociado a la cuprita, en forma de auricúprida y a varios sulfosales (Tinashe y Lordwell, 2017).



### **2.2.8. Reactivos de la flotación.**

El mineral se prepara antes de alimentar el equipo de flotación. El objetivo de este paso es fomentar el contacto entre los minerales y los reactivos. Los dos reactivos utilizados para ajustar las propiedades de la superficie, principalmente la diferencia en el grado de hidrofobicidad de los componentes de una mezcla mineral, determinan la viabilidad económica de la flotación. Se puede mejorar el rendimiento del proceso agregando reactivos que actúan sobre la superficie de las especies mineralógicas presentes, lo que facilita una separación más selectiva. Las variables de proceso son esenciales para la flotación moderna (Abarca, 2011).

Además, hay una variedad de reactivos que son más apropiados para un sistema de flotación para obtener una mejor recuperación. Por lo tanto, comprender los fenómenos involucrados y los efectos de la adición de estas sustancias en la operación, así como buscar productos alternativos, es esencial para la optimización de los procesos ya establecidos (Abarca, 2011).

Existen tres grupos principales de reactivos de flotación y clasificados según sus funciones en el proceso son:

#### **2.2.8.1. Colectores**

Su función principal es aportar las propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales. Son compuestos químicos orgánicos, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no-polar. El anión o catión del grupo polar permiten al ión del colector quedar adsorbido a la superficie también polar, del mineral. Por el contrario, el grupo no polar o hidrocarburo queda orientado hacia la fase acuosa hidrofugando el





mineral, ya que tal orientación resulta en la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie del mineral (Abarca, 2011).

- Xantatos isopropilico de sódio Z- 11
- Xantato amílico de potasio Z-6
- Xantato etílico de potasio Z-3
- Xantato etílico de sódio Z-4
- Xantato butílico secundario de sodio Z-12
- Xantato isobutílico de sódio Z-14
- Ditiolfosfatos Aerofloat (A-3418, A-31, A-3894, A-404, A-208, A-33, A-242, A-238)
- AM810

- **AM810 Hidroxamato**

Para el uso de hidroxamatos proporcionaron aspectos prácticos y directrices relevantes para facilitar la aplicación con éxito de estos en plantas en funcionamiento. Los hidroxamatos de alquilo son excelentes colectores de minerales de cobre bien definidos, como malaquita, cuprita, tenorita, azurita, atacamita y crisocola con alto contenido en cobre, sin necesidad de sulfidización o activaciones previas. Además, los hidroxamatos presentan una serie de ventajas frente a la mayoría de los demás colectores y métodos, como la flotación por sulfuración, desarrollados para la recuperación de óxidos de cobre. Algunas de estas ventajas son: no se necesitan controles especiales; la aplicación es sencilla; flexibilidad en el punto de adición; facilidad de manejo y diagrama de flujo simplificado (Lee et al., 2009).



### 2.2.8.2. Agentes espumantes

El propósito principal del espumante es la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta que puedan ser removidas de la máquina de flotación. Este objetivo se logra impartiendo cierta dureza temporal a la película que cubre la burbuja (Abarca, 2011).

- Metil isobutil carbinol (MIBC)
- Frother (F-70)
- Dowfroth (D-50)
- Aceite de pino
- Cresol o ácido cresílico
  
- Flother 700: Excelente Propiedad selectivas cuando se usa concentración óptima, en flotación diferencial: Ag-Pb-Zn, Cu-Pb, Ag-Zn, con una dosificación de 10 – 70 g/TM, cantidades en exceso produce efectos adversos.
  
- Espumantes mejorados: F-210D, F-250D, F-700D, F-800D, F-900D: Alta selectividad, ausencia de acción colectora y su efectividad en pequeñas concentraciones para minerales sulfurosos (Ag, Pb, Zn, Cu, Au).

### 2.2.8.3. Modificadores o reguladores

La función específica de los reactivos modificadores es precisamente preparar las superficies de los minerales para la adsorción o desorción de un cierto reactivo sobre ellas y crear en general en la pulpa condiciones propicias para que se pueda efectuar una flotación



satisfactoria. Ósea cambia o modifica la superficie de los sulfuros o de la ganga, para favorecer o impedir que los reactivos colectores actúen sobre ellos, evitando de esta manera que floten La lista de modificadores o agentes reguladores usados en flotación es variada y en general, el término regulador es aplicado a todos aquellos reactivos los cuales no tienen tareas específicas de colección o espumación (Abarca, 2011).

- Depresores:  $\text{NaCN}$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , Fosfato Monosódico, CMC,  $\text{NaHSO}_3$
- Reactivadores o activadores:  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{OO})_2$
- Reguladores de pH:  $\text{CaO}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Dispersante: Silicato de sódio, Magnafloc 351
- Floculante Superfloc
- Sulfurizantes:  $\text{NaSH}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$

## CAPÍTULO III

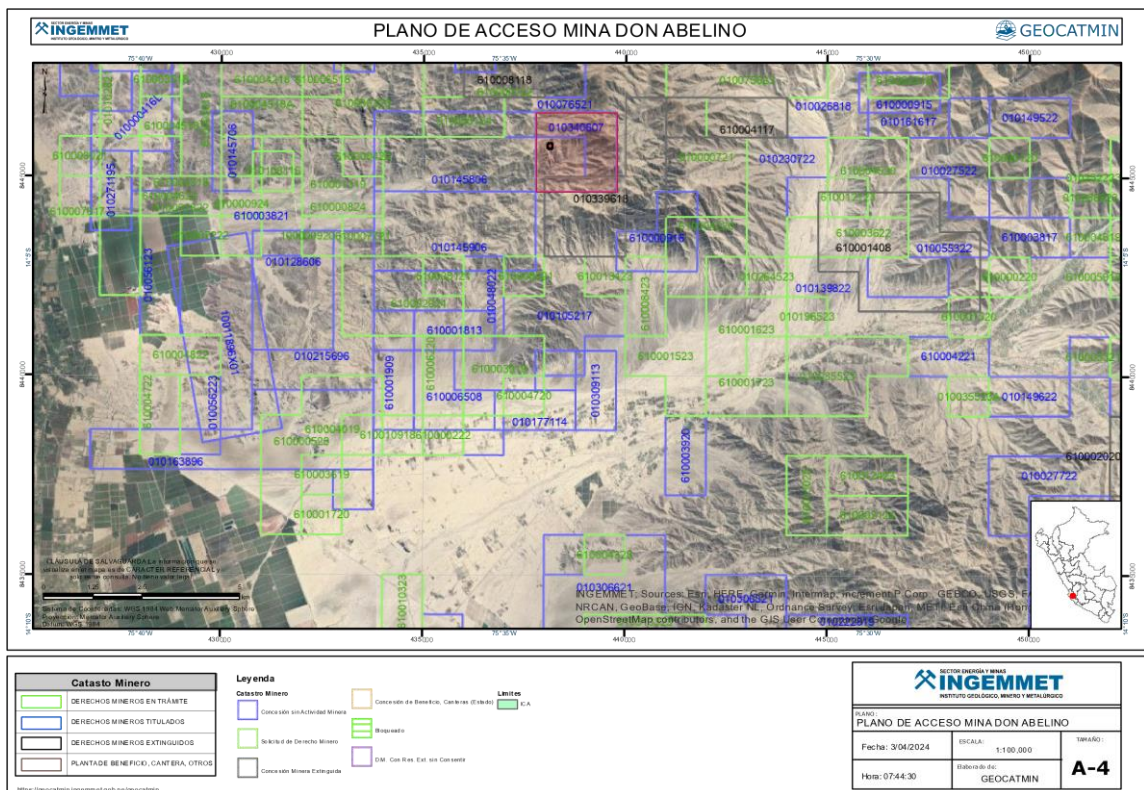
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ESTUDIO DE LA MUESTRA

La muestra del mineral malaquita para este estudio de investigación procede de la empresa minera “MINA DON ABELINO”, Ubicado en el Departamento de Ica, Provincia de Ica, Distrito los Aquijes/Yauca del Rosario, de coordenadas de ubicación: por Este: 438121.32; Norte: 8445768.70; Zona: 18.

**Figura 3**

*Ubicación de la Unidad minera*



*Nota.* Obtenido del reporte de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)

## 3.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

### 3.2.1. Análisis químico del mineral de cabeza

El análisis químico del mineral de cabeza para todas las pruebas experimentales de flotación de malaquita se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Análisis químico del mineral de cabeza*

<b>MINERAL</b>	<b>LEY</b>
Cobre Total	8.53 %
Cobre Soluble	8.45 %
Cobre Sulfuro	0.08 %

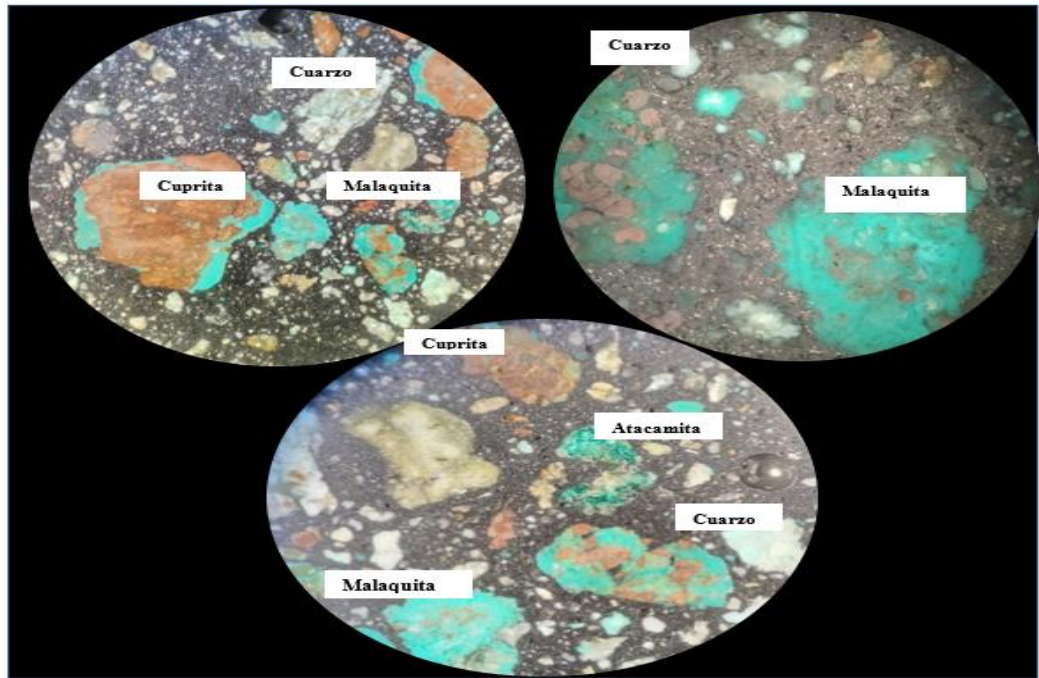
*Nota.* Obtenido Laboratorio ROLAB

### 3.2.2. Análisis del mineral por microscopía óptica

En las imágenes de la Figura 4, se muestra la presencia de malaquita de un color esmeralda o verde esmeralda, cuprita de color rojo, atacamita de color verde opaco y cuarzo color blanco lechoso.

