

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA OPTIMIZAR EL PROCESO
DE FLOTACIÓN DEL MINERAL MARMATITA**

PRESENTADO POR:

Bach. ALARCÓN REYES, Ives Fernando

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Bach. MEDINA ROJAS, Roque

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Químico Industrial

HUANCAYO – PERÚ

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

BACHILLER: **IVES FERNANDO ALARCON REYES**
PARA OPTAR EL TITULO DE: **INGENIERO QUÍMICO**

Siendo las diez horas del día jueves veinticuatro del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, en la Sala de Conferencias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú; con la presencia del jurado examinador, conformado por los catedráticos:

PRESIDENTE	: Dr. CÉSAR AUGUSTO LOAYZA MORALES
SECRETARIA	: Ms. PAMELA LIZBETH ROJAS POMALIMA
VOCAL (1)	: Dr. ANDRES CORCINO ROJAS QUINTO
VOCAL (2)	: Dr. DAVID SANTOS USCAMAYTA VERASTEGUI
VOCAL (3)	: Ms. FÉLIX ALBERT VILLAVICENCIO RAMÓN
VOCAL (SUPLENTE)	: Dr. HUGO SUASNABAR BUENDÍA

El presidente, dio inicio al acto de sustentación, invitando a la señora secretaria a dar lectura la **Resolución N° 168-2024-DFIQ-UNCP**. Seguidamente invitó al Bachiller **IVES FERNANDO ALARCON REYES** a la sustentación y defensa de su tesis titulada: **“ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FLOTACIÓN DEL MINERAL MARMATITA”**. Concluida la sustentación, los señores miembros del jurado procedieron a realizar las preguntas y observaciones del caso, finalmente los miembros del jurado invitan abandonar la sala de manera momentánea para deliberar. Realizada la votación secreta se tuvo el veredicto: **APROBADO...POR UNANIMIDAD**, siendo las **11:15** horas, se dio por concluida el acto de sustentación, firmando al pie los presentes.


PRESIDENTE


VOCAL(1)


VOCAL(2)


VOCAL(3)


SECRETARIA - SUSTENTACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

BACHILLER: **ROQUE MEDINA ROJAS**
PARA OPTAR EL TITULO DE: **INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

Siendo las diez horas del día jueves veinticuatro del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, en la Sala de Conferencias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú; con la presencia del jurado examinador, conformado por los catedráticos:

PRESIDENTE	: Dr. CÉSAR AUGUSTO LOAYZA MORALES
SECRETARIA	: Ms. PAMELA LIZBETH ROJAS POMALIMA
VOCAL (1)	: Dr. ANDRES CORCINO ROJAS QUINTO
VOCAL (2)	: Dr. DAVID SANTOS USCAMAYTA VERASTEGUI
VOCAL (3)	: Ms. FÉLIX ALBERT VILLAVICENCIO RAMÓN
VOCAL (SUPLENTE)	: Dr. HUGO SUASNABAR BUENDÍA

El presidente, dio inicio al acto de sustentación, invitando a la señora secretaria a dar lectura la **Resolución N° 169-2024-DFIQ-UNCP**. Seguidamente invitó al Bachiller **ROQUE MEDINA ROJAS** a la sustentación y defensa de su tesis titulada: **“ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FLOTACIÓN DEL MINERAL MARMATITA”**. Concluida la sustentación, los señores miembros del jurado procedieron a realizar las preguntas y observaciones del caso, finalmente los miembros del jurado invitan abandonar la sala de manera momentánea para deliberar. Realizada la votación secreta se tuvo el veredicto: APROBADO POR UNANIMIDAD siendo las 11:15 horas, se dio por concluida el acto de sustentación, firmando al pie los presentes.


PRESIDENTE


VOCAL(1)


VOCAL(2)


VOCAL(3)


SECRETARIA - SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ciudad Universitaria Km 5. Pabellón "C" ☎ 481164 Anexo: 3301-3302-3304
web: <http://www.uncp.edu.pe/Facultades/Fiq/home.htm> mail: quimica@uncp.edu.pe



INFORME N° 002-2023-ACRQ-FIQ-UNCP

A : Dra. JUANA MARÍA MENDOZA SÁNCHEZ
Decana (e) de la Facultad de Ingeniería Química

DE : Dr. ANDRES CORCINO ROJAS QUINTO
Docente Asesor de Tesis – Facultad de Ingeniería Química – UNCP

ASUNTO : REPORTE DE SIMILITUD DE CONTENIDO (TURNITIN)

FECHA : Huancayo, 23 de setiembre de 2023

Mediante el presente me dirijo a usted para saludarle y la vez hacer de su conocimiento, que después de haber procedido a la verificación de similitud con el TURNITIN en cumplimiento a la Ley Universitaria N° 30220, Estatuto de la UNCP, Reglamento de investigación y la Resolución N° 2064-CU-2017 del Código de Ética de Investigación de la UNCP, el resultado fue el siguiente:

TÍTULO DE TESIS	TESISTA	RESULTADO DE SIMILITUD
"ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FLOTACIÓN DEL MINERAL MARMATITA"	<ul style="list-style-type: none">• ALARCON REYES, IVES FERNANDO• MEDINA ROJAS, ROQUE	19 %

Lo cual se informa a usted para los fines correspondientes. En consecuencia, recomiendo que los (las) tesisistas continúen con sus trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención especial al presente me despido reiterándole mi estima personal.

Atentamente.,

Dr. ANDRES C. ROJAS QUINTO
DOCENTE - ASESOR

cc. Archivo.

Estudio experimental para optimizar el proceso de la flotación del mineral marmatita

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	0%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe	5%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	kupdf.net	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	vsip.info	1%
	Fuente de Internet	
6	minerales.webnode.es	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.unjfsc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	livrosdeamor.com.br	1%
	Fuente de Internet	
9	www.scielo.org.co	
	Fuente de Internet	

1 %

10

dspace.otalca.cl

Fuente de Internet

1 %

11

1library.co

Fuente de Internet

1 %

12

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

13

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

intranet.cip.org.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

17

www.dropbox.com

Fuente de Internet

<1 %

18

materialoteca.azc.uam.mx

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

www.mfe.govt.nz

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía Activo

ASESOR

Dr. ROJAS QUINTO, Andrés Corcino

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y a mis padres, Juan y Fortunita, por el apoyo incondicional y la motivación constante gracias por estar conmigo en todo momento, por brindarme el mejor regalo que es, la educación para la vida y por enseñarme a creer en mí siempre. A mis hermanos Fredy, Bilsan y Jakie por estar siempre presente, por la confianza, el apoyo moral, e y cariño.

Ives Fernando Alarcón Reyes.

Mi tesis va dedicada con sentimiento para mis padres Francisco Medina Vega y Rebeca Paulina Rojas Chuquillanqui quienes aparte de darme la vida estuvieron apoyándome incondicionalmente durante mi formación profesional, a mis hermanos: María, Rafael, Rebeca y Ronald que siempre creyeron en mis capacidades y que estuvieron aconsejándome a largo de todos mis estudios.

Roque Medina Rojas

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra alma mater “Universidad Nacional del Centro del Perú” a los catedráticos, quienes imparten en las aulas sus conocimientos y sus valores permitiendo una formación integral en cada uno de nosotros.

Al Ing. Andrés Rojas Quinto, asesor de tesis por los aportes con criterio, consejos, conocimientos y tiempo valioso para la culminación de este trabajo.

Quisiera expresar mi agradecimiento a todos quienes estuvieron vinculados de alguna manera a este proyecto amigos y colegas, que con un granito de arena hicieron inestimable aporte.

Al apoyo invaluable e inspiración que generaron mis padres, hermanos y familiares, a quienes siempre tengo presente.

RESUMEN

Dada la mineralogía del mineral, en la planta piloto de huari propiedad de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU donde se cuenta Zn marmatítico con alto contenido de PIRROTITA como mineral de ganga con 4.13, donde era necesario realizar pruebas para obtener una buena recuperación de Zn, por lo que este tipo de material es poco común en nuestros yacimientos mineros del Perú, por lo general encontramos mineral piritosos y no pirrotita, esto hace que la metalurgia escape en valores normales de la flotación de las plantas concentradoras, las cuales dificultan el circuito de flotación del Zn, con baja ley de calidad, lamas se Zn activadas en el concentrado de Cu por liberación muy fina para ello se realizó 8 pruebas para su análisis y estudio de cada etapa, por la cual realizamos este trabajo titulado ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FLOTACIÓN DE MINERAL MARMATITA. En este contexto, estamos enfocados en mejorar el proceso de flotación de marmatita con un alto contenido de pirrotita. Nuestro objetivo primordial es incrementar tanto la recuperación como la calidad del concentrado de zinc. Para lograrlo, hemos introducido modificaciones en los factores clave de la flotación en circuito de zinc, logrando una recuperación 91.16%, con grado 56.06% de ley de concentrado de Zn. Con el propósito de alcanzar una óptima recuperación del concentrado de zinc, hemos llevado a cabo pruebas que implican la variación de parámetros de flotación obteniendo los óptimos para nuestro mineral Ph de 10.70, malla-200(60%), tiempo de molienda 9 minutos, con densidad de pulpa 1.100 g/L. Las cuales son indicadores de buen tratamiento de flotación.

ABSTRACT

Peru being a very mining country by nature and with very varied mineralogy, in the huari pilot plant owned by the UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU, marmatic material with high iron content is identified, where it is necessary to carry out the study to obtain a good recovery of Zn, so this type of material is rare in our mining deposits, we generally find pyrite mineral, this causes the metallurgy to escape normal values from the flotation of the concentration plants, which made a good recovery difficult of Zn, that is, the final concentrate with a low quality grade, for reasons of very fine grinding, for which it is necessary to carry out a study and respective analysis of each stage, for which we carry out the work entitled EXPERIMENTAL STUDY TO OPTIMIZE THE FLOTATION PROCESS OF MARMATITE MINERAL. In this context, we are focused on improving the flotation process of marmatite with a high presence of iron. Our primary objective is to increase both the recovery and the quality of the zinc concentrate. To achieve this, we have introduced modifications to the key factors of zinc flotation to solve the challenge posed by the iron content in the pulp. In order to achieve optimal recovery of the zinc concentrate, we have carried out tests that involve the variation of flotation parameters and the corresponding analysis of the results obtained.

INTRODUCCIÓN

Por la mineralogía muy variada de nuestro territorio se estudió la flotación diferencial en minerales polimetálicos tales como Cu-Zn o Pb-Zn, esto basado en que el mineral de Zinc es hidrofílico y este no flotara si no se activa con algún reactivo. El proceso ideal sería realizar un proceso de flotación diferencial de minerales polimetálicos, donde en el primer circuito obtener concentrado bulk de Pb y Cu, deprimiendo el Zn y en el siguiente circuito concentrado de Zn, y en un tercer circuito la separación de Pb y Cu.