#### Figura 4

*Imagen de la malaquita y otras especies observadas en el microscopio de barrido electrónico*



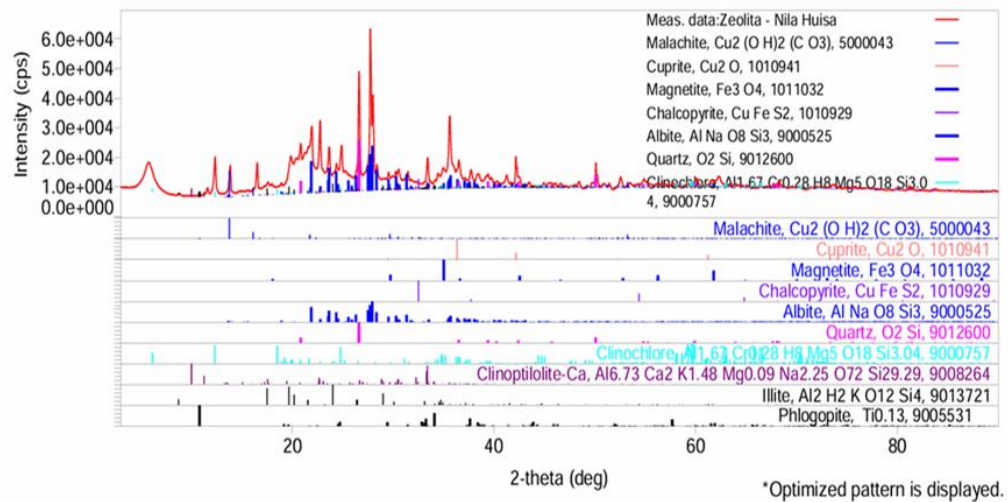
*Nota.* Obtenido del reporte del análisis del Laboratorio UNSA

#### 3.2.3. Análisis químico del mineral de cabeza por Difracción de rayos X

Una porción de mineral fue analizada y el resultado es el siguiente:

**Figura 5**

*Difractograma de rayos X del mineral de cabeza*



*Nota.* Obtenido del reporte del análisis del Laboratorio UNSA

**Tabla 3**

*Contenido de las especies presentes por difracción de rayos X (DRX) del mineral de cabeza*

<b>Nombre de la fase</b>	<b>Contenido (%)</b>
Albite (%)	31.9
Phlogopite (%)	15.95
Chalcopyrite (%)	11.96
Illite (%)	9.47
Clinocllore (%)	8.08
Cuprite (%)	5.88
Magnetite (%)	4.99
Malachite (%)	4.19
Quartz (%)	4.19
Clinoptilolite (%)	3.39

*Nota.* Obtenido del reporte del análisis del Laboratorio UNSA





**Tabla 4**

*Análisis químico por fluorescencia del mineral de cabeza*

<b>Componente</b>	<b>Resultado (% en masa)</b>
SiO <sub>2</sub>	59.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.9
CuO	9.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.33
SO <sub>3</sub>	2.53
CaO	1.89
K <sub>2</sub> O	0.947
TiO <sub>2</sub>	0.772
SrO	0.0893
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0778
ZnO	0.0616
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0584
MnO	0.0468
BaO	0.0317
ZrO <sub>2</sub>	0.0191
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0182
Ir <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0171
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0162
PbO	0.0107
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0085
Au <sub>2</sub> O	0.008
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0052
Rb <sub>2</sub> O	0.0047
MoO <sub>3</sub>	0.0028
SnO <sub>2</sub>	0.0025
Ag <sub>2</sub> O	0.0017
CdO	0.0011

*Nota.* Obtenido del reporte del análisis del Laboratorio UNSA





### **3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.3.1. Tipo de investigación**

La investigación se enfocó en una aplicada, cuyo objetivo fue abordar problemas prácticos utilizando hallazgos previos de investigación básica (Ñaupas et al., 2018), en este caso buscó solucionar el problema de la recuperación de óxidos de cobre en flotación, evaluando las variables influyentes.

#### **3.3.2. Diseño de la investigación**

El diseño fue experimental, según Hernández y Mendoza (2018) se basa en realizar una acción para observar las consecuencias. En específico se empleó el diseño experimental factorial evaluando varios niveles de las variables independientes o factores (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Asimismo, se consideró una investigación transversal que implica que la recolección de los datos un momento dado y por única vez. En el estudio se evaluó el efecto de distintas dosis de colector AM810 y niveles de pH.

#### **3.3.3. Población**

La población para este trabajo de investigación está conformada por los minerales de óxidos de cobre (malaquita) de la empresa minera “MINA DON ABELINO”.

#### **3.3.4. Muestra**

La muestra para el presente trabajo de investigación está constituida por 30 kg del mineral de óxido de cobre malaquita.



#### - **Muestreo**

Para la toma de la muestra representativa de la veta de la mina don ABELINO se utilizó el método RANURADO DISCONTINUO (chip sampling) que consiste en marcar puntos distribuidos geoméricamente en la masa de mineral, bien de forma lineal o bien formando una malla regular en dos dimensiones, La distancia entre puntos es variable pero no debe superar los 20 cm y la cantidad de muestra debe de ser siempre igual, por ejemplo: orificios de 45 mm de diámetro y unos 10 a 15 cm de profundidad.

En cuando, la unidad de análisis fue de 4 kg del mineral, utilizado para cada experimento del diseño propuesto.

### **3.4. MATERIALES.**

#### **3.4.1. Materiales**

- 30 kg de muestra de mineral oxidado de cobre

#### **3.4.2. Equipos del Laboratorio Metalúrgico**

- Cuarteador de rifles tipo JONES de 13 rifles x  $\frac{3}{4}$ " ancho
- Cuarteador de crucetas de 5" ancho x 12" largo
- Cuarteador de crucetas de 5" ancho x 24" largo
- Chancadora de quijadas de 4" ancho x 4" largo
- Pulverizadora de disco tipo BROW de 8" diámetro
- Molino de bolas de  $7\frac{1}{2}$ " diámetro x 12" largo
- Celda de flotación de laboratorio tipo DENVER de 500 g, 1000 g de capacidad
- Peachemetro HANNA HI 8424



- Balanza analítica 0.001g. x 100 g
- Balanza analítica 1000 g. x 0.10 g
- Tamices de la serie TYLER N°10, 100, 140, 200

#### **3.4.3. Material de Laboratorio**

- Fiola con enrase de 100 ml
- Vasos de precipitados de 100 ml
- Lunas de reloj para vasos de 100 ml
- Vasos de precipitados de 250 ml
- Lunas de reloj para vasos de 250 ml
- Picetas de plástico de 1000 ml
- Baguetas de vidrio
- Luna de reloj de 150 mm diámetro
- Picnómetro de 100 ml
- Espátula de acero de 150 mm
- Jarras de plástico de 2000 ml
- Pipeta graduada de vidrio de 10 ml
- Bombilla propipeta de tres salidas
- Micropipeta de 100 a 1000  $\mu$ l
- Probeta graduada de vidrio de 10 ml
- Probeta graduada de vidrio de 1000 ml

#### **3.4.4. Reactivos químicos para las pruebas de flotación de minerales**

- Colector para óxidos de cobre AM810
- Sulfuro de Sodio industrial
- MIBC



- Ditioposfato ER-404
- Xantato Amflico de Potasio
- Floculante
- Cal Minera

### 3.4.5. Otros

- Mesas de trabajo
- Plumón de tinta indeleble
- Cronometro
- Recipientes de fierro enlosado para muestras
- Cocina a gas con plancha de baño de arena
- Jeringa de 5 ml
- Jeringa de 10 ml
- Jeringa de 20 ml
- Manta de plástico de 900 mm x 900 mm
- Brochas de 2" y 1 1/2" ancho
- Cucharón de aluminio de 1 kg
- Espátula de acero inoxidable de 2" ancho

## 3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 3.5.1. Variable independiente

**Dosificación del colector AM810:** La cantidad de colector AM810 añadido durante el proceso de flotación, medida en g/TM. Esta variable se ajusta para optimizar la recuperación del cobre.



**Nivel de pH:** El valor del pH del medio en el cual se lleva a cabo la flotación del mineral. El pH se ajusta utilizando reactivos alcalinos o ácidos para mantener un nivel óptimo que favorezca la flotación del cobre.

### 3.5.2. Variable dependiente

**Recuperación de cobre:** La recuperación es el porcentaje de cobre en la flotación del mineral malaquita.

En la Tabla 5 se muestra la descripción de las variables en sus indicadores y escala de medición.

**Tabla 5**

*Operacionalización de Variables*

Variables	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable independiente:</b>		
pH	0-14	Acido, base
Dosificación del colector AM810	300 -500	g/TM
<b>Variable dependiente:</b>		
Recuperación de cobre	Porcentaje	%

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.6. DISEÑO FACTORIAL

Utilizado el diseño factorial fraccionado de  $2^k$ . Para la investigación fue el diseño  $2^2$  con dos replicas centrales (Gutiérrez y De la Vara, 2008), considerando dos factores y dos niveles para cada factor. Donde el numero 2 factores son: dosis de colector (300 g/TM y 500 g/TM) y pH (7 y 9) y k los niveles (bajo y alto), quedando  $2^2=4$  con 2 repeticiones en el punto central (dosis de colector: 400 g/TM y pH: 8), haciendo un total de 6 experimentos.

$$N=2^k = 2^2=4 \quad (7)$$



Donde:

N: Cantidad de experimentos = 4

k: Cantidad de variables o factores = 2 factores

Para la investigación se consideró el diseño  $2^2=4$  con dos replicas centrales, por ende, se tuvo 6 pruebas experimentales.

### 3.6.1. Matriz de diseño experimental

La Tabla 6 muestra la codificación ((bajo (-), central (0), alto (+)) y los factores (Dosificación de AM810 y pH de flotación) y la variable de respuesta de recuperación de cobre (%R) de los 6 experimentos.

**Tabla 6**

*Matriz de experimentos para selección de variable*

N°	Variables Codificadas		Variables Reales	pH	%R
	X1	X2	Dosificación AM810 g/TM		
1	-	-	300	7	%R1
2	+	-	500	7	%R2
3	-	+	300	9	%R3
4	+	+	500	9	%R4
5	0	0	400	8	%R5
6	0	0	400	8	%R6

*Nota.* Elaboración propia.

## 3.7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 3.7.1. Preparación mecánica del mineral de malaquita

La preparación de la muestra consta de dos etapas, la primera de chancado y tamizado y la segunda de homogenización y partición de muestras.



- **Chancado y tamizado**

Como se muestra en la Figura 6, se realizó mediante etapas de chancado y tamizado con la malla de la serie TYLER N°10 (1680 micras) se redujo el tamaño del mineral procedente de la mina desde 1 ½” de diámetro hasta obtener un producto final del 100 % -10 Malla.

Los finos del chancado y tamizado que pasaron el 100 % - 10 Malla fueron parte del producto final mientras que los gruesos se alimentaron a la chancadora secundaria de rodillos hasta obtener la granulometría de chancado deseada, luego se juntaron los dos productos que al final sería la muestra representativa para las pruebas siguientes.

Luego de reducir de tamaño a 100 % - 10 Malla, se procedió a homogenizar la muestra para realizarle su cuarteo con el cuarteador de rifles tipo JONES hasta obtener el peso propiamente dicho de porciones de 1000 g de mineral para realizar las pruebas de moliendabilidad y flotación de la malaquita en el laboratorio.

- **Homogenizado**

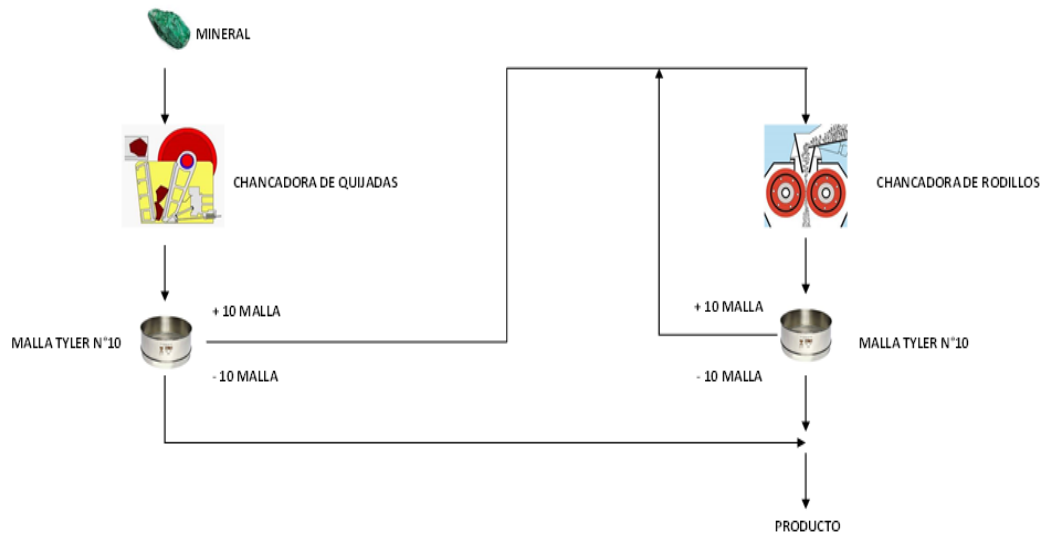
Se realizó por medio de mantas.

- **Cuarteo**

El cuarteo se realizó mediante la utilización del cuarteador JONES hasta obtener la muestra representativa para las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo para la preparación del mineral de malaquita*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7.2. Etapa de molienda

La etapa de molienda del mineral de malaquita se realizó en húmedo con un molino de bolas de laboratorio con las siguientes características:

**Tabla 7**

*Carga de bolas para el molino de laboratorio de 7 ½ " x 12"*

Descripción	Unidades
Radio del molino	9.525 cm
Longitud del molino	30.48 cm
Volumen del molino	8,687.556 cm <sup>3</sup>
Carga de bolas	26.50 %
Densidad de bolas	7.85 g/cm <sup>3</sup>
Porosidad del lecho	0.40

*Nota.* Elaboración propia.

$$\text{Peso de bolas} = 8,687.556 \text{ cm}^3 \times 0.265 \times (1 - 0.4) \times 7.85 \text{ g/cm}^3 = 10,843.373 \text{ g}$$



**Tabla 8***Distribución del tamaño de bola del molino de laboratorio de 7 ½ “ x 12”*

Diámetro (pulgadas)	Peso de bolas (%)	Peso de Bolas (g)	Peso cada Bola (g)	Nº Bolas
1 1/2	20.50	2,240.00	224.00	10
1 1/4	6.32	690.60	138.12	5
1	73.19	8,000.00	71.10	113
-	100	10,930.60	-	28

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7.3. Prueba metalúrgica de moliendabilidad

Se realizaron cuatro pruebas de molienda a tiempos diferentes de 5, 10, 15 y 20 minutos para determinar el tiempo de molienda respecto al grado de molienda igual a 60 % - 200 Malla. La molienda se realizó en húmedo en un molino de bolas de laboratorio.

Las muestras chancadas hasta 100 % - 10 Mallas y pesadas en porciones de 1000 g, se pasaron al molino de bolas de laboratorio *de 7 ½ “x 12”*, se diluyeron con agua de caño hasta 65 % de sólidos para molerlas de porción en porción a una velocidad de 71 rpm para determinar el tiempo de molienda exacto para alcanzar el grado de molienda igual a 60 % – 200 Malla, se realizó un análisis granulométrico con las mallas de la serie TYLER N° 100, 140 y 200 Malla. Los resultados son los siguientes:

**Tabla 9***Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad: Tiempo de 5 min*

Malla (Nº)	Tamaño (µm)	Peso (g)	Peso (%)	Acumulado (+)	Acumulado (-)
100	150	25.889	17.26	17.26	82.74
140	106	28.584	19.06	36.32	63.68
200	75	22.589	15.06	51.38	<b>48.62</b>
-200	0	72.938	48.63	100.00	0.00
Total		150,000	100,00		

*Nota.* Elaboración propia.



**Tabla 10**

*Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad a tiempo de 10 min*

Malla (N°)	Tamaño (µm)	Peso (g)	Peso (%)	Acumulado (+)	Acumulado (-)
100	150	7.282	4.85	4.85	95.15
140	106	22.220	14.81	19.66	80.34
200	75	20.819	13.88	33.54	<b>66.46</b>
-200	0	99.679	66.45	100.00	0.00
Total		150.00	100.00		

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 11**

*Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad a tiempo de 15 min*

Malla (N°)	Tamaño (µm)	Peso (g)	Peso (%)	Acumulado (+)	Acumulado (-)
100	150	1.40	0.93	0.93	99.07
140	106	7.76	5.17	6.10	93.90
200	75	24.00	16.00	22.10	<b>77.90</b>
-200	0	116.84	77.896	100.00	0.00
Total		150.00	100.00		

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 12**

*Porcentaje pasante acumulado para pruebas de moliendabilidad a tiempo de 20 min*

Malla (N°)	Tamaño (µm)	Peso (g)	Peso (%)	Acumulado (+)	Acumulado (-)
100	150	1.01	0.68	0.68	99.32
140	106	5.83	3.89	4.57	95.43
200	75	24.80	16.53	21.10	<b>78.90</b>
-200	0	118.36	78.906	100.00	0.00
TOTAL		150.00	100.00		

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 13**

*Relación de los tiempos de molienda Versus % Acumulado (-) Malla 200*

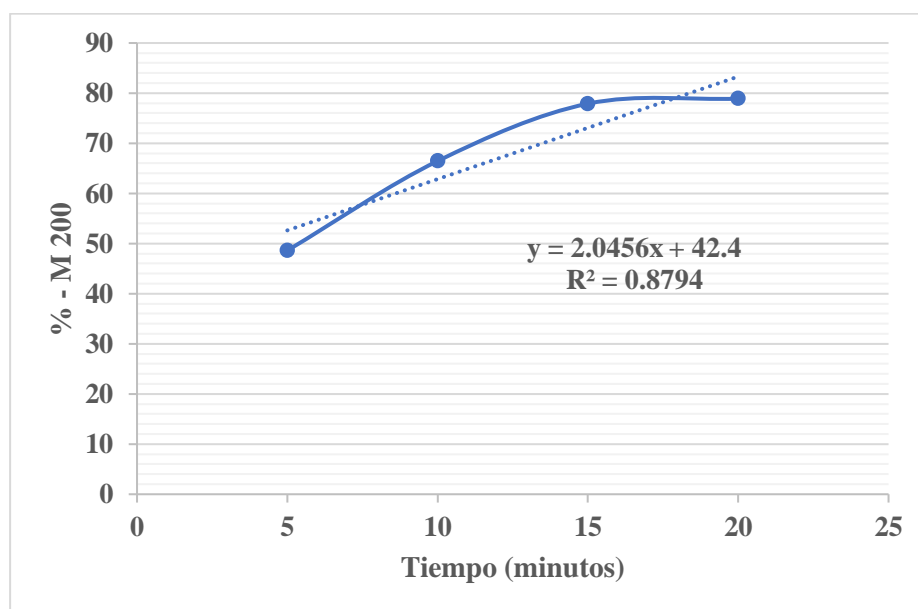
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Acumulado (-) Malla 200</b>
5	48.62
10	66.46
15	77.90
20	78.90

*Nota.* Elaboración propia.

Con estos datos se determina la regresión de la ecuación lineal, entre el tiempo de molienda versus el porcentaje acumulado pasante negativo de la Malla -200 (Figura 7), la cual nos va a servir para determinar el tiempo exacto de molienda de este mineral.

**Figura 7**

*Relación lineal entre el tiempo de molienda VS % Ac (-) Malla 200*



*Nota.* Elaboración propia.

Luego que obtenemos la ecuación de regresión lineal reemplazamos los datos del valor del grado de molienda con las cuales se va a trabajar con el diseño factorial para obtener el tiempo para moler las muestras de mineral de 1 000 g.

$$X = \frac{Y - 42.4}{2.0456}$$

Donde:



X= Tiempo (min).