Cuando la concentración mineral es muy baja debido al agotamiento de las reservas en los yacimientos, los profesionales encargados de la planta de procesamiento de minerales se enfrentan a desafíos técnicos y económicos diversos. Estos desafíos incluyen un aumento en las impurezas y una reducción en la concentración de las sustancias valiosas, lo que conlleva la necesidad de llevar a cabo operaciones con un mayor volumen de material(Chambi, L; 2020).

El problema que se identifico es, el alto contenido de Fierro, donde la marmatita tiene un comportamiento de forma hidrofóbico, por lo que el Zinc flotará erróneamente en el Cobre y se perderá en el relave final. Los elementos económicamente valiosos que estudiamos en este trabajo con Zn, Cu, Pb. La marmatita mineral de Zn y alto en hierro. Teniendo 2000 TN de mineral para tratar en planta.

La reducción de tamaño a $\frac{1}{4}$ utilizamos una chancadora de quijada, completamos la reducción con molino de discos hasta alcanzar un 50% pasante a malla #-200. Se realizó ocho pruebas batch a diferentes condiciones las cuales muestran recuperaciones de concentrado de Zinc en la flotación estándar de 80.94% de recuperación de Zinc. Pero es menor la flotación cuando se hace un reemplazo de pH de trabajo de 11.50 a 11.70 con una recuperación de 83.81% de Zinc con una diferencia de 2.87% de recuperación, esto es un indicio de hacer una buena prueba de flotación.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

Optimizar el proceso de flotación del mineral marmatita mediante pruebas experimentales metalúrgicas para obtener altas recuperaciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el pH óptimo para flotar minerales de zinc y lograr altas recuperaciones.
- Obtener mediante pruebas experimentales grados de liberación adecuadas en la flotación del zinc.
- Alcanzar valores de densidad de pulpa que permitan optimizar las recuperaciones en la flotación.

SIMBOLOGIA UTILIZADA.

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDADES
Ph	Potencial de Hidrogeno	-
T	Temperatura	°C
ρ	Densidad	g/mL
m	Masa	gramos
N	Normalidad	N
M	Molaridad	Moles/L
P.A	Peso Atómico	-
P.M	Peso molecular	-
V	Volumen	L
Ge	Gravedad Especifica	-

INDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN	vii
OBJETIVOS	viii
SIMBOLOGIA UTILIZADA	ix
CAPITULO I.....	13
1.1 Marco Teórico.....	13
1.1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Bases Teóricas y Conceptuales	16
1.2.1 Flotación De Minerales Por Espumas	16
1.2.2 Variables del Proceso de Flotación	16
1.2.3 Mineral Marmatita.....	17
1.2.4 Densidad De Pulpa.....	18
1.2.5 Reactivos De Flotación	19
1.2.5.1 Clasificación de los Reactivos de Flotación	19
1.2.6 El pH	20
1.3 Definición De Términos Básicos	21
CAPITULO II	23
2.1. Materiales, Equipos y Reactivos	23
2.1.1. Materiales.....	23
2.1.2. Justificación De La Investigación	24
2.1.3. Reactivos.....	24
2.1.4. Equipos de Protección.....	25
2.2. Metodología	25
2.2.1. Tipo y Nivel De Investigación	25
2.2.2. Diseño De Investigación.....	25
2.2.3. Metodología de la Investigación	26
2.3. Caracterización del Problema	26
2.3.1. Formulación del problema	26
2.3.2. Justificación de la Investigación	27
2.4 Población y Muestra.....	28
2.4.1 Población.....	28
2.4.2 Muestra	28
2.4.3 Técnicas de Muestreo	28
2.4.4. Ubicación Política y Geografía del estudio	30

2.5	Estudio Mineragráfico Del Mineral Marmatita	33
2.5.1	Características	33
2.5.2.	Caracterización De La muestra.....	34
2.5.3	Determinación De Ga gravedad Especifica.....	34
2.5.4	Método De La fiola	35
2.6	Análisis de minerales de zinc (EDTA).....	35
2.6.1	Análisis de minerales de Plomo (EDTA).....	39
2.6.2	Cálculos de factor de solución.....	39
2.6.3	Calculo de mili equivalente.....	37
2.7	Análisis del Mineral.....	42
2.7.1	Preparación de solución $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	43
2.7.2	Fundamentos del Método	43
2.7.3	Calculo del gasto teórico	44
2.7.4	Calculo del Factor de solución	45
2.7.5	Calculo del mili equivalente.....	46
2.8	Caracterización del Problema	48
2.8.1	Formulación del problema	48
2.8.2	Justificación de la Investigación	48
CAPITULO III.....		51
3.1	Detalles del estudio metalúrgico	51
3.1.1	Identificación de Mineral	51
3.1.2	Análisis Químico de la Muestra.....	51
3.2.	Rango de Variables	50
3.4.1	Determinación del grado de Liberación	51
3.4.2	Determinación de la curva cinética de Molienda	52
3.4.3	Procedimiento.....	53
3.4.4	Pruebas de Flotación Diferencial	55
3.4.5	Determinación de Densidad de Pulpa.....	56
3.4.6	Determinación de Ph de Pulpa	56
3.4.7	Pruebas de Flotación	57
3.4.8	Procedimiento.....	58
3.4.9	Balance Metalúrgico.....	60
CAPITULO IV		63
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		64
BIBLIOGRAFÍA.....		65
ANEXOS.....		67

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Características del mineral marmatita</i>	32
<i>Tabla 2 Análisis Químico</i>	34
<i>Tabla 3. Pruebas de molienda</i>	38
<i>Tabla 4. Análisis granuloquímico</i>	39
<i>Tabla 5. Pruebas experimentales</i>	46
<i>Tabla 6. veles de las variables</i>	47
<i>Tabla 7: balance metalúrgico de la prueba experimental n° 8</i>	50
<i>Ilustración 1: Variables del proceso de flotación</i> _____	17
<i>Ilustración 2: Clasificación de los reactivos de flotación</i> _____	20
<i>Ilustración 3: Obtención de cúmulos mediante paleo fraccionado</i> _____	28
<i>Ilustración 4: Planta concentradora Huari</i> _____	31
<i>Ilustración 5: Mineral Marmatita</i> _____	33
<i>Ilustración 6: Chancadora de quijada y molino de discos</i> _____	37

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes Nacionales

(Chamorro, A, 2005) informa que, con el fin de mejorar el proceso de flotación del concentrado de zinc, se ha realizado una evaluación experimental de los parámetros involucrados en el proceso de flotación de minerales dentro del circuito de zinc. En este contexto, se ha aplicado un diseño factorial simple con puntos centrales en la flotación de zinc, considerando factores como el $[\text{CuSO}]_{-4}$, Z-11 y el pH. Este enfoque ha permitido identificar las variables significativas para la optimización del proceso. Los resultados revelan que los valores óptimos de $[\text{CuSO}]_{-4}$ (1.184 Lb/TM) y pH (11.5) corresponden al punto más alto de la superficie de respuesta, lo que indica que estos valores son los ideales para lograr una mayor recuperación de zinc. En consecuencia, se alcanzó una recuperación teórica del 94% de zinc, mientras que a nivel de laboratorio se obtuvo un 90.58% de zinc en la etapa de Rougher.

(Chambi, L; 2020) en su estudio titulado "Mejora de la Recuperación de Minerales Mixtos mediante la Optimización del Proceso de Flotación", el autor se enfoca en perfeccionar el proceso de flotación aplicado a minerales mixtos de cobre en la planta concentradora de la compañía minera CIEMSA. Siguiendo procedimientos protocolares en las pruebas de flotación, se ha logrado determinar el comportamiento del colector M-11, el cual muestra una eficacia de 0.066 gramos por tonelada con una granulometría del 69.38% en la malla -200 y un tiempo de flotación de 60 minutos en diversas etapas. Como

resultado de estas optimizaciones, se ha alcanzado una recuperación del cobre del 83.81%, con una calidad que supera el umbral del 30%.

(Huaraca & Perez, 2014) en su proyecto titulado "Mejora del Proceso de Flotación de Galena en un Mineral Complejo en la Planta Concentradora Santander", se hacen referencia a los parámetros clave identificados mediante el uso del método de Taguchi y la optimización utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM). Inicialmente, los resultados de los experimentos realizados en condiciones industriales sin optimización mostraron una recuperación de plomo del 79% y una recuperación de zinc del 23.2%. Después de llevar a cabo la optimización, no se observó una disminución en la calidad de los concentrados, mientras que la recuperación del plomo aumentó al 87% y la recuperación de zinc disminuyó al 17.3%. Esto se tradujo en una mejora significativa del 10.1% en la recuperación de plomo y una impresionante mejora del 25.3% en la recuperación de zinc.

1.1.2 Antecedentes Internacionales

(Santos, J; 2016) Durante la evaluación experimental del proceso de concentración de cobalto y cobre, se realizaron pruebas a escala de laboratorio que involucraron tanto la concentración magnética como la flotación de espuma. El objetivo era definir un proceso metalúrgico óptimo para la concentración de minerales de cobalto y cobre. Se encontró que la etapa de concentración magnética antes de la flotación de espuma desempeña un papel fundamental en la obtención de altos niveles de recuperación, logrando un 78.5% de recuperación de cobalto y un 55.8% de cobre en este estudio. Además, las leyes alcanzaron valores de 2,380 ppm de cobalto y 3.15% de cobre con este enfoque. Es importante destacar que el proceso de flotación se ve influenciado

por el pH de la pulpa, y se estableció una correlación entre la recuperación de masa, la ley y el pH, con los valores más altos de recuperación y ley observados a un pH de 11 tanto para el cobalto como para el cobre.

(Rojas, et al; 2007) A través de la investigación titulada "Optimización del proceso de flotación de espuma de calcopirita mediante el paso de eliminación de lodos", se abordó el proceso de flotación de espuma de calcopirita, centrándose en cómo la presencia de lodos y arcillas en la pulpa afecta la flotación. Para llevar a cabo este estudio, se sometió la calcopirita a un proceso de preparación mecánica, que incluyó trituración y molienda, seguido de una clasificación de las partículas en el rango de malla 100 a 120. Durante el proceso, se utilizó un dispositivo tipo Jig para eliminar los lodos y celdas de flotación de Denver con el mismo propósito. En este proceso, se logró una reducción en el consumo de reactivo al gestionar la etapa de concentración, y se observó una mejora notable en la concentración por flotación de espuma de calcopirita gracias al uso de la pantalla Jig, además de que los peptizados se eliminaron durante la etapa de flotación.