Y= -200 Malla (%).

$$X1 = \frac{48.62 - 42.4}{2.0456} = 3 \text{ min } 04 \text{ seg}$$

$$X2 = \frac{60 - 42.4}{2.0456} = \mathbf{8 \text{ min } 6 \text{ seg}}$$

$$X3 = \frac{66.46 - 42.4}{2.0456} = 11 \text{ min } 8 \text{ seg}$$

$$X5 = \frac{77.90 - 42.4}{2.0456} = 17 \text{ min } 4 \text{ seg}$$

$$X6 = \frac{78.90 - 42.4}{2.0456} = 17 \text{ min } 8 \text{ seg}$$

**Tabla 14**

*Tiempos de molienda obtenidos mediante la ecuación lineal*

<b>Tiempo de molienda (min)</b>	<b>Acumulado (% - 200 malla)</b>
3 min 04 seg	48.62
<b>8 min 6 seg</b>	<b>60.00</b>
11 min 8 seg	66.46
17 min 4 seg	77.90
17 min 8 seg	78.90

*Nota.* Elaboración propia.

### **3.7.4. Pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita**

Por las características físicas del mineral de malaquita se realizaron todas las pruebas a una densidad de pulpa de 1,250 g/L. El cual para las pruebas metalúrgicas es un parámetro estándar que se eligió por la baja gravedad específica del mineral de prueba.



Sobre este parámetro se calculó el peso de mineral requerido para la celda de flotación con un volumen útil de 2,835.0 cm<sup>3</sup> por lo que primero se determinó el porcentaje de humedad y la gravedad específica del mineral.

#### **3.7.4.1. Determinación de la humedad del mineral**

Se determinó el porcentaje de humedad de la muestra para que nuestros cálculos de los balances metalúrgicos sean más precisos.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{100.00 \text{ g} - 99.85}{100.00 \text{ g}} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 0.15 \%$$

#### **3.7.4.2. Determinación de la gravedad específica del mineral por el método del picnómetro**

Se realizó 5 medidas con diferentes pesos de mineral, los resultados finales se promediaron para obtener la gravedad específica final de la muestra.

\*Por formula:

$$G. E = \frac{(W2 - W1)}{(W4 - W1) - (W3 - W2)} \times L$$

\*Donde:

$$W2 - W1 = \text{Peso mineral} = 5 \text{ g}$$

$$W1 = \text{Peso picnómetro vacío} = 46.95 \text{ g}$$

$$W2 = \text{Peso picnómetro} + \text{mineral} = 51.956 \text{ g}$$

$$W3 = \text{Peso picnómetro} + \text{mineral} + \text{agua destilada} = 99.427 \text{ g}$$



$$W4 = \text{Peso picnómetro} + \text{agua destilada} = 96.576 \text{ g}$$

\*reemplazando datos:

$$G. E = 2.322 \text{ g/L}$$

\*Densidad del Agua destilada

$$\text{Peso de agua} = (W4 - W1) = 96.569 \text{ g} - 46.950 \text{ g} = 49.619 \text{ g}$$

\*Volumen del picnómetro = 49.882 ml

$$L = \text{Densidad del agua destilada} = \frac{49.626 \text{ g}}{49.882 \text{ ml}} = 0.995 \text{ g/cm}^3$$

$$G. E = 2.322 \text{ g} \times 0.995 \text{ g/ml} = 2.31 \text{ g/cm}^3$$

**Tabla 15**

*Valor promedio de la gravedad específica*

Prueba N°	Gravedad Especifica (g/ml)
1	2.31
2	2.30
3	2.31
4	2.31
5	2.32
<b>PROMEDIO</b>	2.31

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7.4.3. Determinación del porcentaje de sólidos en el molino de bolas,

de 7”1/2 x 12”

\*Por formula:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{(W1) \times (W2)}{(W3) \times (W4)} \times 100$$

\*Donde:

% Sólidos = Porcentaje de sólidos



$$W1 = G.E = 2.31 \text{ g/cm}^3$$

$$W2 = D. \text{ pulpa} - 1000 = 1,395.77 \text{ g/L} - 1,000 \text{ g/L}$$

$$W3 = D. \text{ pulpa} = 1,395.77 \text{ g/L}$$

$$W4 = G.E - 1 = 2.31 \text{ g/cm}^3 - 1$$

\*Reemplazando datos:

$$\% \text{ Solidos} = \frac{(2.31) \times (1,395.77 - 1,000)}{(1,395.77) \times (2.31 - 1)} \times 100 = 50 \%$$

$$\% \text{ Solidos en el molino} = 50 \%$$

#### **3.7.4.4. Determinación del peso del mineral para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita**

Con los resultados de la gravedad específica y el porcentaje de solidos se calculó el peso de mineral requerido para las pruebas de flotación con una densidad de pulpa de 1,250 g/L. El volumen de la celda es de 2,835.0 cm<sup>3</sup>.

#### **3.7.4.5. Determinación del porcentaje de solidos de la pulpa en la celda de flotación**

\*Por formula:

$$\% \text{ Solidos} = \frac{(W1) \times (W2)}{(W3) \times (W4)} \times 100$$

\*Donde:

$$\% \text{ Solidos} = \%$$



$$W1 = D. \text{ pulpa} - 1\,000 = 1,250 \text{ g/L} - 1,000$$

$$W2 = G.E = 2.31 \text{ g/cm}^3$$

$$W3 = G.E - 1 = 2.31 \text{ g/cm}^3 - 1$$

$$W4 = D. \text{ pulpa} = 1,250 \text{ g/L.}$$

\*Reemplazando datos:

$$\% \text{ Solidos} = \frac{(1,250 - 1,000) \times (2.31)}{(2.31 - 1) \times (1,250)} \times 100$$

$$\% \text{ Solidos de las pruebas metalúrgicas de flotación} = 35.26 \%$$

#### **3.7.4.6. Determinación del volumen de la celda de flotación tipo DENVER.**

Se determinó experimentalmente llenando la celda más el sistema mecánico (impulsor, difusor, tubo de aireación) con agua a 1.5 cm por debajo del labio de rebalse.

$$\text{Volumen pulpa} = \text{Volumen útil celda} = 2,835.0 \text{ cm}^3$$

#### **3.7.4.7. Determinación del peso de mineral para las pruebas de flotación de malaquita, en la celda de Flotación tipo DENVER**

Para determinar el peso de mineral de malaquita a flotar se tiene que determinar primero la densidad de la pulpa de flotación.

- Datos:
- Densidad de pulpa= x
- Volumen útil de celda= 2,835.0 cm<sup>3</sup>





- % de solidos de Flotación= 35.26 %

\*Por formula:

$$D. pulpa = \left[ \left( \frac{W1}{W2} + 1 \right) - (W3) \right]^{(-1)}$$

Donde:

$$W1 = \% \text{ Solidos} = 35.26 \%$$

$$W2 = \text{G.E mineral} = 2.31 \text{ g/cm}^3$$

$$W3 = \text{G.E agua} = 1.00 \text{ g/cm}^3$$

\*Reemplazando datos:

$$D. pulpa = \left[ \left( \frac{0.3526}{2.31} + 1 \right) - \left( \frac{0.3526}{1.00} \right) \right]^{(-1)}$$

$$\text{Densidad de pulpa} = 1.23 \text{ g/cm}^3$$

\*Peso de pulpa:

$$\text{Peso. pulpa} = V. pulpa + D. pulpa$$

$$\text{Peso. pulpa} = 2,835 \text{ cm}^3 + 1.23 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Peso. Pulpa} = 2\ 836.23 \text{ g}$$

\*Peso de mineral para flotar:

$$\text{Peso. Mineral} = \text{Peso. Pulpa} \times \% \text{ Solidos}$$

$$\text{Peso. Mineral} = 2,836.23 \text{ g} \times 0.3526$$

$$\text{Peso. Mineral} = 1\ 000 \text{ g}$$



### **3.7.4.8. Procedimiento para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita en el laboratorio**

- Molienda

Para iniciar la molienda de las muestras del mineral malaquita se lava el molino y las bolas con 500 g de arena y 5 g de cal minera para eliminar algunos residuos que hayan quedado de la molienda anterior se descarga las bolas y se lavan con bastante agua luego, se pesa 1 kg de mineral (100 %-10 Malla), se pasa al molino se agrega las bolas limpias, se adiciona 1 litro de agua y por último se adicionan los reactivos de flotación seleccionados se tapa el molino y se coloca en los rodillos de agitación. Se arranca el molino se registra el tiempo de molienda se para el molino se retira la tapa, se descarga la pulpa a la bandeja de recepción, se lavan las bolas y la muestra se pasa a la celda de flotación.

- Acondicionamiento-1

Se acondiciona la pulpa a la celda de flotación, los tiempos de acondicionamiento son: 5 min para reactivos modificadores, 2 min para los colectores de flotación y 1 min para los espumantes.

- Etapa de flotación Rougher Cu

Es la primera flotación de las pruebas donde interesa la recuperación sin descuidar la calidad del concentrado.

Se abre lentamente la llave del tubo de aireación para que ingrese oxígeno y forme las burbujas cargadas con partículas de cobre (concentrado sucio), se empieza la descarga de las espumas con una



paleta a la bandeja de recepción, hasta agotamiento de las espumas se registra el tiempo de flotación Rougher.

- Acondicionamiento-2

Antes del acondicionamiento, se adicionan los reactivos modificadores, colectores y espumantes, se registra los tiempos de acondicionamiento.

- Etapa de flotación scavenger-Cu

Es la etapa donde interesa la reocupación.

Se abre lentamente la llave del tubo de aireación para que ingrese oxígeno y forme las burbujas cargadas con partículas de cobre, se empieza la descarga de las espumas con una paleta a la bandeja de recepción, hasta agotamiento de las espumas se registra el tiempo de flotación Scavenger.

- Etapa de flotación Cleaner (limpieza)

Los concentrados de la flotación Rougher y Scavenger se juntan y se pasa a la celda de flotación previo acondicionamiento de la pulpa sin adicionar reactivos de flotación para su limpieza del concentrado.

Se abre lentamente la llave del tubo de aireación para que ingrese oxígeno y forme las burbujas cargadas con partículas de cobre, se empieza la descarga de las espumas con una paleta a la bandeja de recepción, hasta un tiempo determinado o hasta que las espumas se empiecen a ensuciarse se registra el tiempo de limpieza.