1.2 Bases Teóricas y Conceptuales

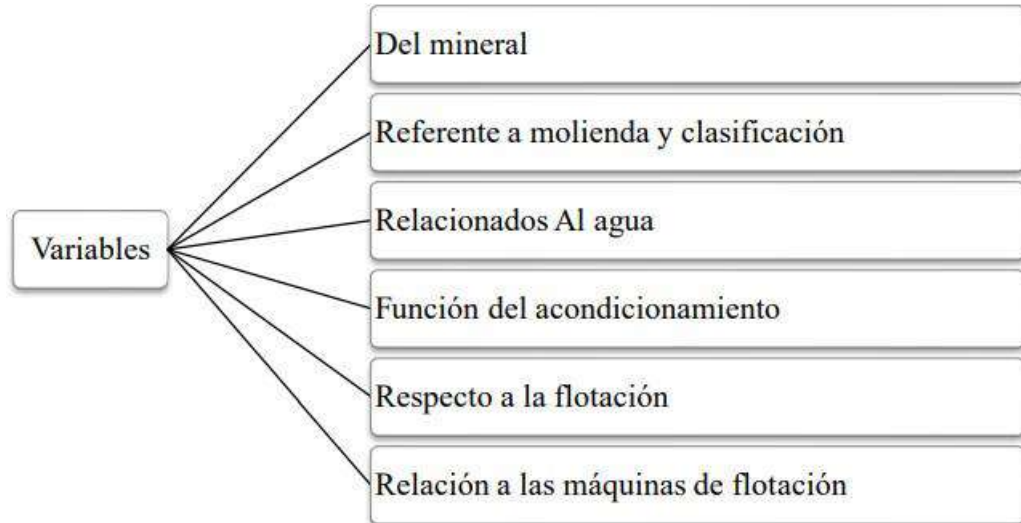
1.2.1 Flotación De Minerales Por Espumas

La flotación representa un proceso de separación que involucra tres elementos esenciales: sólidos, líquidos y gases. La base de la separación por flotación radica en la naturaleza de ciertos elementos o minerales, los cuales se pueden categorizar en dos grupos según sus propiedades: hidrofóbicos e hidrofílicos. Los componentes hidrofóbicos tienden a ser atraídos por las burbujas de gas y son desplazados hacia la parte superior, mientras que los hidrofílicos son atraídos por el agua y son dirigidos hacia la parte inferior del reactor o la celda de flotación utilizada para la separación (Yianatos, J; 2005).

1.2.2 Variables del Proceso de Flotación

Comentando de los factores o circunstancias que participan en el procedimiento de separación de los minerales de interés mediante el método de flotación, se ha observado que, desde los primeros momentos de la flotación, se han mencionado más de 32 variables por varios autores. Sin embargo, estas variables pueden agruparse en un total de 6 categorías principales (Azuñero, 2015).

Ilustración 1: Variables del proceso de flotación



Nota: Fuente: (Gimenez, 2018 y Azuñero, 2015, pags. 109-110)

1.2.3 Mineral Marmatita

La marmatita, que se encuentra catalogada como una variante de la esfalerita o blenda según la clasificación de Strunz, consiste principalmente en ZnS. Su apariencia opaca a menudo la hace ser confundida con la galena, a pesar de que el sulfuro de zinc es inherentemente de un tono claro. Sin embargo, este mineral se torna opaco debido a su elevado contenido de hierro, que reemplaza al zinc, otorgándole un color oscuro y, en muchas ocasiones, un brillo metálico (Valderrama & Supo, 2007).

"Si su contenido en hierro es alto se le llama marmatita, pero si ese contenido es bajo se le llama blenda acaramelada" (Zamora & Tórriz, 2021).

1.2.4 Densidad De Pulpa

Las pulpas minerales se definen como una combinación de partículas sólidas y agua, y su composición se suele expresar en términos de un porcentaje de sólidos (% en peso) (Yianatos, J; 2005, pag. 6).

Donde se sabe que:

$$m_{total} = m_{solido} + m_{agua} \quad (1)$$

Según, (Yianatos, J; 2005, pag. 7), si dividimos la ecu 1 entre la m_{total} se expresa como:

$$\frac{100}{\rho_{pulpa}} = \frac{\%peso}{\rho_{solido}} + \frac{100-\%peso}{\rho_{agua}} \quad (2)$$

En los experimentos de flotación a nivel de laboratorio, la concentración de sólidos en la pulpa varía típicamente desde el 25% hasta el 40%. Por lo general, la flotación de limpieza se lleva a cabo con concentraciones de pulpa más bajas en comparación con la flotación rougher (Cytec Industries, 2002, pág. 70). (Lopez, V; 2018). De otra parte, Sutulov, sostiene “Por lo general, durante la flotación primaria la densidad de pulpa oscila entre 25 a 35 % de sólidos, en contraparte del 65% a 70% en la descarga de los molinos. La importancia de la densidad de pulpa, fundamentalmente es considerada por la influencia que tiene en los mecanismos de adsorción de los reactivos, efectos de fricción para el transporte de burbujas mineralizadas a la superficie y los efectos que presenta en la recuperación. (Sutulov, 1963).

1.2.5 Reactivos De Flotación

Los reactivos son compuestos inorgánicos y orgánicos que intervienen en el proceso de flotación, actuando como colectores, modificadores, espumantes, etc. Que permite dar las condiciones adecuadas para una separación óptima por flotación de las menas de interés y la depresión de los minerales que no tiene valor relave para cada caso del proceso. (Sutulov, 1963).

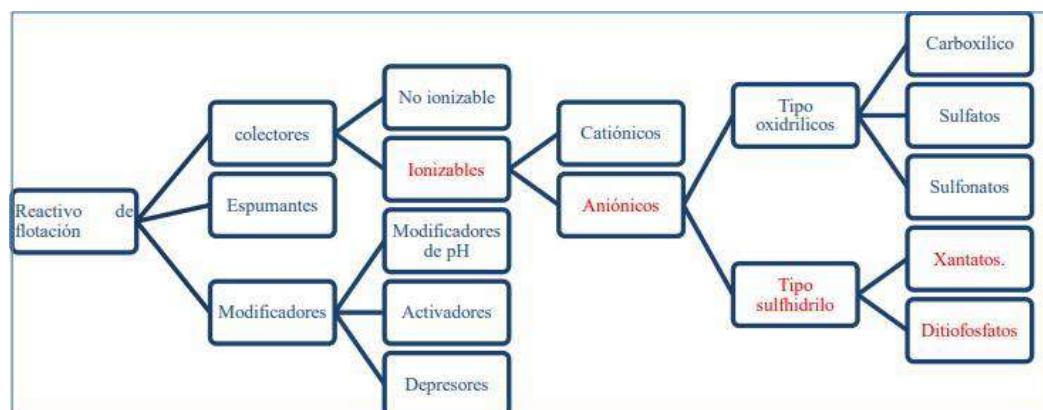
La clasificación de los reactivos en el proceso de flotación es lo siguiente:

- **Los colectores:** Función principal es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales.
- **Los modificadores:** Permite la regulación de las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumenta su selectividad.
- **Los espumantes:** Permite la formación de una espuma estable, de tamaño de burbujas apropiado para llevar los minerales al concentrado.

1.2.5.1 Clasificación de los Reactivos de Flotación

Los reactivos en base de sus funciones en el proceso de flotación se dividen en función específica que desempeñan:

Ilustración 2: Clasificación de los reactivos de flotación



Nota: Fuente: (Gimenez, 2018, mediante: Azuñero, 2015. pags. 70-71)

1.2.6 El pH

La acidez de la solución es muy importante para los posteriores procesos de recuperación del Zinc, el pH de la solución debe estar entre 10.5 – 11.5, (Gimenez, G; 2018).

Es el número que exactamente describe el grado de basicidad o de acidez de una solución. La acidez o alcalinidad relativa de una solución se puede expresar en términos de pH en una escala de 1 a 14, donde el pH se refiere a la concentración de iones hidrogeno (H⁺). El agua destilada pura tiene un valor de pH de 7 y se considera como neutro (entre ácido y alcalino). Los valores de pH disminuyen de 7 a 0 indicando acidez, y los valores de pH se incrementan de 7 a 14 indicando alcalinidad, (Mantilla et al., 2008).

1.3 Definición De Términos Básicos

Ensayo. - Análisis químico de un mineral, concentrado o metal donde se determina la cantidad de especies valiosas.

Ganga. - Roca u otro material sin valor donde se encuentran incluidos los minerales valiosos. La ganga hace que la ley del metal disminuya, por lo que es necesario separarla de la mena, como primera etapa en la concentración (Vargas, 1995)

Ley. - Cantidad de metal valioso en cada tonelada de mineral. Se expresa en onzas troyano por tonelada para los metales preciosos y como porcentaje para otros metales o no metales (Linares, 2001)

Mena. - Una mena es un mineral del que se puede extraer un elemento, un metal generalmente, por contenerlo en cantidad suficiente para ser aprovechado. (Linares, 2001).

Muestra. - Es una pequeña porción de materia que representa a una cantidad mayor o todo y que permita la determinación de la calidad de cada uno de los componentes (Linares, 2001).

Granulometría. - tamaño de partícula que presenta la mena a procesar, es la variable sobre la cual debe ponerse más énfasis en su control, debido a su efecto en la recuperación metalúrgica y en la selectividad del concentrado final (Vargas, 1995)

Concentración. - Proceso mediante el cual las especies mineralógicas con valor económico que se encuentran contenidas en un mineral, son separadas del material no valioso o de desecho, utilizando para tal efecto operaciones unitarias tales como chancado, molienda, flotación, etc. (Linares, 2001)

Mineral. - Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Proceso Metalúrgico. - Obtención del metal a partir del mineral que lo contiene en estado natural, separándolo de la ganga.

Flotación. - Es un proceso fisicoquímico que consta de tres fases sólido-líquido-gaseoso que tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire.

Flotación bulk. - Es un proceso fisicoquímico de obtener dos o más productos en una flotación rougher.

Recuperación. - (del latín recuperatio) es la acción y efecto de recuperar o recuperarse (volver en sí o a un estado de normalidad, volver a tomar lo que antes tenía, compensar)

Reactivos de flotación; Son los colectores, depresores, activadores y modificadores, cuyas acciones principales son inducir e inhibir hidrofobicidad de las partículas y darle estabilidad a la espuma formada.

Depresores. -Sustancias que disminuyen la capacidad de **flotación** de minerales, cuya extracción al estrato de espuma no está deseable en este momento.