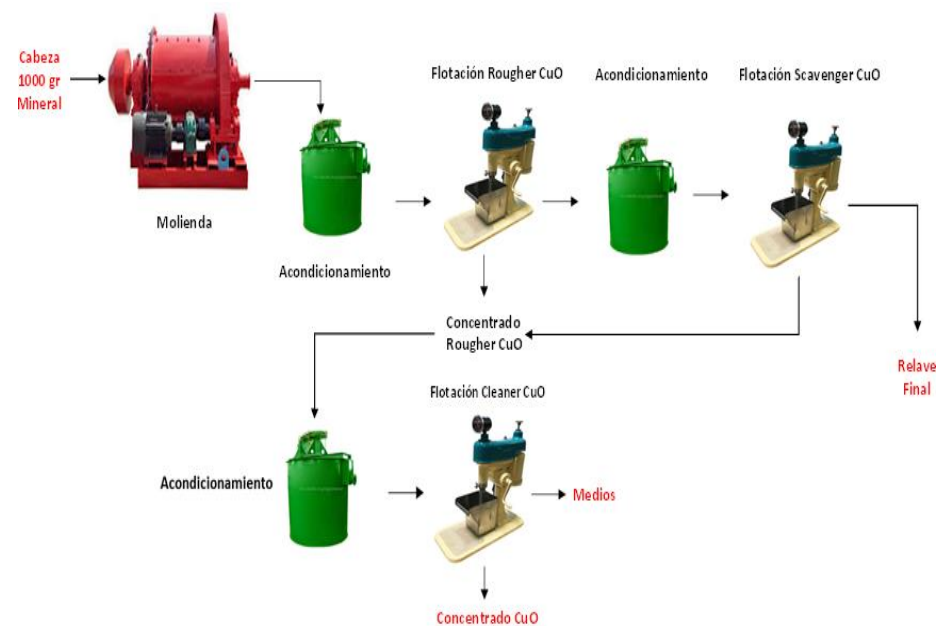
Aquí se obtiene un concentrado de cobre limpio y un relave de la flotación de limpieza denominado medios. Terminada la prueba de

flotación se secan los productos obtenidos se pesan se registran y las muestras se envían al laboratorio para su análisis químico.

Com estos resultados se realiza el balance metalúrgico de las pruebas de flotación.

**Figura 8**

*Diagrama de flujo para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita en el laboratorio*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.7.4.9. Preparación de reactivos químicos de flotación para las pruebas metalúrgicas experimentales de flotación de malaquita.

La preparación de los colectores, modificadores y el espumante utilizados en las pruebas experimentales de flotación de malaquita son los siguientes (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Preparación y concentración de reactivos de flotación para la flotación de malaquita.*

<b>Nombre (Reactivo)</b>	<b>Función (Reactivo)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Concentración (%)</b>	<b>Volumen (ml)</b>
Ditiofosfato ER-404	Colector	250	1	2.5
AM 810	Colector	250	1	2.5
Xantato Z-6	Colector	250	10	25
MIBC	Espumante	100	100	-
Sulfuro de sodio	Modificador	250	10	25
Cal minera	Modificador	100 g	100	-

*Nota.* Elaboración propia.

Para realizar las pruebas experimentales se realizó en primer lugar una prueba metalúrgica “ESTÁNDAR” de flotación de malaquita sin la adición del colector de óxidos de cobre en estudio AM 810, los resultados obtenidos de esta prueba metalúrgica estándar de flotación de malaquita es la que nos va a servir para hacer la comparación al final del estudio en la recuperación de cobre versus los resultados obtenidos en la recuperación de cobre de las 6 pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita con sus variables correspondientes elegidas como son nivel de pH y la dosificación de colector de óxidos de cobre AM 810.

Las otras variables para realizar las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquitas se mantuvieron constante como son; la Densidad de pulpa, velocidad de agitación, tiempo de acondicionamiento de la pulpa para la flotación, calidad de agua, colectores de flotación de minerales y modificadores. Las condiciones de trabajo son las siguientes (Tabla 17).



**Tabla 17**

*Condiciones para realizar la prueba metalúrgica “ESTÁNDAR” de  
flotación de Malaquita*

MOLIENDA	
Mineral	1000 g a 100 % - 10 Malla
Agua	1000 ml
Tiempo de molienda	8 min 6 seg.
Grado de molienda	60 % - 200 malla
pH Natural del mineral	7.0
Tipo de agua	Potable

*Nota.* Elaboración propia.



**Tabla 18**

*Condiciones acumuladas para la prueba metalúrgica “ESTÁNDAR” de flotación de malaquita*

ETAPAS	Tiempo (min)	pH	Consumo de reactivos (g/TM)		
			MIXC	Xantato Z-6	MIBC
Molienda	8.6	7	2,000	500	-
Acond.1	2	7	-	-	-
Flot. Rougher-Cu	5	7	-	-	8
Acond.1	5	7	2,000	-	-
Acond.2	2	7	-	500	-
Flot. Scavenger 1-Cu	6	7	-	-	4
Acond.1	5	7	2,000	-	-
Acond.2	2	7	-	500	-
Flot. Scavenger 2-Cu	6	7	-	-	8
Acond.1	2	7	-	-	-
Flot. Cleaner-Cu	2	7	-	-	-
TOTAL	-	-	6,000	1,500	20

*Nota.* Elaboración propia, MIXC= Mezcla de sulfuro de Sodio, Ditiofosfato A-404.

**Tabla 19**

*Condiciones para las pruebas metalúrgicas de flotación de Malaquita con las variables en estudio*

MOLIENDA	
Mineral	1000 g a 100 % - 10 Malla
Agua	1000 ml
Tiempo de molienda	8 min 6 seg.
Grado de molienda	60 % - 200 malla
pH Natural del mineral	7.0
Tipo de agua	Potable

*Nota.* Elaboración propia.



**Tabla 20**

*Condiciones acumuladas para las pruebas de flotación de malaquita con las variables en estudio*

ETAPAS	Tiempo (min)	pH	Consumo de reactivos (g/TM)			
			MIXC	Xantato Z-6	AM 810	MIBC
Molienda	8.6	<b>Variable</b>	2,000	500	-	-
Acond.1	2	<b>Variable</b>	-	-	<b>Variable</b>	-
Flot. Rougher-Cu	5	<b>Variable</b>	-	-	-	8
Acond.1	5	<b>Variable</b>	2,000	-	-	-
Acond.2	2	<b>Variable</b>	-	500	<b>Variable</b>	-
Flot. Scavenger 1- Cu	6	<b>Variable</b>	-	-	-	4
Acond.1	5	<b>Variable</b>	2,000	-	-	-
Acond.2	2	<b>Variable</b>	-	500	<b>Variable</b>	-
Flot. Scavenger 2- Cu	6	<b>Variable</b>	-	-	-	8
Acond.1	2	<b>Variable</b>	-	-	-	-
Flot. Cleaner-Cu	2	<b>Variable</b>	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	-	<b>Variable</b>	6,000	1,500	<b>Variable</b>	20

Nota: Elaboración propia. MIXC= Mezcla de sulfuro de Sodio, Ditifosfato A-404.





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DE FLOTACIÓN DE MALAQUITA

##### 4.1.1. Resultados de la flotación de Cu “estándar” a condiciones de planta actual

Para el reporte de los resultados de la prueba metalúrgica de flotación “ESTÁNDAR”, en primer lugar, se detallan el procedimiento seguido del cálculo de recuperación de cobre en la flotación estándar presentado en la Tabla 20.

**1. Cálculo de contenido fino:** Se refiere al contenido de elemento valioso ya sea en el mineral de cabeza, concentrado, medios y relave.

$$\text{Contenido Fino (g)} = \text{Peso Productos (g)} \times \text{Ley Productos (\%)} / 100$$

$$\text{Cont. Fino Conc. Cu} = 80.400 \text{ g} \times 30.75 \% / 100 = 24.723 \text{ g}$$

$$\text{Cont. Fino Medios} = 250.200 \text{ g} \times 8.08 \% / 100 = 20.216 \text{ g}$$

$$\text{Cont. Fino Relave} = 669.400 \text{ g} \times 6.03 \% / 100 = 40.365 \text{ g}$$

##### 2. Recuperación:

**Recuperación (%)** =  $\text{Peso de cont. fino (g)} \times 100 / \text{Peso cont. fino de cabeza (g)}$

$$\text{Recuperación Conc. Cu} = 24.723 \text{ g} \times 100 / 85.304 \text{ g} = 28.982\%$$

$$\text{Recuperación Medios} = 20.216 \text{ g} \times 100 / 85.304 \text{ g} = 23.698\%$$

$$\text{Recuperación Relave} = 40.365 \text{ g} \times 100 / 85.304 \text{ g} = 47.319\%$$

##### 3. Total de recuperación:

$$\text{Recup. Final de Cobre (\%)} = \% \text{ Recup. Conc. -Cu} + \% \text{ Recup. Medios}$$

$$\% \text{ Recuperación final de cobre} = 28.98 \% + 23.70\% = 52.68 \%$$



#### 4. Ley de Cabeza Calculada:

$$\text{Ley Cabeza Calculada} = (\text{Peso Cont. Fino Cabeza (g)} / \text{Peso Cabeza}) \times 100$$

$$\text{Ley cabeza Calculada} = (85.304 \text{ g} / 1000.000 \text{ g}) \times 100 = 8.530 \%$$

#### 5. Razón de concentración: Radio de concentración (g) =

$$\text{Peso Cabeza (g)} / \text{Peso Concentrado (g)}$$

$$\text{Radio Concentración} = 1000.000 \text{ g} / 80.400 \text{ g} = 12.437 \text{ g}$$

**Experimento estándar:** Se realizó una prueba metalúrgica de flotación “ESTÁNDAR” del mineral óxido de cobre (malaquita), sin considerar la dosificación del colector AM810 cuyos resultados nos servirá para realizar las comparaciones porcentuales de recuperación de las 6 pruebas metalúrgicas de flotación experimentales de malaquita según las variables propuestas. El balance metalúrgico de la prueba de flotación de malaquita ESTÁNDAR, con una recuperación de Cu del 52.68 % se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Balance metalúrgico de la prueba de flotación ESTANDAR*

Productos	Peso (g)	Leyes	Contenido Fino	Recuperación	Ratio
		Cu (%)	Cu	Cu (%)	
Cabeza calculada	1000.000	8.53	85.304	100.00	
Concentrado	80.400	30.75	24.723	<b>28.98</b>	12.44
Medios	250.200	8.08	20.216	<b>23.70</b>	
Relave	669.400	6.03	40.365	47.32	
Cabeza Analizada		8.53			
Recuperación (%) = 52.68					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

### 1.1.1 4.1.2. Resultados de las 6 pruebas experimentales del diseño propuesto

Se muestran las 6 pruebas experimentales de flotación de malaquita, con el diseño propuesto.

**Experimento 1:** Se realizó la prueba metalúrgica de flotación del mineral óxido de cobre (malaquita) con una dosificación del colector AM810 de 300 g/TM y el nivel de pH de 7. El balance metalúrgico con una recuperación de Cu del 62.95% se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 1*

Productos	Peso (g)	Leyes	Con	Recup	R
		Cu (%)	tenido Fino Cu	eración Cu (%)	
Cabeza calculada	100	8	83.2	100.00	
Conc	0.000	.33	56		
Entrado	63.	3	21.2	<b>25.50</b>	1
Medios	378	3.50	32		5.78
Relave	363	8	31.2	<b>37.51</b>	
Cabeza Analizada	.100	.60	27		
	573	5	30.7	36.99	
	.522	.37	98		
		8			
		.53			
Recuperación (%)= 63.01					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

**Experimento 2:** se realizó la prueba metalúrgica de flotación del mineral óxido de cobre (malaquita) con una dosificación del colector AM810 de 500 g/TM y el nivel de pH de 7. El balance metalúrgico con una recuperación de Cu del 68.02 % se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23***Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 2*

Productos	Peso (g)	Leyes	Contenido Fino	Recuperación	Ratio
		Cu (%)	Cu	Cu (%)	
Cabeza calculada	1000.000	8.59	85.871	100.00	
Concentrado	86.9	30.02	26.087	<b>30.38</b>	11.51
Medios	388.0	8.33	32.320	<b>37.64</b>	
Relave	525.100	5.23	27.463	31.98	
Cabeza Analizada		8.53			
Recuperación (%) = 68.02					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

**Experimento 3:** se realizó la prueba metalúrgica de flotación del mineral óxido de cobre (malaquita) con una dosificación del colector AM810 de 300 g/TM y el nivel de pH de 9. El balance metalúrgico con una recuperación de Cu del 68.07 % se muestra en la Tabla 24.

**Tabla 24***Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 3*

Productos	Peso (g)	Leyes	Contenido Fino	Recuperación	Ratio
		Cu (%)	Cu	Cu (%)	
Cabeza calculada	1000.000	8.84	88.351	100.00	
Concentrado	88.700	29.76	26.397	<b>29.88</b>	11.27
Medios	398.400	8.47	33.744	<b>38.19</b>	
Relave	512.900	5.50	28.210	31.93	
Cabeza Analizada		8.53			
Recuperación (%) = 68.07					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

**Experimento 4:** se realizó la prueba metalúrgica de flotación del mineral óxido de cobre (malaquita) con una dosificación del colector AM810 de 500 g/TM



y el nivel de pH de 9. El balance metalúrgico con una recuperación de Cu del 77.14 % se muestra en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 4*

Productos	Peso (g)	Leyes	Contenido Fino	Recuperación	Ratio
		Cu (%)	Cu	Cu (%)	
Cabeza calculada	1000.000	9.00	90.011	100.00	
Concentrado	88.500	30.02	26.568	<b>29.52</b>	11.30
Medios	493.300	8.69	42.868	<b>47.63</b>	
Relave	418.200	4.92	20.575	22.86	
Cabeza Analizada		8.53			
Recuperación (%) = 77.14					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

**Experimento 5:** se realizó la prueba metalúrgica de flotación del mineral óxido de cobre (malaquita) con una dosificación del colector AM810 de 400 g/TM y el nivel de pH de 8. El balance metalúrgico con una recuperación de Cu del 81.31 % se muestra en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 5*

Productos	Peso (g)	Leyes	Contenido Fino	Recuperación	Ratio
		Cu (%)	Cu	Cu (%)	
Cabeza calculada	1000.000	8.98	89.787	100.00	
Concentrado	98.800	34.58	34.165	<b>38.05</b>	10.12
Medios	492.920	7.88	38.842	<b>43.26</b>	
Relave	408.280	4.11	16.780	18.69	
Cabeza Analizada		8.53			
Recuperación (%) = 81.31					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

**Experimento 6:** se realizó la prueba metalúrgica de flotación del mineral óxido de cobre (malaquita) con una dosificación del colector AM810 de 400 g/TM



y el nivel de pH de 8. El balance metalúrgico con una recuperación de Cu del 82.28 % se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27**

*Balance metalúrgico de la prueba de flotación N° 6*

Productos	Peso (g)	Leyes	Contenido Fino	Recuperación	Ratio
		Cu (%)	Cu	Cu (%)	
Cabeza calculada	1000.000	8.57	85.745	100.00	
Concentrado	115.200	30.41	35.032	<b>40.86</b>	8.68
Medios	450.800	7.88	35.523	<b>41.43</b>	
Relave	434.000	3.50	15.190	17.72	
Cabeza Analizada		8.53			
Recuperación (%) = 82.28					

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

En la Tabla 28 se muestra el resumen de la recuperación de Cu de los 6 experimentales, donde la mayor recuperación se obtuvo en los tratamientos 5 y 6. Para una dosificación del colector AM810 de 400 g/TM y el nivel de pH de 8.

**Tabla 28***Recuperación del Cobre total en el diseño factorial*

Prueba de flotación (N°)	AM810 g/TM	pH	Recuperación CuT con las variables en estudio (%)	Recuperación CuT “ESTÁNDAR” (%)	% de Cu en comparación con el estándar
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>			
1	300	7	62.95	52.68	10.27
2	500	7	68.02		15.34
3	300	9	68.07		15.39
4	500	9	77.14		24.46
5	400	8	81.31		28.63
6	400	8	82.28		<b>29.60</b>

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

#### 4.1.3. Análisis de las pruebas de flotación con el diseño factorial 2<sup>2</sup>

Con los resultados obtenidos de las pruebas experimentales de flotación del mineral malaquita, para el análisis estadístico ANOVA factorial, se tuvo en consideración los factores propuestos en la Tabla 29, considerando la respuesta en % de recuperación de cobre en la Tabla 30.

**Tabla 29***Variables y niveles estudiados en el diseño experimental para las pruebas metalúrgicas de flotación de malaquita*

Variables	Unidad	Rango de variables		
		Mínimo (-)	Centro (0)	Máximo (+)
X <sub>1</sub> : AM810	g/TM	300	400	500
X <sub>2</sub> : pH	-	7	8	9

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 30***Recuperación del Cobre total en el diseño factorial*

PRUEBA (N°)	Variables Codificadas		Variables reales		Recuperación CuT (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> : AM810 g/TM	X <sub>2</sub> : pH	
1	-1	-1	300	7	62.95
2	1	-1	500	7	68.02
3	-1	1	300	9	68.07
4	1	1	500	9	77.14
5	0	0	400	8	81.31
6	0	0	400	8	82.28

*Nota.* Elaboración propia de las pruebas experimentales.

La Tabla 31 muestra el análisis el cual permite determinar la significancia de los factores evaluados y sus respectivas interacciones. Solo la curvatura se muestra significativa.

**Tabla 31***ANOVA para porcentaje de recuperación de Cu*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	321.429	80.357	170.81	0.057
Lineal	2	100.679	50.340	107.00	0.068
Colector	1	49.985	49.985	106.25	0.062
pH	1	50.694	50.694	107.76	0.061
Interacciones de 2 términos	1	4.000	4.000	8.50	0.210
Colector*pH	1	4.000	4.000	8.50	0.210
Curvatura	1	216.750	216.750	460.73	0.030
Error	1	0.470	0.470		
Total	5	321.900			

*Nota.* Obtenido de Minitab. R-cuadrado = 99.29 %

La ecuación del modelo ajustado para las variables significativas en el proceso se muestra en la Ecuación 1:

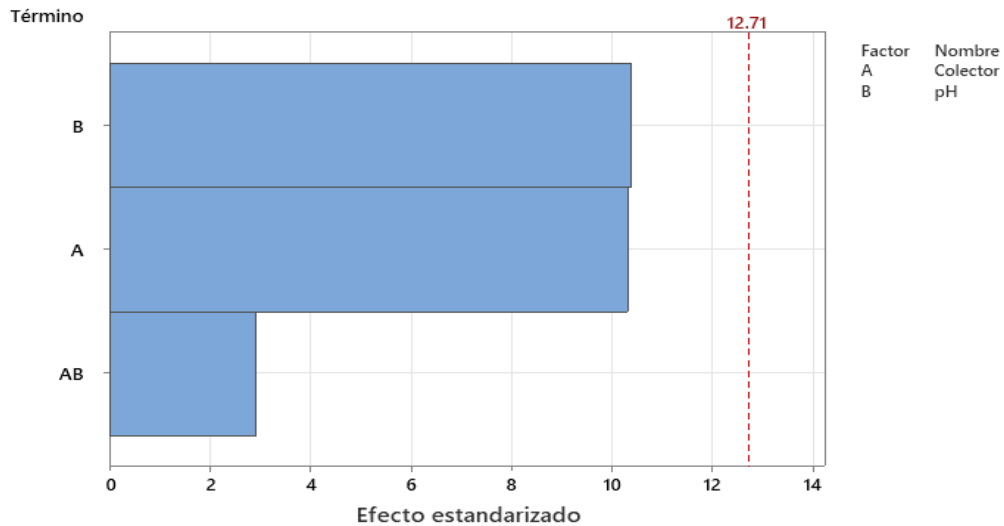
$$\text{Recuperación (\%)} = 58.4 - 0.0447 \text{ Colector} - 0.44 \text{ pH} + 0.01000 \text{ Colector*pH} + 12.750 \text{ Pt Ctral}$$



El diagrama de Pareto de la Figura 9 ha sido elaborado en base a los valores de la Tabla 29, indica a cada uno de los factores con sus efecto e interacciones no significativos y solo la curvatura como significativa.

### Figura 9

#### Diagrama de Pareto Estandarizado para Recuperación de Cu

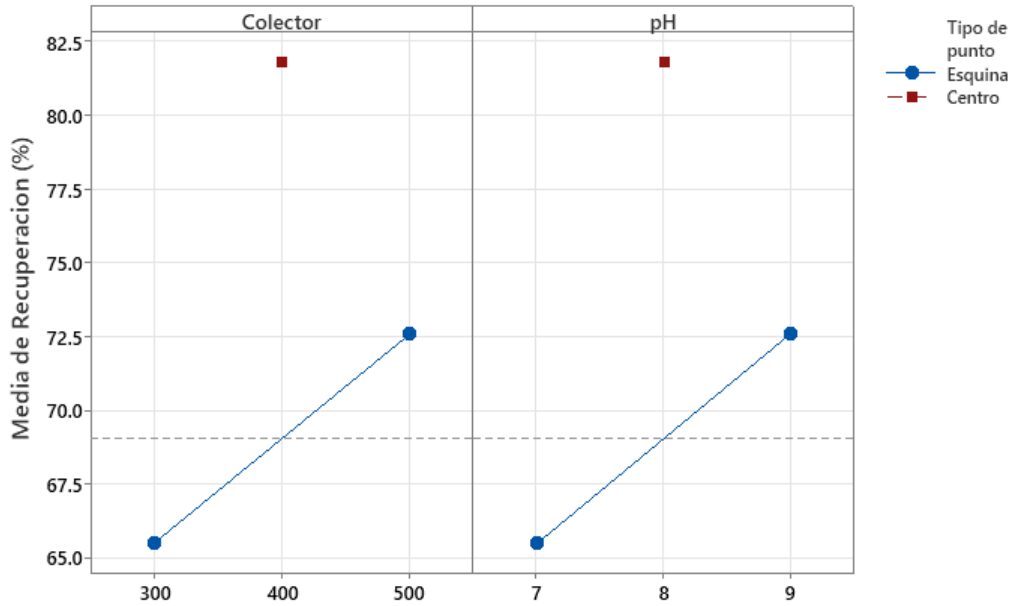


*Nota.* Obtenido de Minitab.