Relave. - Material de desecho de una planta concentradora después de que los metales valiosos han sido recuperados. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en "tanques o pozas de relaves" donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada. (Linares, 2001)

CAPITULO II

DISEÑO METODOLOGICO

2.1 Materiales, Equipos y Reactivos

2.1.1 Materiales

- Sacos de Polietileno
- Manta de Cuarteo
- Bolsas de plásticos
- Pala metálica
- Probeta de 1 litro
- Pizeta de 500 ml
- Brocha
- Baguetas de vidrio
- Bureta graduada de 50 ml
- Vaso precipitación de 10 ml
- Papel filtro
- Pipetas 10 ml
- Rodillo
- Bandejas
- Espátula

2.1.2 Equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica Nova 800
- Balanza analítica de 0,0001 sensibilidad
- Balanza de precisión 0,1 sensibilidad
- Potenciómetro
- Mufla eléctrica 300 °C
- Chancadora de quijadas 21/4 x 31/2
- Molino de bolas
- Celda de flotación denver
- Equipo de Ro-Tap
- Juego de mallas Tyler
- Cronómetro

2.1.3 Reactivos

- Oxido de calcio
- Xantato Z-11 al 1 %
- Sulfato de Zinc ($ZnSO_4$) 5%
- Sulfato de Cobre ($CuSO_4$) 5%
- Cianuro de Sodio ($NaCN$) 1%
- Bisulfito de Sodio ($NaHSO_3$) 5%
- Espumante (F-70) 1%

2.1.4 Equipos De Protección

Mameluco

Tapón de oídos

Mascarilla de silicona

Guantes de jebe

Gafas de seguridad

Calzado de seguridad

2.2 Metodología

2.2.1 Tipo y Nivel De Investigación

TIPO: INVESTIGACION APLICADA porque busca, como su nombre indica, poder aplicarla a la realidad. En este estudio se busca resolver problemas específicos y de aplicación práctica.

NIVEL: EXPLICATIVA, ya que se profundiza en un problema, buscando relaciones de causa efecto entre variables para saber cómo, y por qué una puede influir en otra.

2.2.2 Diseño De Investigación

El diseño de investigación corresponde a un diseño experimental porque se manipulará las variables independientes de corte transversal de alcance descriptivo comparativo. (Hernández, Fernández, Baptista, 2014)

2.2.3 Metodología De Investigación

La ejecución de la tesis se realizó en el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, haciendo uso de equipos, materiales, reactivos y metodologías experimentales.

2.3 Caracterización del Problema

El presente estudio da cuenta una oportunidad de mejorar en el circuito de flotación de Zinc. Lo cual consiste en optimizar la flotación de zinc, haciendo un estudio metalúrgico para encontrar condiciones óptimas de operación variando parámetros de flotación de Zinc. A través de pruebas de flotación que se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta Piloto HUARI de propiedad de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU.

2.3.1 Formulación Del Problema

Pregunta General

¿Cuál es el inconveniente principal en la flotación de minerales de zinc que afecta a la recuperación de Zinc, así optimizar el proceso y la calidad de concentrado?

Pregunta Especifica

¿la cantidad de Hierro en la marmatita influencia en la baja recuperación de la flotación?

¿la variación de parámetros en la flotación afecta en la recuperación del proceso?

2.3.2 Justificación De La Investigación

Hoy en día, la industria minera debe enfrentarse a una gran cantidad de desafíos entre ellos el procesamiento de minerales cada vez más complejos. La flotación es una técnica de concentración que aprovecha la oposición entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral económico y no económico. Se fundamenta en la adhesión selectiva de algunos sólidos a la superficie de la burbuja, las cuales transportan los sólidos a la superficie del tanque de flotación, adonde son recolectados y recuperados como mineral económico. los minerales no económicos que no se adhiere a la superficie de la burbuja permanece en la pulpa y constituye las colas o relave. En esencia, la flotación separa las partículas valiosas de las partículas de ganga basándose en la adhesión selectiva a burbujas de aire. La clave del proceso se basa en la selectividad de la adhesión, es decir, sólo algunas partículas tienen la propiedad de adherirse espontáneamente a las burbujas de aire. La propiedad que gobierna la adhesión es la hidrofobicidad y, por tanto, las partículas que cumplen con esta condición y flotan son denominadas hidrofóbicas mientras que, aquellas partículas que no flotan y conforman las colas o relave son llamadas hidrofílicas. Considerando que en la naturaleza existen muy pocos minerales con hidrofobicidad natural que puedan flotar espontáneamente, la flotación pasó a constituirse en una tecnología valiosa cuando se descubrió cómo transformar selectivamente especies hidrofílicas en hidrofóbicas, mediante la acción de reactivos de flotación llamados colectores. En este sentido, la flotación es una de las preocupaciones en la industria minera, que está incorporando e implementando en sus operaciones y proyectos el desarrollo sustentable, con políticas que promueven aprovechar todos los recursos disponibles para asegurar la generación de valor. La optimización de recursos tiene repercusiones en los costos de producción, por ello, la Gerencia Operaciones Planta,

realiza estudios en forma permanente en el campo de la innovación con el objetivo de optimizar sus procesos maximizando el valor económico del negocio. Sin embargo, la necesidad de optimizar los procesos se agudiza con la restricción de explotación de minerales provenientes de los diferentes. que nos permita flotar minerales oxidados.

2.4 Población y Muestra

2.4.1 Población

La población de estudio es mineral de zinc marmatítico contenido en un cuerpo mineralizado de reservas probadas 20 000 TM, ubicado en el distrito de Pariahuanca, provincia de Huancayo, región Junín.

2.4.2 Muestra

Es extraída de la población la cantidad de 100 kg, que será usado en las pruebas de investigación metalúrgica por flotación y otra parte para los análisis químicos, físico-químicos, mineralógicos y gravimétricos

2.4.3 Técnicas De Muestreo

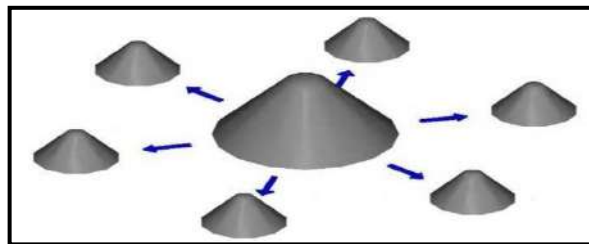
El objetivo es obtener una muestra representativa de la mena mediante el muestreo en diferentes puntos la cantidad suficiente para realizar la investigación se hizo de la siguiente forma:

Chancado y Zarandeo. - Se empleó una chancadora una de quijada con abertura de descarga “set” de ¼” el producto de la chancadora es sometida a tamizaje con una zaranda de malla 10 Tyler.

Proceso de homogeneización y fraccionamiento de muestras. Después de reducir la muestra a un total de 100 kilogramos, se procedió a homogeneizarla manualmente

utilizando una pala. Luego, se dividió en seis montones de igual volumen dispuestos en un patrón radial mediante el uso de una pala fraccionadora. Posteriormente, cada uno de estos montones se sometió a una división mecánica utilizando divisores sectoriales para obtener submuestras de aproximadamente 1 kilogramo cada una, como la Ilustración 3 muestra.

Ilustración 3: Obtención de cúmulos mediante paleo fraccionado



Fuente: Lopez Principe, P. & Ipanaque Nizama, (2008).

2.4.4 Ubicación Política y Geográfica Del Estudio

El yacimiento minero de minerales de marmatita se encuentra políticamente ubicado en: Distrito de Pariahuanca, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín. El procesamiento se realizará en la Planta Metalúrgica de Huari donde se encuentra depositado en las canchas de minerales aproximadamente 2000 toneladas, los estudios de investigación metalúrgica previos se realizaron en el laboratorio metalúrgico y químico de la planta de Huari.

La Planta Concentradora Huari, se encuentra ubicada en el centro poblado de Huari, Distrito de Huayhuay, Provincia de Yauli- La Oroya, localizado a 22 km de la ciudad de la Oroya y 1,5 km de la carretera central Huancayo Lima, es una unidad de producción de la Universidad Nacional del Centro del Perú, administrada por el vicerrectorado de investigación. Desde el año 1990, la planta concentradora que fue de Centro Min Perú, pasa como sesión de uso a la Universidad Nacional del Centro del Perú, con el objetivo de implementar su programa académico de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales y dar servicios a los pequeños productores mineros de la zona.

ACCESIBILIDAD: El acceso a la planta se realiza a través de la carretera central vía Lima – La Oroya del Km 150, que existe una desviación de carretera que comunica a los distritos de Huari, Huayhuay y Andaychacua,

RECURSOS HUMANOS: El personal técnico de operación que labora en la planta son de otros lugares, el personal obrero y de servicios son de Huari para mano de obra no calificada como peones, lamperos, carretilleros y ayudantes de flotación.

CLIMA: El terreno en la zona presenta un relieve muy accidentado, con la Planta y el campamento ubicados en un terreno que abarca desde una altitud máxima de 3,708 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta una altitud mínima de 3,630 msnm. El clima en esta región es extremadamente frío, característico de la región de jalca o puna, tal como es típico en toda la cadena montañosa de los Andes peruanos.

HIDROGRAFIA: La planta de concentración dispone de un suministro de agua que proviene de un manantial llamado Putaka, localizado a una distancia de 1 kilómetro de la población de Huari. Este suministro se lleva a cabo mediante un canal de dimensiones de 0.5 metros de ancho por 0.5 metros de profundidad, con una longitud total de 3 kilómetros. Desde allí, el agua es bombeada hacia un depósito o tanque que tiene una capacidad de 86 metros cúbicos, ubicado en la parte superior de la planta.

ABASTECIMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA:

La energía eléctrica es suministrada por ELECTROCENTRO S.A. administrado desde la ciudad de Tarma con supervisión de la sede zonal de La Oroya. La potencia que llega a la sub estación de la planta es de 250 Kw.

ABASTECIMIENTO DE AGUA:

El tanque de abastecimiento de agua, se encuentra en la parte superior de la Planta al costado de la Tolva de gruesos, este tanque alimenta a toda la planta suficientemente ya que tiene una capacidad de 68 m³ la más grande y la pequeña que alimenta a los servicios de la empresa tiene una capacidad de 16 m³.

ABASTECIMIENTO DE MINERALES: La Planta concentradora de Huari procesa minerales sulfurados polimetálicos de cobre, plomo, zinc, plata y oro como acompañantes. Los pequeños mineros que abastecían los minerales hacen llegar de diferentes partes de las regiones centrales del Perú; Junín, Huancavelica y Cerro de Pasco, que tenían diferentes mineralizaciones.

Ilustración 4: Planta concentradora Huari



Fuente: Tomado en la Planta Concentradora

2.5 Estudio Minerográfico Del Mineral Marmatita

La Marmatita es una variante mineral de la Esfalerita, que pertenece a la categoría de los sulfuros. Su fórmula química es $(\text{FeZn})\text{S}$, y su estructura cristalina se desarrolla en el sistema cúbico, presentando formas cristalinas poliédricas. Aunque la composición teórica de la Esfalerita es SZn , en las muestras reales, el zinc puede ser sustituido por otros metales. El hierro es el sustituyente más común, y en ocasiones puede llegar a representar una proporción significativa, incluso alcanzando una relación Zn/Fe de 6/5,13, aunque generalmente esta relación es mucho menor. La presencia de hierro es responsable del oscurecimiento del mineral, llegando a adquirir un tono negro, y a esta variedad de Esfalerita se le denomina Marmatita.

2.5.1 Características

Tabla 1: Características del mineral marmatita

características	
Brillo	Resinoso o adamantino
Color	Negro, gris.
Raya	Blanca
Dureza	3 – 3.5 Mohs.
Exfoliación	Perfecta
Fractura	Concoidea
Categoría	Sulfuros
Clase	2.CB.05a
Fórmula química	$(\text{FeZn})\text{S}$ Zinc 64,06% Hierro 2,88% Azufre 33.06%
Sistema cristalino	Cúbico
Dureza	3, 4-5
Tenacidad	Quebradiza
Peso específico	: 3,9-4,1
Índice de refracción	2,368-2,371
Marmatita	S 33,12 Fe 9,31

Zn 57,57

Fuente: elaboración propia

Ilustración 5: Mineral Marmatita



Marmatita con cuarzo. Mina Trepça, Mitrovica, Kósovo.

2.5.2 Caracterización De La muestra

Se tomó un kilogramo de la muestra Compósito General a 100 % - 10 malla, la cual fue pulverizada a 98 % - 100 malla.

2.5.3 Determinación De Ga gravedad Especifica

La gravedad específica para determinar el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados.

2.5.4 método De La fiola

- Pesar 500 gramos de mineral pulverizar hasta obtener 100% malla -100 y homogenizar
- Pesar 100 gramos de mineral pulverizado.
- Pesar una fiola enrasada a 500cc con agua
- Llenar la misma fiola con 250 ml de agua y luego llenar el mineral, agitar hasta obtener una mezcla totalmente homogénea. Enrasar la fiola con la mezcla hasta 500 ml y pesar.

Realizar los cálculos.

MUESTRA: mineral de zinc marmatítico

PROCEDENCIA: Cancha de minerales de la Planta Concentradora Huari

FECHA: mayo 2022

$P = \text{Peso del mineral} = 100 \text{ g}$

$A = \text{fiola} + \text{agua} = 646 \text{ g}$

$B = \text{fiola} + \text{agua} + \text{mineral} = 718 \text{ g}$

Por Formula Tendremos:

$$Ge = \frac{P}{P + A - B} = 3.57$$

2.6 Análisis de minerales de zinc (EDTA)

FUNDAMENTO: El Zn se determina por titulación complexométrica con EDTA a un pH de 5,3 usando como indicador interno xilenol orange.

Preparación de Solución Valoración del EDTA

$$P.M EDTA = 372,24546g$$

$$P.M Zn = 65,39g$$

Preparamos la solución cuyo equivalente gramo sea:

$$372.2455 g EDTA \rightarrow 65.39 g Zn$$

$$28.4635g EDTA \leftarrow 5 g Zn$$

$$28.4635 g EDTA \rightarrow 1000 mL$$

$$0.0284 g EDTA \leftarrow 1mL$$

Poner en el desecador reactivo de EDTA q.p por 24 horas, luego pesar rápidamente 28,4635 g. equivale a 0,05 M.

Disolver en 500 ml y aforar en fiola de 1 L. con agua bidestilada y guardar en frasco limpio.

Valoración DE EDTA

Pesar aproximadamente **0,2** gramos por triplicado de zinc electrolítico en vasos de 400 ml.

Adicionar agua y 10 ml de HCl, calentar.

Adicionar agua y 15 mL de solución extractiva y hervir.

Agregar 15 mL de ácido acético 1:1 y enfriar.

Regular el pH a 5,3.

Adicionar 2,5 mL de solución de FNH_4 .

Agregar 20 mL de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

Adicionar Xilenol Orange.

Titular con EDTA 0,05 M. (anotar el gasto)

Si se ha preparado 4 vasos (3 con muestra y 1 en blanco) se tiene por ejemplo los resultados de la titulación: *Blanco* = 0.3 ml

$$\text{Gasto} = \text{Volumen Gastados} - \text{Blanco}$$

$$\text{Gasto 1} = 40.5 - 0.3 = 40.2 \text{ mL}$$

$$\text{Gasto 2} = 40.6 - 0.3 = 40.3 \text{ mL}$$

$$\text{Gasto 3} = 40.7 - 0.3 = 40.4 \text{ mL}$$

$$\text{Gasto Promedio} = \frac{\text{Gasto 1} + \text{Gasto 2} + \text{Gasto 3}}{3} = 40.3 \text{ mL} (\text{Gasto Practico})$$

40,3 mL indica el gasto práctico, esto quiere decir que la solución es exactamente calculada. Pero si el promedio de gasto práctico no coincide con este valor, puede ser diluida o concentrada.

calculo del factor de la solución de EDTA (f)

$$f = \frac{\text{Gasto Teorico}}{\text{Gasto Practico}} = \frac{40 \text{ mL}}{40 \text{ mL}} = 1$$

$$f = 1$$

m.e = 0,005 (el método de cálculo es exactamente igual al ferrocianuro de potasio)

Pesar 0,5 gramos de muestra; adicionar 3mL de ácido sulfúrico, 10mL de ácido nítrico y 5mL de ácido clorhídrico.

Llevar a la plancha a fuego lento y sulfatizar.

Retirar de la plancha y agregar agua, hervir hasta reducir el volumen.

Filtrar con papel filtro N° 42 y lavar.

Adicionar 2mL de agua oxigenada y hervir.

Adicionar 60mL de solución extractiva y hervir.

Filtrar con papel Wathman N° 42, lavar con solución de lavado y agua caliente.

Agregar 15mL de ácido acético 1:1 y enfriar.

Regular el pH a 5,3.

Adicionar 2,5mL de solución de NH₄F

Agregar 20mL de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃).

Adicionar Xilenol Orange.

Titular con EDTA 0,05 M.

El viraje es de grosella a amarillo champan.

Cálculos:

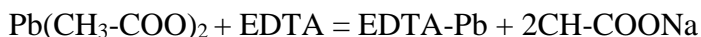
$$\%Zn = \frac{\text{Factor} * \text{Volumen gastado de EDTA(mL)}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$

Calculo de Factor

$$F = \frac{\text{Gasto Teorico}}{\text{Gasto Prectico}}$$

ANÁLISIS DE MINERALES DE PLOMO (EDTA)

Reacción



El plomo por este método se trabaja exactamente igual al método del molibdato de amonio, solo difiere en que hay que titular a una temperatura entre 60 –70 C con EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) usando como indicador interno xilenol orange y controlando el pH.

preparación de EDTA

$$372.2454 \text{ g EDTA} \rightarrow 207.19 \text{ g Pb}$$

$$8.9832 \text{ g EDTA} \leftarrow 5 \text{ g Pb}$$

$$8.9832 \text{ g EDTA} \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$0.0089832 \text{ g EDTA} \leftarrow 1 \text{ mL}$$

Pesar 8,9832 g EDTA y disolver en 500 mL de agua destilada, luego aforar a 1 litro.

2.6.2 Cálculos del factor de la solución

$$\text{Pb} 372.2454 \text{ g EDTA} \rightarrow 207.19 \text{ g Pb}$$

$$0.3593 \text{ g EDTA} \leftarrow 0.2 \text{ g Pb}$$

$$1 \text{ mL EDTA} \rightarrow 0.00898 \text{ g EDTA}$$

$$40 \text{ mL} \leftarrow 0.3593 \text{ g EDTA}$$

$$\text{Factor EDTA} = \frac{40 \text{ mL}}{38.5 \text{ mL}} = 1.03897$$

$$F = 1.03897$$

2.6.3 cálculo de mili equivalente

$$8.9832 \text{ g EDTA} \rightarrow 5 \text{ g Pb}$$

$$0.00898 \text{ g EDTA} \leftarrow 0.005 \text{ g Pb}$$

Como: $1 \text{ mL EDTA} = 0.00898 \text{ g EDTA}$

Entonces: 1 mL EDTA reacciona con 0.005 g Pb

$$\text{Luego: } m. e = \frac{0.005 \text{ g Pb}}{\text{mL EDTA}}$$

$$m. e = 0.005$$

2.7 Análisis del mineral

2.7.2 Preparación de solución $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (T.S)

$$PM: \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 248.1825 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$PM: \text{Cu} = 63.51 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$Eq - g = \frac{248.1825}{1} = 248.1825 \text{ g T.S}$$

$$1N \text{ T.S} = \frac{Eq - g}{1 L} = 248.1825 \frac{\text{g T.S}}{L}$$

Se desea preparar 1 000 mL de solución de T.S, en la cual:

$$1000 \text{ mL T.S} = 5.00 \text{ g de Cu}$$

$$1 \text{ mL T.S} = 0.005 \text{ g de Cu}$$

Tenemos que:

$$248.1825 \text{ g T.S} \rightarrow 63.51 \text{ g Cu}$$

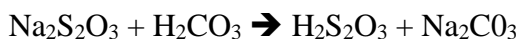
$$19.5388 \text{ g T.S} \leftarrow 5.0 \text{ g de Cu}$$

$$19.5388 \text{ g T.S} \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$0.01955388 \text{ g T.S} \leftarrow 1 \text{ mL}$$

Poner en el desecador reactivo de tiosulfato de sodio q.p por 24 horas, luego pesar rápidamente 19,5388 g colocar en 500 mL de agua destilada para luego aforar a 1000mL y tener de ésta manera la solución valorada o standard de T.S para titular cobre. Guardar en frasco limpio (1mL de esta solución así preparada es equivalente a 0,005 g Cu).

Esta solución cambiará pronto su valor del FACTOR a causa de la acción destructora del ácido carbónico contenido en el solvente agua según la reacción:



En consecuencia, el factor crecerá continuamente porque el ácido sulfuroso formado consume más yodo que la cantidad de ácido tio sulfúrico, lo que se tiene:



Por lo que es necesario dejar en “envejecimiento” por tiempo mínimo de 15 días, a partir de éste tiempo la solución mantendrá invariable su factor.

Se prepara 2 tipos de soluciones:

Solución débil: Para leyes bajas de Cu (0.1 a 5%) se pesan 1,953 g de T.S (0,01 N) por litro de agua.

Solución fuerte: Para leyes de Cu (5 a 40%) se pesa 19,538 g de T.S (0,1 N) por litro de agua es recomendable agregar 0.1 g. de NaOH por litro de solución para evitar que se forme azufre coloidal.

CÁLCULOS:

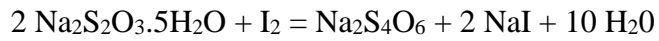
$$\%Pb = \frac{\text{Factor} * \text{Volumen gastado de EDTA(mL)}}{\text{peso de la muestra(g)}} * 100$$

Calculo de Factor

$$F = \frac{\text{Gasto Teorico}}{\text{Gasto Prectico}}$$

2.7.3 fundamento del método

Para la determinación de Cu se basa en que se trata de una solución cúprica, neutra o débilmente ácida con ioduro cuproso y queda libre un átomo de yodo por cada átomo de Cu, el yodo liberado se titulada con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.



1 atm. gramo de I = 1 mL. de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (T.S)

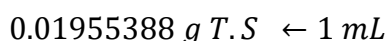
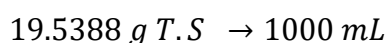
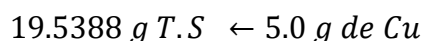
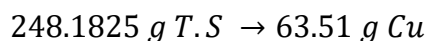
$$PM: \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 248.1825 \frac{g}{mol}$$

$$PM: \text{Cu} = 63.51 \frac{g}{mol}$$

$$Eq - g = \frac{248.1825}{1} = 248.1825 g T.S$$

$$1N T.S = \frac{Eq - g}{1 L} = 248.1825 \frac{g T.S}{L}$$

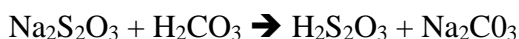
Se desea preparar 1 000 mL de solución de T.S, en la cual:



Poner en el desecador reactivo de tiosulfato de sodio q.p por 24 horas, luego pesar rápidamente 19,5388 g. colocar en 500 mL de agua destilada para luego aforar a 1000 mL y tener de ésta manera la solución valorada o standard de T.S para titular cobre.

Guardar en frasco limpio (1 mL de esta solución así preparada es equivalente a 0,005 g Cu).

Esta solución cambiará pronto su valor del FACTOR a causa de la acción destructora del ácido carbónico contenido en el solvente agua según la reacción:



En consecuencia, el factor crecerá continuamente porque el ácido sulfuroso formado consume más yodo que la cantidad de ácido tio sulfúrico, lo que se tiene:



Por lo que es necesario dejar en “envejecimiento” por tiempo mínimo de 15 días, a partir de éste tiempo la solución mantendrá invariable su factor.

Se prepara 2 tipos de soluciones:

Solución débil: Para leyes bajas de Cu (0.1 a 5%) se pesan 1,953 g de T.S (0,01

N) por litro de agua.

Solución fuerte: Para leyes de Cu (5 a 40%) se pesa 19,538 g de T.S (0,1 N) por litro de agua es recomendable agregar 0.1 g. de NaOH por litro de solución para evitar que se forme azufre coloidal.

Se titula con T.S hasta viraje de color azul a blanco amarillento. Se anota el gasto del blanco para restar del gasto de cada vaso (por ejemplo, el promedio del gasto práctico es 40,5 mL).

2.7.4 calculo del gasto teórico

$$248.1825 \text{ g T.S} \rightarrow 63.51 \text{ g Cu}$$
$$X \text{ g T.S} \rightarrow 0.2 \text{ g Cu}$$

$$X = 0.7815 \text{ g T.S}$$

$$19.5388 \text{ g T.S} \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$0.0195388 \text{ g T.S} \leftarrow 1 \text{ mL}$$

$$1 \text{ mL T.S } 0.1 \text{ N} \rightarrow 0.0195388 \text{ g T.S}$$

$$X \text{ mL T.S} \rightarrow 0.7815 \text{ g T.S}$$

$$X = 40 \text{ mL T.S}(\text{gasto teorico})$$

2.7.5 calculo del factor (f) de la solución

$$\text{Factor del T.S} = \frac{\text{gasto teorico}}{\text{gasto practico}} = \frac{40}{40.5} = 0.9876$$

$$F = 0.9876$$

2.7.6 calculo del mili equivalente

$$19.5388 \text{ g T.S} \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$0.0195388 \text{ g T.S} \leftarrow 1 \text{ mL}$$

Como: $1 \text{ mL T.S} = 0.0195388 \text{ g T.S}$

Entonces 1 mL T.S reaccionará con 0,005 g Cu

$$\text{Luego: Miliequivalente} = m. e = \frac{0.005 \text{ g Cu}}{1 \text{ mL T.S}}$$

$$m. e = 0.005$$

CÁLCULOS:

$$\%Cu = \frac{\text{Factor} * \text{Volumen Gastado de Tiosulfato de Sodio(mL)}}{\text{Peso de la muestra(g)}} * 100$$

Calculo de Factor

$$F = \frac{\text{Gasto Teorico}}{\text{Gasto Practico}}$$

- a) Variable dependiente:
- % Recuperación de zinc
- b) Variables independientes.
- pH de la pulpa
 - Grado de liberación (% de malla-200)
 - Densidad de pulpa (g/L)

Tabla 6. Niveles de las variables

Factores	Niveles		
	-1	0	1
X1: Ph	9,5	10,5	12,0
X2,: Grado de liberación (% de malla-200)	59,0	60,0	61,0
X3: P de pulpa	1,000	1,10	1,20

Fuente: Elaboración propia

2.8 Caracterización Del Problema

El presente estudio da cuenta una oportunidad de mejorar en el circuito de flotación de Zinc. Lo cual consiste en optimizar la flotación de zinc, haciendo un estudio metalúrgico para encontrar condiciones óptimas de operación variando parámetros de flotación de Zinc. A través de pruebas de flotación que se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta Piloto HUARI de propiedad de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU.

2.8.2 Formulación Del Problema

Pregunta General

¿Cuál es el inconveniente principal en la flotación de minerales de zinc que afecta a la recuperación de Zinc, así optimizar el proceso y la calidad de concentrado?

Pregunta Especifica

¿la cantidad de Hierro en la marmatita influencia en la baja recuperación de la flotación?

¿la variación de parámetros en la flotación afecta en la recuperación del proceso?

2.8.3 Justificación De La Investigación

Hoy en día, la industria minera debe enfrentarse a una gran cantidad de desafíos entre ellos el procesamiento de minerales cada vez más complejos. La flotación es una técnica de concentración que aprovecha la oposición entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral económico y no económico. Se fundamenta en la adhesión selectiva de algunos sólidos a la superficie de la burbuja, las cuales transportan los sólidos a la superficie del tanque de flotación, adonde son recolectados y recuperados como mineral económico. Los minerales no económicos que no se adhieren a la superficie de la burbuja permanecen en la pulpa y constituyen las colas o relave. En esencia, la flotación separa las partículas valiosas de las partículas de ganga basándose en la adhesión selectiva a burbujas de aire. La clave del proceso se basa en la selectividad de la adhesión, es decir, sólo algunas partículas tienen la propiedad de adherirse espontáneamente a las burbujas de aire. La propiedad que gobierna la adhesión es la hidrofobicidad y, por tanto, las partículas que cumplen con esta condición y flotan son denominadas hidrofóbicas mientras que, aquellas partículas que no flotan y conforman las colas o relave son llamadas hidrofílicas. Considerando que en la naturaleza existen muy pocos minerales con hidrofobicidad natural que puedan flotar espontáneamente, la flotación pasó a constituirse en una tecnología valiosa cuando se descubrió cómo transformar selectivamente especies hidrofílicas en hidrofóbicas, mediante la acción de reactivos de flotación llamados colectores. En este sentido, la flotación es una de las preocupaciones en la industria minera, que está incorporando e implementando en sus operaciones y proyectos el desarrollo sustentable, con políticas que promueven aprovechar todos los recursos disponibles para asegurar la generación de valor. La optimización de recursos tiene repercusiones en los costos de producción, por ello, la Gerencia Operaciones Planta,

realiza estudios en forma permanente en el campo de la innovación con el objetivo de optimizar sus procesos maximizando el valor económico del negocio. Sin embargo, la necesidad de optimizar los procesos se agudiza con la restricción de explotación de minerales provenientes de los diferentes. que nos permita flotar minerales oxidados.

CAPITULO III

TRATAMIENTO DATOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

3.1 Detalles del estudio metalúrgico

3.1.1 Identificación de mineral

Se procede a realizar el muestreo del material marmatita 100 Kg aprox. Para luego cuartear y obtener una muestra de 10 Kg.

3.1.2 Análisis Químico De La Muestra

Se determinó el contenido de los siguientes elementos: Zinc, cobre, plomo, plata como metales de interés económico. Se analizó los tres primeros elementos por volumetría y la plata por absorción atómica en equipo NOVAA 800F. Se realizó el Análisis para determinar los valores de los acompañantes minerales, así como la cuantificación de las especies mineralógicas y de la ganga para determinar su posible liberación.

Tabla. Ensayes Químico

Zn%	Pb%	Cu%	Ag gr/TM
4.13	1.18	.20	17.95

Nota. De la ley de cabeza se determina que es un buen material para la flotación.

3.2 RANGO DE VARIABLES

El siguiente cuadro muestra el rango de las variables en términos o unidades reales, se tiene en consideración que la prueba central representa aproximadamente el valor histórico de aplicación de las variables en las operaciones industriales, la amplitud del rango es equidistante al punto central representando valores máximos y mínimos

Tabla .Rango de variables

VARIABLES		NIVELES		
		inferior	medio	superior
X ₁	Tiempo de molienda	5	9	12
X ₂	% malla	48		69
X ₃	Ph	9	10.95	11.7
X ₄	Densidad de pulpa	1000	1100	1200

Nota. X₁, X₂, X₃ y X₄ Parametros a controlar para optimizar el proceso de flotacion de nuestro mineral.

3.4.1. Determinación Del Grado De Liberación

La determinación del grado de liberación de los minerales se basa en la cantidad de superficie del mineral que está expuesta en las partículas.

3.4.2. Determinación De Las Curvas De Cinética De Molienda

La curva cinética de molienda, también conocida como curva de moliendabilidad, se estableció utilizando la muestra Compósito General. Esto implicó la realización de pruebas de molienda en un molino de discos de laboratorio utilizando 1,000 gramos de mineral a diferentes intervalos de tiempo. A través de la construcción de estas curvas de molienda, se logró determinar los tiempos necesarios para que las partículas se sometieran al proceso de molienda dentro del molino, de manera que se alcanzara la liberación adecuada de los componentes no deseados (ganga). Para llevar a cabo estas pruebas, se empleó un molino de discos como la Ilustración 6 muestra.

Ilustración 6: Chancadora de quijada y molino de bolas



Fuente: planta de preparación de muestras de minerales en Asesoría y Consultoría

3.4.3. Procedimiento

Se homogeniza un total de 9 Kg. Luego se cuartea en 8 partes iguales de 1.125 Kg cada uno aproximadamente. 1Kg para la prueba de flotación y 125 gramos para la ley de cabeza

- Pesar 1 Kg de mineral para cada prueba a realizar, un total de 8 pruebas.
- Realizar la molienda a diferentes tiempos:
- Pesar 100 gr de mineral molido y tamizar en la malla # - 200 para cada tiempo de molienda.
- Graficar malla # -200 malla versus tiempo de molienda para las 8 pruebas.

Tabla 3. Pruebas de molienda

Tiempo de molienda en minutos	% de malla - 200 Tyler
5	48
6	50
7	52
8	57
9	60
10	62
11	65
12	69

Fuente: elaboración propia

Grafica 1: Grafica de Molienda



Fuente: elaboración por los tesisistas

De los resultados de las pruebas de molienda se construyó la curva de moliendabilidad

Tabla 4. Análisis granuloquímico

Distribución granulo química de metales				
%				
malla -200	Zn %	Pb%	Cu %	Ag g/TM
48	4,14	1,20	0,20	18,01
50	4,21	1,21	0,20	18,3
52	4,09	1,18	0,23	17,5
57	4,15	1,16	0,20	18,1
60	4,20	1,18	0,23	18,2
62	3,95	1,16	0,20	17,9
65	4,13	1,19	0,17	17,6
69	4,20	1,19	0,20	18,0

Fuente: elaborado por propia

3.4.4. Pruebas De Flotación Diferencial

Las pruebas metalúrgicas de flotación se llevaron a cabo en el laboratorio químico-metalúrgico de la Planta Concentradora Huari de la UNCP, utilizando muestras de mineral de zinc marmatítico. Estas muestras se seleccionaron de lotes de mineral que se habían almacenado en las áreas de almacenamiento y son representativas del material que se procesará en la planta concentradora. Se siguieron los procedimientos metodológicos apropiados para comprender cómo se comporta el mineral durante el proceso de flotación por espuma. El objetivo era obtener resultados que se asemejen de manera razonable al comportamiento metalúrgico que se espera en la planta. El procedimiento general para realizar estas pruebas experimentales de flotación fue el siguiente:

- Muestreo en cancha de minerales
- Preparación de muestra.
- Estudio mineragráfico
- Caracterización de la muestra
- Determinación de la gravedad específica
- Análisis mineralógico
- Análisis granulométrico y grado de liberación tiempo de molienda
- Análisis granuloquímico
- Prueba de flotación
- Cinética de flotación
- Evaluación de variables diseño factorial

3.4.5. Determinación De Densidad De Pulpa

Se realizaron pruebas para determinar la densidad de pulpa, tomando muestras de mineral 1 kg, y agregando agua hasta obtener una densidad entre 1100 a 1250 g/L

3.4.6. Determinación de pH De Pulpa

El pH es la variable de control más comúnmente empleada en el proceso de flotación, dado que juega un papel crucial en la recuperación y selectividad de minerales, así como en la supresión de ciertos minerales. La flotación es altamente susceptible a cambios en este factor. Se mantuvo un control sobre el pH de la pulpa en un intervalo que oscilaba entre 9 y 12.

3.4.7. Pruebas De Flotación

Con el propósito de evitar posibles errores en la evaluación y proporcionar a todos los reactivos en prueba una oportunidad equitativa para mostrar sus propiedades, es esencial que las pruebas se realicen en condiciones idénticas a las de la prueba estándar. Esto abarca aspectos como la granulometría, la dilución, la dosificación de reactivos, la duración del acondicionamiento y la flotación, el nivel de pulpa, las RPM, la eliminación de espuma, entre otros factores.

En el momento de llevar a cabo la flotación, es de máxima importancia que la técnica utilizada en la prueba estándar sea idéntica para las demás pruebas. Esto abarca aspectos como la inclinación, la profundidad, el método y la frecuencia para la eliminación de espuma, así como la frecuencia de lavado, entre otros detalles. El objetivo es minimizar en la medida de lo posible cualquier error experimental que pudiera conducir a conclusiones incorrectas.

Una forma de determinar la magnitud de los errores que se pueden cometer durante una prueba de flotación es llevar a cabo la prueba estándar en tres repeticiones. Si la prueba se ha ejecutado correctamente, los resultados metalúrgicos, incluyendo los pesos de los productos, deberían ser consistentes entre sí. Esto indica que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas se ha realizado de manera meticulosa (Vilca, 2019).

El primer paso consiste en etiquetar las jeringas, lo cual se hace para evitar cualquier posible confusión que pueda llevar a la mezcla incorrecta de reactivos y, en consecuencia, a la alteración de la prueba. La etiqueta se aplica con el propósito de mantener una clara identificación durante el proceso de preparación. Para la mezcla de reactivos, se utilizan envases de plástico separados, donde cada uno de los reactivos se

vierte en su propio envase. En el caso de los reactivos líquidos, se inicia calibrando el peso de una gota de cada uno de ellos, utilizando la jeringa que se empleará en el proceso. Para los aerofloats, se opta por las jeringas de 1 ml, ya que estas proporcionan gotas más pequeñas, mientras que para el MIBC se utiliza la jeringa de 5 ml (Luque, 2004)

3.4.8. Procedimiento

- Descargar la mezcla de mineral y agua en la celda de flotación.
- Medir y añadir la cantidad de agua hasta 2 cm por debajo del labio de la celda de flotación utilizando una probeta de 1000 cm³.
- Acondicionar con 04 ml bisulfito de sodio (5%) y 6 ml de sulfato de zinc (5%) por 4 minutos
- Introducir los reactivos en la celda de flotación según las cantidades especificadas. 5 ml sulfato de cobre (5%), 1 ml de Z-11(1%), Cal hasta un Ph de 9 a 12
- Controlar el tiempo de acondicionamiento durante 5 minutos para el colector, espumante y modificadores.
- Introducir manualmente aire en la celda de flotación de manera parcial para oxigenar la pulpa y luego de forma completa para generar burbujas, permitiendo el proceso de flotación durante un periodo predeterminado.
- Las burbujas que se forman en la parte superior de la celda contienen los componentes valiosos del mineral, y se separan utilizando una paleta que se mueve a una velocidad de 20 paletas por minuto. Luego se colocan en una bandeja para su posterior secado, tanto del concentrado como del relave, y finalmente se pesan ambos productos antes de enviarlos para análisis químico.
- Los productos, concentrado y relave, se acumulan en bandejas, se secan y se pesan para realizar un balance metalúrgico adecuado.

Como se mencionó previamente, se llevarán a cabo inicialmente 8 pruebas de flotación utilizando un diseño factorial. Esto se hace con el propósito de analizar el impacto de cada variable en la recuperación. Una vez que se ha determinado la combinación que resulta en la recuperación más alta, se continúa con el proceso de purificación del concentrado con el fin de aumentar su calidad, es decir, el porcentaje de zinc (% Zn). Para lograrlo, es necesario llevar a cabo una o más etapas de limpieza, lo que implica definir el circuito de flotación adecuado.



Los resultados de las pruebas experimentales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 5. Resultados pruebas experimentales

Zn%	Pb%	Cu%
53.8	48.6	22.3
54.8	48.9	21.3
55.2	51	22.3
55.56	51.23	20.9
56.03	51.6	22.3
56.3	51.9	22.3
56.6	50.6	22.6
55.8	50.52	20.6

Nota. Los resultados obtenidos son bastantes buenos en recuperación de ley en la calidad de los diferentes metales económicamente valiosos.

Tabla 6. Resultados de Blance Metalúrgico.

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 1

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.20	1.20	4.14	0.58	18.00	2.00	12.00	41.40	578.71	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	5.61	0.56	22.29	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.25	0.38	0.11	225.49	62.52	3.18	0.27	15.10
CC. Plomo	21.30	2.13	1.20	48.59	8.00	28.30	880.07	0.26	10.35	1.70	602.69	12.78	86.25	4.12	40.35
CC. Zinc	69.84	6.98	0.45	0.78	53.81	5.79	180.00	0.31	0.54	37.58	404.17	15.71	4.54	90.77	27.06
Relave	903.25	90.33	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.72	2.01	261.36	9.03	6.02	4.84	17.50
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.20	1.20	4.14	1.49	46.46	2.00	12.00	41.40	1493.71	100.05	99.99	100.00	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 2

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.20	1.21	4.21	0.59	18.30	2.00	12.10	42.10	588.36	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	5.87	0.59	21.30	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.25	0.40	0.12	235.94	62.51	3.30	0.28	15.67
CC. Plomo	21.35	2.13	1.20	48.88	8.00	28.30	880.07	0.26	10.44	1.71	604.11	12.81	86.25	4.06	40.13
CC. Zinc	69.79	6.98	0.45	0.78	54.84	5.79	180.00	0.31	0.54	38.27	403.88	15.70	4.50	90.90	26.83
Relave	903.00	90.30	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.72	2.00	261.29	9.03	5.97	4.76	17.36
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.20	1.21	4.21	1.51	46.82	2.00	12.10	42.10	1505.22	100.05	100.02	100.00	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 3

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.23	1.18	4.09	0.56	17.50	2.30	11.80	40.90	562.64	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	7.09	0.71	22.29	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.58	0.48	0.14	284.97	68.71	4.09	0.35	19.06
CC. Plomo	19.73	1.97	1.20	51.04	8.00	28.30	880.07	0.24	10.07	1.58	558.27	10.29	85.34	3.86	37.34
CC. Zinc	67.32	6.73	0.45	0.78	55.21	5.79	180.00	0.30	0.53	37.17	389.59	13.17	4.45	90.88	26.06
Relave	905.87	90.59	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.72	2.01	262.12	7.88	6.14	4.92	17.53
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.23	1.18	4.09	1.49	46.50	2.30	11.80	40.90	1494.95	100.05	100.02	100.00	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 4

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.20	1.16	4.15	0.58	18.10	2.00	11.60	41.50	581.93	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	6.13	0.61	20.89	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.28	0.42	0.12	246.39	64.04	3.59	0.30	16.98
CC. Plomo	19.37	1.94	1.20	51.25	8.00	28.30	880.07	0.23	9.93	1.55	548.08	11.62	85.58	3.73	37.78
CC. Zinc	68.06	6.81	0.45	0.78	55.56	5.79	180.00	0.31	0.53	37.81	393.87	15.31	4.58	91.12	27.15
Relave	906.44	90.64	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.73	2.01	262.28	9.06	6.25	4.85	18.08
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.20	1.16	4.15	1.45	45.12	2.00	11.60	41.50	1450.63	100.04	100.00	100.00	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 5

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.23	1.18	4.20	0.59	18.20	2.30	11.80	42.00	585.14	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	7.08	0.71	22.29	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.58	0.48	0.14	284.57	68.61	4.08	0.34	19.05
CC. Plomo	19.49	1.95	1.20	51.61	8.00	28.30	880.07	0.23	10.06	1.56	551.48	10.17	85.25	3.71	36.93
CC. Zinc	68.34	6.83	0.45	0.78	56.03	5.79	180.00	0.31	0.53	38.29	395.49	13.37	4.52	91.16	26.48
Relave	905.09	90.51	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.72	2.01	261.89	7.87	6.14	4.78	17.54
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.23	1.18	4.20	1.49	46.45	2.30	11.80	42.00	1493.44	100.02	99.98	100.00	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 6

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.20	1.16	3.95	0.58	17.90	2.00	11.60	39.50	575.50	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	5.83	0.58	22.31	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.30	0.40	0.12	234.33	65.02	3.42	0.30	16.62
CC. Plomo	19.22	1.92	1.20	51.90	8.00	28.30	880.07	0.23	9.98	1.54	543.84	11.53	86.00	3.89	38.57
CC. Zinc	63.63	6.36	0.45	0.78	56.30	5.79	180.00	0.29	0.50	35.82	368.24	14.32	4.28	90.69	26.11
Relave	911.31	91.13	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.73	2.02	263.69	9.11	6.28	5.12	18.70
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.20	1.16	3.95	1.41	43.86	2.00	11.60	39.50	1410.10	99.98	99.98	100.00	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 7

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.17	1.19	4.13	0.57	17.60	1.70	11.90	41.30	565.85	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	4.31	0.43	22.61	6.80	2.00	40.19	1250.15	0.97	0.29	0.09	173.24	57.34	2.46	0.21	12.37
CC. Plomo	20.49	2.05	1.20	50.59	8.00	28.30	880.07	0.25	10.36	1.64	579.77	14.46	87.10	3.97	41.41
CC. Zinc	66.36	6.64	0.45	0.78	56.60	5.79	180.00	0.30	0.52	37.56	384.03	17.57	4.35	90.94	27.43
Relave	908.85	90.89	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.73	2.02	262.98	10.69	6.11	4.89	18.78
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.17	1.19	4.13	1.40	43.54	1.70	11.90	41.30	1400.02	100.06	100.02	100.01	100.00

BALANCE METALÚRGICO PRUEBA 8

PRODUCTOS	T.M.S	% Peso	LEYES					CONTENIDO METALICO				RECUPERACIONES			
			%Cu	%Pb	%Zn	Ag (Oz/TM)	Ag (gr/TM)	Fino Cu	Fino Pb	Fino Zn	Fino Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag
Cabeza	1000.00	100.00	0.20	1.19	4.20	0.58	18.00	2.00	11.90	42.00	578.71	100.00	100.00	100.00	100.00
CC. Cobre	6.15	0.62	20.60	6.80	2.00	40.19	1250.15	1.27	0.42	0.12	247.19	63.35	3.51	0.29	16.72
CC. Plomo	20.23	2.02	1.20	50.53	8.00	28.30	880.07	0.24	10.22	1.62	572.42	12.14	85.90	3.85	38.73
CC. Zinc	68.53	6.85	0.45	0.78	55.81	5.79	180.00	0.31	0.53	38.25	396.59	15.42	4.49	91.06	26.83
Relave	905.08	90.51	0.02	0.08	0.22	0.29	9.00	0.18	0.72	2.01	261.89	9.05	6.08	4.78	17.72
Cab. Cal.	1000.00	100.00	0.20	1.19	4.20	1.48	45.97	2.00	11.90	42.00	1478.09	99.95	99.99	99.99	100.00

Tabla 7. Resultados

N°	Variables				
De prueba experimental	pH	Densidad de pulpa (g/L)	(% - m200)	% recuperación	
1	10,6	1,000	48,0	90.77	
2	11,50	1,150	50,0	90.90	
3	10,90	1,050	52,0	90.88	
4	10,50	1,080	57,0	91.12	
5	10,70	1,100	60,0	91.16	
6	10,80	1,140	62,0	90.69	
7	10,20	1,200	65,0	90.94	
8	11,70	1,130	69,0	90.06	

Fuente: Elaboración propia

Nota. Luego de realizar las 8 pruebas podemos visualizar las pruebas 5 nos resulta con 91.16% de recuperación en grado de calidad de Zn, con un Ph 10.70 la cual nos indica que es altamente básico.

3.2.2 Balance Metalúrgico

Como se ha visto en la prueba experimental 5 de flotación, es la que presenta mayor recuperación de Zinc, con una cabeza de 4.20 % de Zn, ley de concentrado de 56.03%, contenido metálico de 38.29 y una recuperación del 91.16 %. Se observa que la ley del concentrado supera al mínimo para su comercialización y el porcentaje de recuperación es mayor de entre las 8 pruebas ensayadas. Siendo optima en el proceso de estudio.

Tabla 7: balance metalúrgico de la prueba experimental n° 5

PRODUCTO	% PESO	LEYES %					CONTENIDO METALICO					RECUPERACION			
		Ag	Pb	Cu	Zn	Fe	Oz/TC,TMS,					Ag	Pb	Cu	Zn
CABEZA	100.00	8.00	1.20	1.20	4.00	12.35	881.84	1.20	1.20	4.00	12.35	100	100	100	100
Concentrado Pb	3.670	147.32	20.34	20.32	3.16	14.02	595.97	0.75	0.75	0.12	0.51	67.58	62.21	62.15	2.90
Medios Pb	2.15	52.12	5.41	4.35	5.12	6.12	123.52	0.12	0.09	0.11	0.13	14.01	9.69	7.79	2.75
Concentrado Zn	4.47	13.21	1.49	1.14	51.25	6.40	65.09	0.07	0.05	2.29	0.29	7.38	5.55	4.25	57.27
Medios Zn	2.12	6.00	1.02	0.53	14.24	5.13	14.02	0.02	0.01	0.30	0.11	1.59	1.80	0.94	7.55
Relave General	87.59	1.28	0.33	0.22	1.31	12.93	123.58	0.29	0.19	1.15	11.33	14.01	24.09	16.06	28.69
Diferencia.												4.58	3.34	-8.82	-0.84
Cabeza calculado	100.000	8.3661	1.24	1.094	3.966	12.37	922.19	1.24	1.09	3.97	12.37				

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Se logró optimizar el proceso de flotación del mineral marmatita mediante 8 pruebas experimentales metalúrgicas a nivel de laboratorio, considerando los grados de liberación (% malla-200) es de 60% obteniéndose altas recuperaciones del mineral.

Para determinar el valor de pH óptimo se realizaron diversas pruebas experimentales, donde en la prueba seleccionada se determinó un pH de 10.7, logrando un % de recuperación de Zn del 91.16 % y ley de concentrado de 56.03 %.

Asimismo, para alcanzar los valores de densidad de pulpa que permitieron optimizar el proceso de flotación y lograr una mejor recuperación de Zn mediante 8 pruebas experimentales en el proceso de flotación de la marmatita siendo este 1.100 g/L , para lograr una alta recuperación, considerando que la marmatita es un mineral compuesto por sulfuro de hierro asociado con el zinc y no es posible separar el hierro en el concentrado.

RECOMENDACIONES

Se aconseja emplear un diseño factorial fraccionado, especialmente para evaluar las interacciones entre las variables más significativas y para llevar a cabo un análisis preliminar de las variables operativas.

Se sugiere llevar a cabo pruebas a escala de planta piloto para evaluar los resultados obtenidos en las pruebas experimentales en lote realizadas en el laboratorio. Esto permitirá un escalado más realista hacia una planta industrial y la posibilidad de mejorar los valores de optimización.

Se recomienda la realización de pruebas de microscopía con barrido electrónico para examinar las asociaciones de los minerales de zinc y determinar si están completamente liberados, lo que podría mejorar la eficiencia del proceso de flotación.

Se aconseja continuar llevando a cabo pruebas adicionales para identificar los parámetros óptimos del proceso de flotación en una planta concentradora.

BIBLIOGRAFÍA

- Andres, C. C. J. (2005). *Optimizacion del proceso de flotacion de concentrado de Zinc en la compañía Minera "Yauliyacu" S.A. mediante diseños experimentales. 1*, 1–14.
- Barona, F. (2007). Influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotacion para minerles de cobre. *Universidad de Chile*, 219.
- Gimenez, G. (2018). Tratamiento Por Flotacion Y Cianuracon Oro Y Plata. *C.I.P*, 0, 12–13. [http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3014/GAVINO JIMENEZ PAOLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3014/GAVINO%20JIMENEZ%20PAOLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guzman Valderrama, K. A., & Supo Villanueva, M. M. (2007). Influencia de la carga de bolas y el tiempo de residencia en el molino sobre el porcentaje de recuperación por flotación del mineral de sulfuro de zinc tipo marmatita. *Lexus*, 4(None), 37.
- HUANCA, L. M. C. (2020). Optimizacion del proceso de flotacion para mejorar la recuperacion de minerales mixtos. *Universidad Nacional Del Altiplano De Puno*, 051, 363543. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Lopez Galvan, V. F. (2018). *Las variables operativas de flotación de los minerales sulfurados de cobre -oro y la mejora de las recuperaciones del oro y zinc en la planta de beneficio cazaderosde la provincia del Oro -Ecuador*. 1–67. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4871/Lopez Galvan.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4871/Lopez%20Galvan.pdf?sequence=1)
- Mantilla, C., Pedraza, J., & La Verde, D. (2008). Utilización de estudios de potencial zeta en el desarrollo de un proceso alternativo de flotación de mineral feldespático. *DYNA (Colombia)*, 75(154), 65–71.
- Rossvil, H. C., & Carlos, P. B. J. (2014). Optimización del proceso de flotación de la

galena a partir de un mineral complejo, usando diseños experimentales en la Planta Concentradora Santander. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 10–11.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5857/70293489.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SEPÚLVEDA, J. A. S. (2016). EVALUACIÓN EXPERIMENTAL AL PROCESO DE CONCENTRACIÓN DE COBRE – COBALTO MEDIANTE PRUEBAS DE CONCENTRACIÓN MAGNÉTICA Y FLOTACIÓN DE ESPUMA A ESCALA DE LABORATORIO A PARTIR DE UN MINERAL RICO EN MAGNETITA – PIRITA – CALCOPIRITA. *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 6(August), 128.

Zamora, G., & Tórrez, J. (2021). Economía Circular En El Procesamiento Mineral: Uso De Aguas Residuales Urbanas Tratadas En Procesos De Flotación De Minerales Sulfurados. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 54–66.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522021000200005&script=sci_arttext

ANEXOS

ANEXO 01: ANÁLISIS VOLUMETRICO DEL ZINC



foto 01: muestras de Zinc digeridas



foto 02: Titulación de las muestras



Foto 03: Muestra para titular

ANEXO 02: MUESTREO POR INCREMENTOS



Foto 04: Muestra tomada por incrementos



Foto 05: tomando las muestras del mineral