En la Figura 10 se muestra el diagrama de efectos principales de las dos variables; donde ambas cuentan con un vector de pendiente positivo, siendo esta directamente proporcional a la recuperación de Cu. Se visualiza como varía la recuperación de Cu con los valores máximos y mínimos de los factores y la curvatura significativa.

**Figura 10**

*Grafica de Efectos principales*

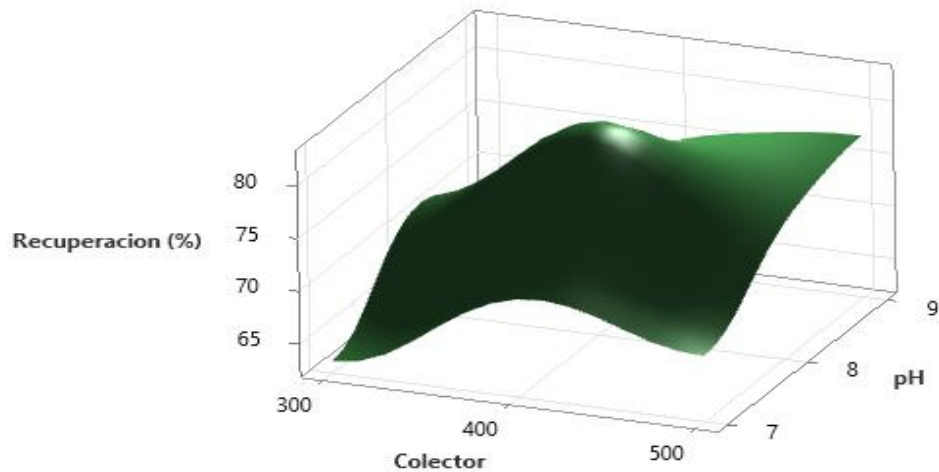


*Nota.* Obtenido de Minitab.

La Figura 11 muestra que la mayor recuperación de Cu es en el punto central de los parámetros, es decir a pH igual 8 y dosificación del colector AM810 de 400 g/TM. Mientras que a mayor nivel de pH cercano igual a 9 esta recuperación se reduce ligeramente.

**Figura 11**

*Grafica de superficies para la recuperación de Cu*



*Nota.* Obtenido de Minitab.



## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La recuperación de cobre de la malaquita empleando el colector de óxidos de cobre AM810 se ha demostrado eficiente en los experimentos realizados. Específicamente, la dosificación de 400 g/TM del colector en combinación con un pH de 8 produjo las mayores recuperaciones, alcanzando hasta el 82,28. En comparación, con la flotación “STÁNDAR”, de recuperación de cobre de solo el 52.68 % la adición del colector para óxidos de cobre AM 810 mejora la recuperación en un 29.66 %. Este resultado se alinea con estudios previos, como el de Condori (2020), que también encontró que el colector AM810 en dosis adecuadas mejora significativamente la recuperación de óxidos de cobre. En el análisis factorial, tanto la dosificación del colector como el pH mostraron efectos positivos en la recuperación, aunque la interacción entre estos factores no resultó significativa. Sin embargo, la curvatura del modelo fue significativa, indicando que las condiciones óptimas no son lineales y resaltan la importancia del punto central (pH 8, dosificación 400 g/TM) para maximizar la recuperación.

Por ende, la dosificación más adecuada del colector de óxidos de cobre AM810 para aumentar el porcentaje de recuperación de cobre fue de 400 g/TM alcanzando un 82.28 %; por lo que, se observó que la dosificación del colector juega un papel crucial en la eficiencia de la recuperación. Este resultado es consistente con lo encontrado por Sefako (2018), quien evidenció que el colector AM810 fue el más selectivo y aumentó la recuperación de cobre al incrementar la dosis a 80 g/TM, obteniendo una recuperación del 74.7%. Así, nuestros resultados refuerzan la efectividad del AM810, pero sugieren que la dosificación óptima puede variar según el contexto experimental y el tipo de mineral.



En cuanto a la determinación del nivel de pH de flotación adecuado, los resultados muestran que el pH tiene un impacto significativo en la recuperación de cobre. La recuperación más alta se observó a un pH de 8, con una ligera disminución en la eficiencia cuando el pH se incrementó a 9. Estos hallazgos son congruentes con el estudio de Marion et al. (2017), quienes señalaron que los hidroxamatos se adsorben selectivamente en la superficie de la malaquita, especialmente en condiciones de pH alcalino, lo que aumenta la hidrofobicidad de las partículas y facilita su separación en el proceso de flotación. Esto es consistente con nuestros resultados, donde el pH de 8 permitió una alta recuperación, evidenciando la eficacia del AM810 en crear una superficie hidrofóbica favorable para la flotación.

Finalmente, la flotación de malaquita con colectores de hidroxamato, como el AM810, se basa en la adsorción selectiva del colector en la superficie del mineral. Según Lu et al. (2021), los colectores de hidroxamato, especialmente los modificados estructuralmente, presentan una capacidad de recolección superior y una separación efectiva en condiciones alcalinas. Este mecanismo de adsorción se reflejó en nuestros experimentos, donde la combinación adecuada de dosificación y pH permitió maximizar la recuperación de cobre. Además, los resultados corroboran y ampliaron el conocimiento existente sobre el uso del colector AM810. Por ejemplo, Mohammadkhani et al. (2020) demostraron que la combinación de PAX y HXM, incluyendo el AM810, resulta en una coadsorción química efectiva en la superficie de malaquita, mejorando la hidrofobicidad y, por ende, la recuperación del mineral. En este caso, la eficacia del AM810 como acción solitaria a diferentes dosificaciones y pH proporciona una visión más detallada sobre su comportamiento específico en la flotación de malaquita.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La dosificación más adecuada del colector de óxidos de cobre AM810 es de 400 g/TM un nivel central. Esto es evidente por el efecto significativo de la curvatura. Donde se logra una maximiza recuperación de cobre del 82.28 %, un 29.66 % más en comparación a la prueba metalúrgica ESTANDAR de 52.68 %. Estos resultados destacan el efecto positivo de estas variables en la mejora de la recuperación de cobre.

**SEGUNDA:** El nivel de pH de flotación de malaquita adecuada utilizando el colector AM810 es de 8. Este nivel de pH es el nivel central del pH evaluado, por lo que el efecto de la curvatura fue significativo y en combinación con la dosificación óptima del colector, proporciona la mayor recuperación de cobre del 82.28 %.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Para futuras investigaciones y aplicaciones industriales, se recomienda validar y optimizar estos parámetros en condiciones operativas más amplias y en diferentes tipos de minerales. Se recomienda mantener la dosificación del colector AM810 en 400 g/TM durante el proceso de flotación de malaquita para este tipo de mineral con las mismas características mineralógicas. Ajustar esta dosificación en función de variaciones en la composición del mineral o cambios en las condiciones operativas podría optimizar aún más la recuperación.

**SEGUNDA:** Mantener el pH del proceso de flotación en 8 es crucial para maximizar la recuperación de cobre. Se recomienda un monitoreo continuo y ajuste del pH para asegurar que se mantenga en este nivel óptimo.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca Rodriguez, J. J. (2011). *Flotación de minerales*. Huacho, Perú.
- Condori Paucar, C. (2020). *Evaluación de las cinéticas de flotación de Cu de un mineral mixto a partir del análisis de cobre secuencial*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Cajas, Repositorio Institucional UNSA. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fb84a6dc-c424-4632-9398-cf1ac37a20f7/content>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGrawHill.
- Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Lee, K., Archibald, D., Mclean, J., & Reuter, M. (2009). *Flotation of mixed copper oxide and sulphide minerals with xanthate and hydroxamate collectors*.
- Li, Z., Rao, F., Lou, X., Song, S., & López-Valdivieso, A. (2019). Floc-Flotation of Malachite Fines with an Octyl Hydroxamate and Kerosene Mixture. *Minerals*, 9(5), 301. <https://doi.org/10.3390/min9050301>
- Liu, R., Liu, D., Li, J., Li, J., Liu, Z., Jia, X., . . . Ning, S. (2020). Sulfidization mechanism in malachite flotation: A heterogeneous solid-liquid reaction that yields  $Cu_xS_y$  phases grown on malachite. 154. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106420>
- Lotter, N., Bradshaw, D., & Barnes, A. (2016). Classification of the Major Copper Sulphides into semiconductor types, and associated flotation characteristics. *Minerals Engineering*, 97, 177-184. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.05.016>
- Lu, Y., Wu, K., Cao, Z., Ma, X., & Zhong, H. (2021). Structural modification of hydroxamic acid collectors to enhance the flotation performance of malachite and associated mechanism. *Journal of Molecular Liquids*, 344(1), 1-13. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117959>



- Marion, C., Jordens, A., Li, R., & Waters, K. (2017). An evaluation of hydroxamate collectors for malachite flotation. *Separation and Purification Technology*, 183, 258-269. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.056>
- Ministerio de Energia y Minas [MINEM]. (2023). *Produccion nacional de cobre*. ESTAMIN. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4532949/BEM%2003-2023.pdf>
- Mohammadkhani, M., Abdollahy, M., & Khalesi, M. (2020). Investigation of Mechanism of Adsorption of Xanthate and Hydroxamate on Malachite. *Journal of Mining and Environment (JME)*, 11(3), 921-933. Obtenido de [https://jme.shahroodut.ac.ir/article\\_1846\\_d9a26fc023476e23104389ff56a4846e.pdf](https://jme.shahroodut.ac.ir/article_1846_d9a26fc023476e23104389ff56a4846e.pdf)
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogota: Ediciones de la U .
- Riquelme , C., & Torre, S. (2022). *Evaluación de los colectores A-3418 y Z-6 para recuperar el cobre de los minerales mixtos de la Planta de Beneficios Jesús S.A.C-Nazca*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Cajas, Repositorio Institucional UNSA. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6346>
- Sefako, R. (2018). *Recovery of PGMs from an oxide ore by flotation and leaching*. Universidad de Witwatersrand, Tesis de maestria. Obtenido de <https://wiredspace.wits.ac.za/server/api/core/bitstreams/2023e3aa-ac1b-46c4-95d6-f752762504d1/content>
- Sekgarametso, K. (2018). *Flotation of non-sulphide PGM ores - Optimization of flotation reagent suite and conditions*. Universidad de Witwatersrand, Tesis de maestria. Obtenido de <https://wiredspace.wits.ac.za/server/api/core/bitstreams/5c0d78ff-2fc8-46e0-b399-6fecf96740a1/content>
- Tinashe O., N., & Lordwell K., W. (2017). A review of the flotation of copper minerals. *IJSBAR*, 34(2), 145-165. Obtenido de





<https://www.gssrr.org/index.php/JournalOfBasicAndApplied/article/view/7590/3542>

Vierira A., M., & Peres A., E. (2007). The effect of amine type, pH, and size range in the flotation of quartz.

Vilca Casazuela, H. H. (2019). *Evaluación de la flotación de óxidos de cobre mediante pruebas de reactivos en laboratorio*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/eca25365-e510-4651-af22-0dd8a4a4b89c/content>

Yianatos B., J. (2005). *Flotación de minerales*. Chile.

Zhang, J., & Zeng, H. (2021). Intermolecular and Surface Interactions in Engineering Processes. *Elsevier*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.08.017>

## ANEXOS

### ANEXO 1 Reportes de laboratorio

#### Figura

12.

*Reporte de laboratorio de la prueba estándar.*

**RoLAB**  
LABORATORIO

RUC: 20608492179

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

**CLIENTE** : NILA HUISA

**SOLICITUD DE ANÁLISIS** : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

**DESCRIPCIÓN** : MOLIDO/PULPA

**MUESTRA ENVASADA EN** : BOLSA/BOTELLA PLASTICA

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 03/07/2024

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO** : 04/07/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		CuT %
081480-1	P-ESTANDAR CONCENTRADO-Cu	30.75
081480-2	P-ESTANDAR MEDIOS	8.08
081480-3	P-ESTANDAR RELAVE	6.03

**METODO** : Volumetric // AAS

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

*Uli Chevarín Vásquez*  
Uli Chevarín Vásquez  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

934 779 532 rolaboratorio30@gmail.com

Prueba N01



**ROLAB**  
LABORATORIO



**RUC: 20608492179**

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

**CLIENTE** : NILA HUISA

**SOLICITUD DE ANÁLISIS** : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

**DESCRIPCIÓN** : MOLIDO/ PULPA

**MUESTRA ENVASADA EN** : BOLSA/BOTELLA PLASTICA

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 14/02/2024

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO** : 14/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		CuT
011418-1	P1-CONCENTRADO-Cu	33.50
011418-2	P1-MEDIOS	8.60
011418-3	P1-RELAVE	5.37

METODO	Volumetrico // AAS
--------	--------------------

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.



**Lili Chavari Vásquez**  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

 **934 779 532**  **rolaboratorio30@gmail.com**



Prueba N02

RUC: 20608492179

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

CLIENTE : NILA HUISA

SOLICITUD DE ANÁLISIS : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

DESCRIPCIÓN : MOLIDO/ PULPA

MUESTRA ENVASADA EN : BOLSA/BOTELLA PLASTICA

FECHA DE RECEPCIÓN : 15/02/2024

FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 15/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		CuT
011432-1	P2-CONCENTRADO-Cu	%
011432-2	P2-MEDIOS	30.02
011432-3	P2-RELAVE	8.33
		5.23

METODO : Volumetrico // AAS

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

Lili Chevalier Vasquez  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

934 779 532 rolablaboratorio30@gmail.com

Prueba N03

RUC: 20608492179

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

CLIENTE : NILA HUISA  
SOLICITUD DE ANÁLISIS : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

DESCRIPCIÓN : MOLIDO/ PULPA  
MUESTRA ENVASADA EN : BOLSA/BOTELLA PLASTICA  
FECHA DE RECEPCIÓN : 16/02/2024  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 16/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		CuT
011446-1	P3-CONCENTRADO-Cu	% 29.76
011446-2	P3-MEDIOS	8.47
011446-3	P3-RELAVE	5.50

METODO : Volumetrico

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

*[Firma]*  
Lili Chavari Vásquez  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

934 779 532 rolablaboratorio30@gmail.com



Prueba N04

**RUC: 20608492179**

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

**CLIENTE** : NILA HUISA

**SOLICITUD DE ANÁLISIS** : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

**DESCRIPCIÓN** : MOLIDO/ PULPA

**MUESTRA ENVASADA EN** : BOLSA/BOTELLA PLASTICA

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 17/02/2024

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO** : 17/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS	
		CuT	%
011461-1	P4-CONCENTRADO-Cu	30.02	
011461-2	P4-MEDIOS	8.69	
011461-3	P4-RELAVE	4.92	

**METODO** Volumetrico // AAS

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

**Lili Chavari Vásquez**  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

934 779 532 rolaboratorio30@gmail.com

Prueba N05

**RUC: 20608492179**

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

**CLIENTE** : NILA HUISA  
**SOLICITUD DE ANÁLISIS** : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

**DESCRIPCIÓN** : MOLIDO/ PULPA  
**MUESTRA ENVASADA EN** : BOLSA/BOTELLA PLASTICA  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 17/02/2024  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO** : 17/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		CuT
011461-4	P5-CONCENTRADO-Cu	34.58
011461-5	P5-MEDIOS	7.88
011461-6	P5-RELAVE	4.11

**METODO** : Volumetrico // AAS

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

**Lili Chavari Vásquez**  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

934 779 532 rolaboratorio30@gmail.com



Prueba N06

**RUC: 20608492179**

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

**CLIENTE** : NILA HUISA

**SOLICITUD DE ANÁLISIS** : REC Cut

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

**DESCRIPCIÓN** : MOLIDO/PULPA

**MUESTRA ENVASADA EN** : BOLSA/BOTELLA PLASTICA

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 19/02/2024

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO** : 19/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		CuT %
011473-1	P6-CONCENTRADO-Cu	30.41
011473-2	P6-MEDIOS	7.88
011473-3	P6-RELAVE	3.50

**METODO** : Volumetrico // AAS

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

Lili Chevarri Vásquez  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

934 779 532 rolaboratorio30@gmail.com



Ley de cabeza

**RUC: 20608492179**

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**

**CLIENTE** : NILA HUISA TICONA

**SOLICITUD DE ANÁLISIS** : CuT- CuOx REC

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**

**DESCRIPCIÓN** : MOLIDO

**CODIGO DEL CLIENTE** : CABEZA

**CODIGO DEL LABORATORIO** : 011387-1

**PESO DE LA MUESTRA** : 0.320 Kg Aprox

**MUESTRA ENVASADA EN** : BOLSA PLASTICA

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 10/02/2024

**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO** : 12/02/2024

CODIGO DE LAB	CODIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS	
		CuT	CuOx
		%	%
011387-1	CABEZA	8.53	8.45

**MÉTODO**  
Volumetria

**Nota:**  
Los resultados presentados solo corresponden a la muestra indicada.

Lili Chevarín Vásquez  
Ingeniera Metalurgista  
Reg. CIP. N° 316499

**OFICINAS:**

- Calle Panamericana Sur 140, Nasca 11401 - Vista Alegre - Nasca - Ica
- Panamericana Sur N° km Intr 453 - Vista Alegre - Nasca - Ica

**934 779 532** **rolablaboratorio30@gmail.com**

## ANEXO 2 Evidencias fotográficas

### Figura

20

*Preparación de muestra mineral Malaquita*



### Figura

21

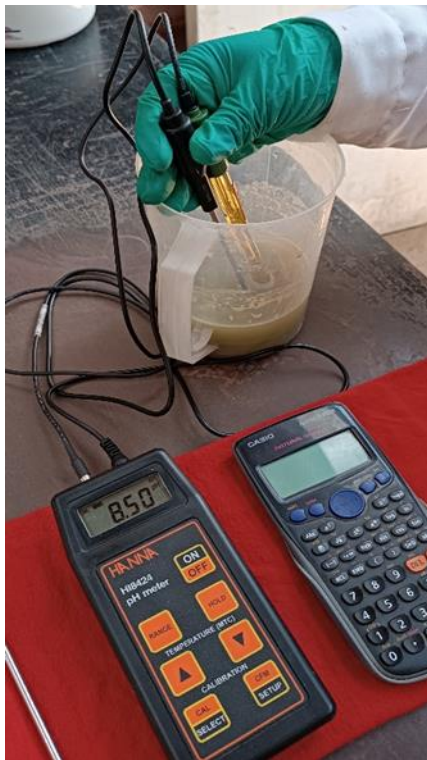
*Preparación de reactivos de flotación de minerales.*



**Figura**

22

*Control del pH de la muestra.*



**Figura**

23

*Reactivo colector de flotación de minerales oxidados de cobre AM810*





**Figura**

**24**

*Molino de bolas de laboratorio 7 1/2" diámetro x 12" largo.*



**Figura**

**25**

*Celda de flotación de laboratorio tipo DENVER de 500 g y 1000 g de capacidad.*



**Figura**

**26.**

*Prueba metalúrgica de flotación de minerales de malaquita.*



**Figura**

**27**

*Secado de productos obtenidos en la flotación de malaquita.*



## Figura

28

*Muestras de productos obtenidos como concentrado, medios y relave en las pruebas de flotación de malaquita listos para sus análisis químicos por cobre total.*





### **ANEXO 3** Declaración jurada de autenticidad de tesis



## ANEXO 4 Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional





## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo NILA HUISA TICONA,  
identificado con DNI 76383234 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACIÓN DEL COLECTOR AM810 PARA MEJORAR LA RECUPERACION DE  
COBRE EN EL PROCESO DE FLOTACION DE MINERAL MALAQUITA ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 22 de JULIO del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)





### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo NILA HUISA TICONA  
identificado con DNI 76383234 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" EVALUACIÓN DEL COLECTOR AM810 PARA MEJORAR LA RECUPERACION DE  
COBRE EN EL PROCESO DE FLOTACION DE MINERAL MALAQUITA.  
"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de JULIO del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella